



# Préparer le futur

## Formation par la Recherche

Thèses de doctorat

& Habilitations à Diriger des Recherches

# 2018

**ONERA**

THE FRENCH AEROSPACE LAB

# Chiffres - clés 2018

<b>1965</b>	collaborateurs
<b>1499</b>	ingénieurs et cadres
<b>97</b>	habilités à diriger des recherches
<b>291</b>	doctorants
<b>22</b>	post-doctorants
<b>215</b>	stagiaires
<b>376</b>	communications dans des congrès avec actes
<b>219</b>	publications dans des revues à comité de lecture
<b>1209</b>	rapports techniques
<b>85</b>	thèses de doctorat soutenues
<b>5</b>	habilitations à diriger des recherches soutenues

Cette édition de présentation des thèses de doctorat menées au sein de l'ONERA illustre encore une fois le dynamisme et la fécondité des jeunes chercheurs de l'ONERA et de ses nombreux partenaires. Ils ont choisi d'étudier un sujet amont ou une technologie de rupture, en vue de soutenir une thèse et obtenir un doctorat. C'est à l'ONERA qu'ils ont conçu leur futur parcours professionnel, entre recherche académique et monde industriel, en bénéficiant d'un encadrement de qualité.

Ce sont 87 soutenances qui ont eu lieu en 2018 avec de nombreux prix reconnaissant la qualité et l'originalité des résultats.

L'ONERA remplit ainsi sa mission de formation par la recherche des futurs acteurs de l'industrie et de la recherche aérospatiale et de défense puisque, hors celles et ceux qui poursuivent leur formation en post-doctorat, 50 % de ses docteurs rejoignent le secteur ASD (Aéronautique, Spatial, Défense) et 30% d'autres secteurs industriels connexes. Au-delà de cette mission, les doctorants sont la force vive de la politique scientifique de l'ONERA :

- Ils apportent la diversité culturelle et la disponibilité intellectuelle indispensables pour faire émerger des idées originales et innovantes ;
- Ils participent à la recherche la plus fondamentale, pour préparer l'avenir d'une recherche finalisée, avec des travaux qui puisent leur source dans les problématiques applicatives et y retournent les résultats, dans une démarche extrêmement appréciée par l'industrie et qui fait la singularité de l'ONERA ;
- Ils contribuent au rayonnement de l'ONERA par les collaborations liées à leur thèse (co-financement, co-encadrement), par la dissémination de leurs travaux dans les revues scientifiques et les congrès, et par leur impact dans le monde aérospatial à l'issue de leur soutenance.

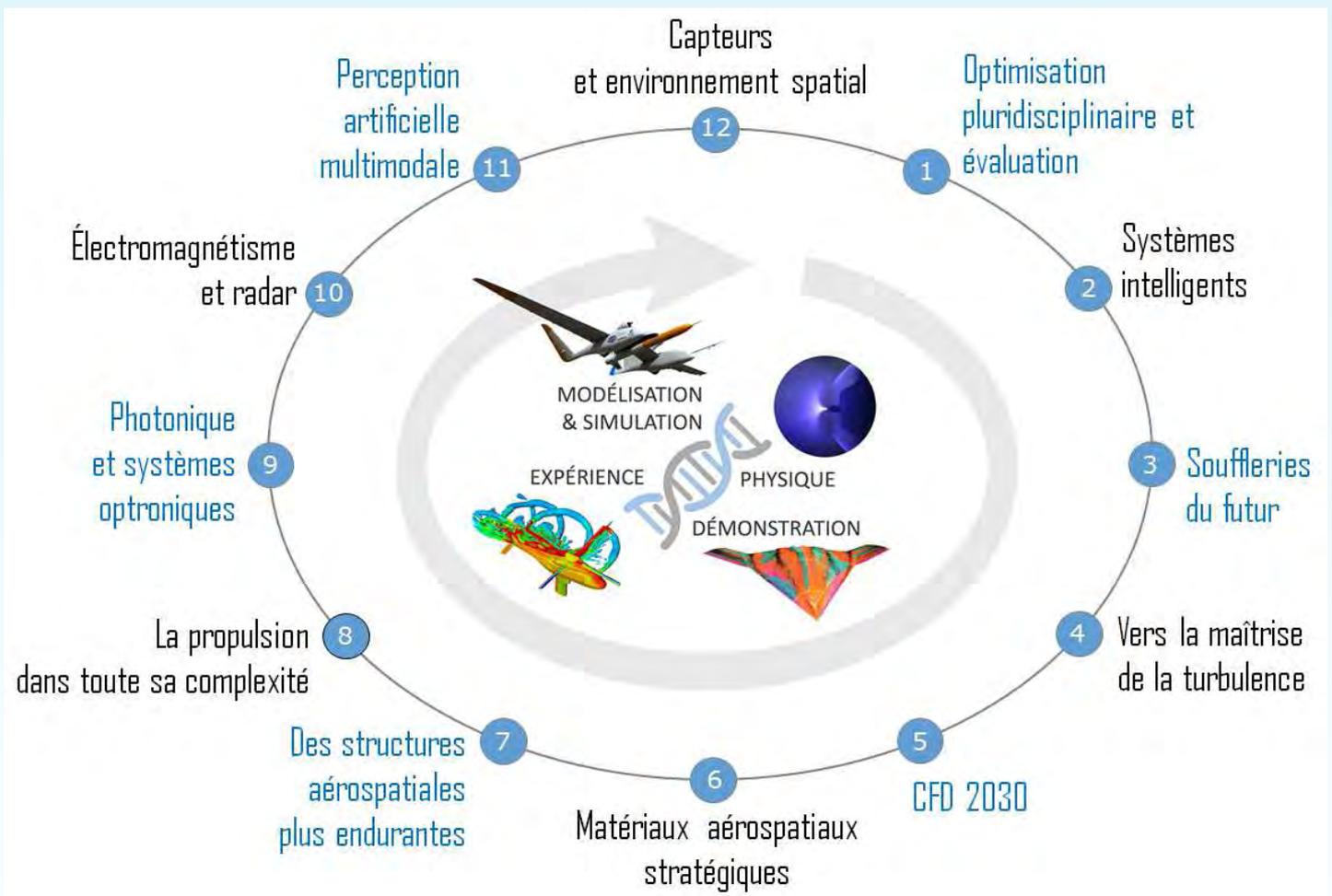
Avec la mise en place des feuilles de route ONERA en 2019, nul doute que de nouvelles thèses verront le jour pour tenter de lever les verrous scientifiques que ces feuilles de route doivent identifier.

On trouvera également dans ce recueil les Habilitations à Diriger des Recherches soutenues en 2018.

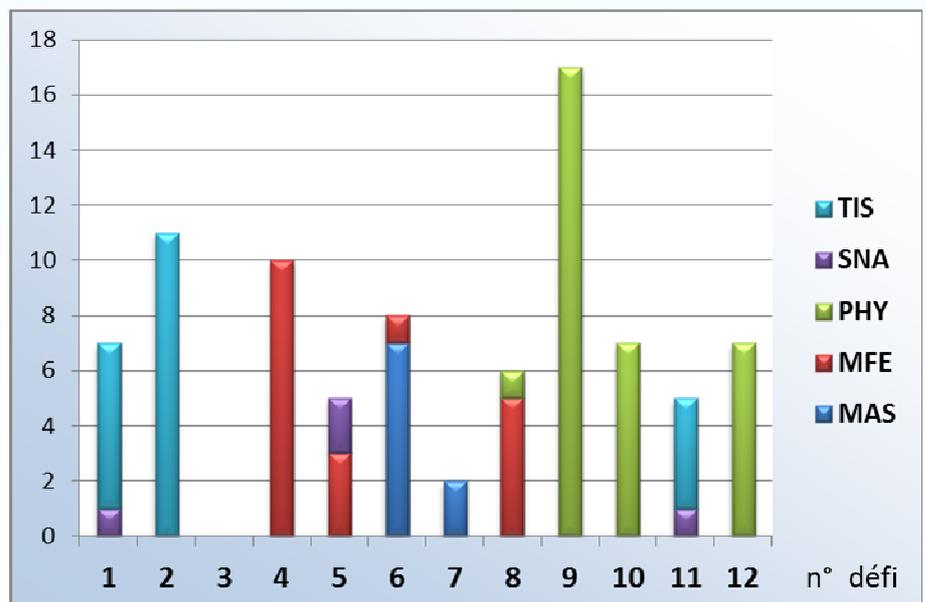
Pour chaque thèse et HDR, un contact ONERA a été indiqué, n'hésitez pas à échanger avec lui, pour obtenir plus d'information ou une publication, voire entamer une collaboration !

Stéphane ANDRIEUX  
Directeur Scientifique Général

# LES DEFIS DU PLAN STRATEGIQUE SCIENTIFIQUE 2015 - 2025



Répartition du nombre de thèses soutenues en 2018 par défi et domaine scientifique



# Thèses soutenues en 2018 par domaine scientifique

Matériaux et Structures (MAS) .....	5
Mécanique des Fluides et Energétique (MFE).....	25
Physique (PHY).....	71
Simulation Numérique Avancée (SNA).....	139
Traitement de l'Information et Systèmes (TIS).....	149

## Habilitations à diriger des recherches

HDR soutenues en 2018.....	195
----------------------------	-----

## Annexes

Thèses en cours au 1er janvier 2019 .....	207
Post-doctorats en cours au 1er janvier 2019 .....	221
Devenir professionnel des docteurs ONERA .....	223
ALUMNI ONERA .....	224



# Matériaux et Structures

## Défi 6 - Matériaux aérospatiaux stratégiques

- PERRUDIN François** - Etude de la dissolution de diverses terres rares dans des liquides silicatés (CMAS) de composition variable – Contribution au développement des barrières thermiques en  $ZrO_2-RE_2O_3$  (RE = La-Lu) .....6
- TABOURET Vincent** - Recherche et élaboration de nouveaux matériaux pour les applications laser non linéaires du moyen infrarouge .....8
- LU Chengjie** - Mécanismes de brasage de la céramique  $Ti_2AlC$  utilisant un alliage d'apport à base de nickel .....10
- BARUFFI Carolina** - Application d'une dynamique de Langevin sur-amortie pour l'étude des évolutions microstructurales dans les matériaux cristallins .....12
- LEBBAD Hocine** - Modélisation de la croissance des structures de Widmanstätten par la méthode des champs de phase .....14
- MOUHOU B Ouafi** - Propriétés structurales et électroniques du graphène, du nitrure de bore hexagonal et de leurs hétérostructures .....16
- ALTINKURT Gader** - Apport de la microdiffraction Laue pour la détermination des contraintes internes dans un superalliage à base de nickel grenailé : effets de la microstructure et des traitements thermomécaniques .....18

## Défi 7 - Des structures aérospatiales plus endurantes

- TRUANT Xavier** - Étude et modélisation du comportement mécanique de panneaux de structure soudés par friction-malaxage (FSW) .....20
- CASTRES Magali** - Modélisation dynamique avancée des matériaux composites à matrice organique (CMO) pour l'étude de la vulnérabilité des structures aéronautiques .....22

# **Etudier l'influence de la composition des particules minérales ingérées par les moteurs d'avion sur les protections thermiques des aubes de turbine, pour développer des protections plus résistantes**

**François PERRUDIN**

Thèse soutenue le 13 décembre 2018

Ecole doctorale : ED 606 (C2MP) - Chimie Mécanique Matériaux Physique

## **Titre de la thèse**

**Etude de la dissolution de diverses terres rares dans des liquides silicatés (CMAS) de composition variable – Contribution au développement des barrières thermiques en  $ZrO_2-RE_2O_3$  (RE = La-Lu)**

## **Encadrement**

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrante : Marie-Hélène Vidal-Sétif - ONERA

Directeurs de thèse : Michel Vilasi & Carine Petitjean - Institut Jean Lamour

## **Financement**

Délégation Générale de l'Armement (DGA) & ONERA

## **Défi scientifique**

Matériaux  
aérospatiaux  
stratégiques

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



**Contact : Marie-Helene.Vidal-Setif @ onera.fr**

## Résumé

L'ingestion de sables et de cendres volcaniques par les moteurs d'avion conduit à la formation de dépôts silicatés (CMAS) qui s'infiltrent dans la porosité du revêtement barrière thermique (BT) en zirconie yttrée des aubes de turbine. De nouvelles compositions de BT issues du système  $ZrO_2-RE_2O_3$  (RE = La-Lu) sont donc envisagées. En effet, leur réactivité chimique au contact des CMAS peut conduire à la formation de phases cristallisées, notamment la phase apatite  $Ca_2RE_8(SiO_4)_6O_2$ , qui bloquent l'infiltration du CMAS. Cependant, divers silicates du système  $CaO-RE_2O_3-SiO_2$  sont susceptibles d'entrer en compétition avec sa formation et de plus, la composition du CMAS varie selon les régions survolées. L'objectif de ces travaux de thèse est de déterminer l'influence de la composition du CMAS et de la terre rare sur les mécanismes réactionnels de dissolution et de précipitation. Divers oxydes  $RE_2O_3$  à basicité croissante (RE = Yb, Dy, Gd, Sm et Nd) et un CMAS de composition simplifiée du système  $CaO-Al_2O_3-SiO_2$  (CAS) ont été choisis. Des teneurs fixes en MgO et  $Fe_2O_3$  ont été ensuite ajoutées au CAS en faisant varier le rapport  $CaO/SiO_2$  entre 0,4 et 1,6. Les phases apatite et cyclosilicate  $Ca_3RE_2(Si_3O_9)_2$  ont également été synthétisées afin d'étudier leur dissolution. Il est montré que le mécanisme de dissolution des  $RE_2O_3$  est indirect, les équilibres locaux établis avec cet oxyde imposant systématiquement la formation de la phase apatite. Sa cristallisation est favorisée par un rayon cationique  $RE^{3+}$  proche de celui de  $Ca^{2+}$ . Lorsque l'écart est important, la nucléation de la phase cyclosilicate est rapidement observée dans le CAS avec une répartition préférentielle de ces cations  $RE^{3+}$  dans les sites de coordinence 6. La solubilité en RE dans le liquide silicaté augmente avec la basicité de l'oxyde  $RE_2O_3$  et en présence de MgO et  $Fe_2O_3$ . La variation de composition du CMAS modifie la nature des phases à l'équilibre. Leurs limites de solubilité en RE sont inférieures à celles de la phase apatite, ce qui réduit d'autant leur vitesse de redissolution dans le liquide silicaté.



*Avion militaire A400M atterrissant sur une piste sableuse*

**Distinction**

Prix doctorant ONERA  
(2018)

**Vincent TABOURET**

Thèse soutenue le 10 décembre 2018

Ecole doctorale : ED 397 - Physique et Chimie des matériaux - Sorbonne  
Université

**Titre de la thèse**

**Recherche et élaboration de nouveaux matériaux pour  
les applications laser non linéaires du moyen infrarouge**

**Encadrement**

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrants : Johan Petit & Gilles Hug - ONERA

Directeur de thèse : Bruno Viana - Chimie ParisTech

**Financement**

Délégation Générale de l'Armement (DGA) & ONERA

**Défi scientifique**

Matériaux  
aérospatiaux  
stratégiques

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



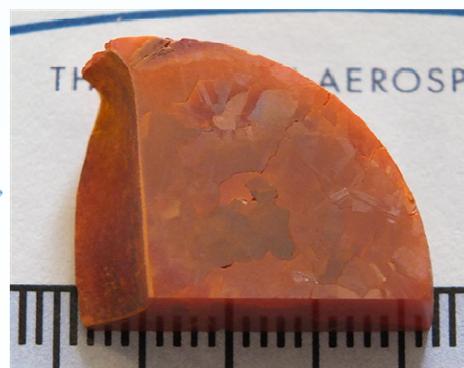
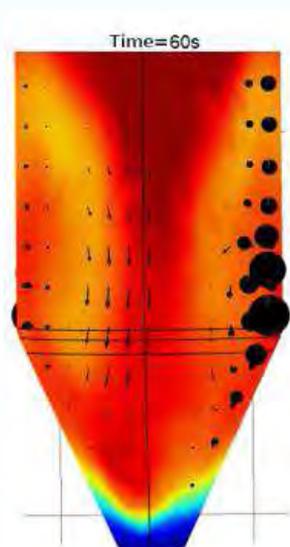
**ParisTech**



**Contact : Johan.Petit @ onera.fr**

## Résumé

Le moyen infrarouge (MIR) présente un fort intérêt technologique du fait de la présence de bandes de transparence de l'atmosphère dans ce domaine de longueurs d'onde. En effet, elles permettent d'envisager de nombreuses applications à longue distance, telles que la détection de gaz ou le brouillage de missiles pour la défense d'aéronefs. Les sources paramétriques optiques font parties des technologies de choix pour ces applications et sont basées sur la conversion d'un signal laser à l'aide d'un cristal aux propriétés optiques non linéaires. Un état de l'art de ces cristaux a ainsi été effectué pour sélectionner un candidat innovant prometteur :  $\text{ZnGa}_2\text{Se}_4$  (ZGSe). Afin d'améliorer le procédé de croissance cristalline par la méthode Bridgman, nous avons établi un modèle numérique sur COMSOL afin de quantifier l'homogénéisation du bain en fusion en optimisant les paramètres de rotation du creuset. Une analyse thermodynamique par calculs *ab initio* a, en outre, permis d'estimer la quantité de lacunes de Se (défaut absorbant). En parallèle, la synthèse chimique de ZGSe a permis d'obtenir des lingots polycristallins. A ce jour, les essais de croissance cristalline, compliquée du fait de la non congruence, n'ont pas permis d'obtenir des échantillons exploitables même si l'utilisation des résultats d'optimisation COMSOL semble encourageante. Néanmoins, la caractérisation des polycristaux a révélé une gamme de transparence large (de 0,5 à 17  $\mu\text{m}$ ) et l'une des conductivités thermiques les plus élevées (2,9  $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ) lorsque que l'on considère les composés transparents aussi loin dans l'IR.



À gauche, amélioration de l'homogénéité du bain fondu par simulations  
À droite,  $\text{ZnGa}_2\text{Se}_4$  polycristallin pur

# Comprendre à l'échelle microscopique les mécanismes permettant la brasure de nouvelles céramiques pour étendre leurs applications potentielles

**Chengjie LU**

Thèse soutenue le 9 mars 2018

Ecole doctorale : ED 397 - Physique et Chimie des matériaux - Sorbonne  
Université

**Titre de la thèse**

**Mécanismes de brasage de la céramique  $Ti_2AlC$  utilisant  
un alliage d'apport à base de nickel**

**Encadrement**

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Directeur de thèse : Gilles Hug - ONERA

**Financement**

République populaire de Chine

**Défi scientifique**

Matériaux  
aérospatiaux  
stratégiques

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)

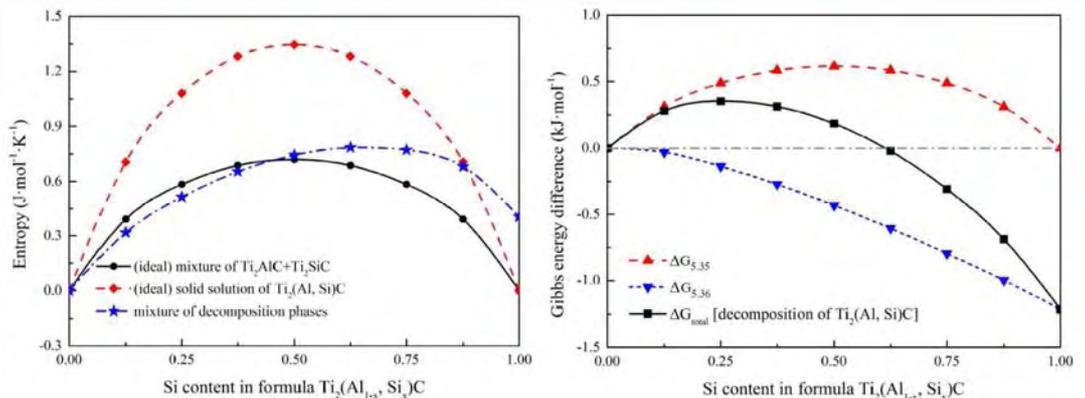


Contact : [Gilles.Hug@onera.fr](mailto:Gilles.Hug@onera.fr)

## Mécanismes de brasage de la céramique $Ti_2AlC$ utilisant un alliage d'apport à base de nickel

### Résumé

Dans ce travail, le brasage d'une céramique de composition  $Ti_2AlC$  sur un substrat de nickel a été réalisé avec succès à  $1000^\circ C$  avec des temps de maintien compris entre 15 et 30 min. Les mécanismes associés ont été mis en lumière en étudiant la microstructure des joints  $Ti_2AlC/Ni$  et en identifiant les phases formées pendant la brasure. De plus, le comportement des éléments composant la brasure (Ni, Cr et Si) vis à vis du substrat a été caractérisé avec l'aide de modélisations théoriques, les mécanismes associés à la décomposition de la phase  $Ti_2AlC$  contenant des lacunes et des éléments en substitution. L'observation microscopique révèle une microstructure des joints  $Ti_2AlC/Ni$  en quatre couches. Une « zone de diffusion du Ni » composée des deux phases,  $Ti_2AlC$  et  $Ti_2AlC_{1-x}C[Ni]$  - Une « zone d'interaction » où se forment  $TiCx$  et  $Ni_3(Al, Ti)$  par décomposition du substrat  $Ti_2AlC$  - À l'interface liquide-solide, une fine couche de  $TiB$  marque la position d'initiation du processus de solidification - Enfin, une « zone de brasure » est constituée des produits de solidification du liquide  $BNi_2$  après réaction avec le substrat  $Ti_2AlC$ . Cette microstructure en couches permet de relâcher les contraintes thermiques et de conférer aux joints brasés  $Ti_2AlC/Ni$  une contrainte maximale en cisaillement de plus de 90 % de la résistance du substrat. Les mécanismes de formation des défauts ponctuels ont été modélisés à partir des premiers principes. Dans ce travail, l'enthalpie de formation des lacunes de carbone ou d'aluminium a été trouvée très inférieure à celle correspondant aux lacunes de titane et sont par conséquent beaucoup plus faciles à former. De plus, les propriétés de vibration des atomes dans  $Ti_2AlC$  comportant des bilacunes sur les sites Ti, Al ou C suggèrent que seules les bilacunes Ti déstabilisent la structure. En revanche, la concentration critique en lacunes Al ou C peut être très élevée, jusqu'à un tiers des atomes d'aluminium par couche A sans déstabiliser le cristal. Dans un deuxième temps, les sites de substitution des atomes de Ni, Cr et Si dans  $Ti_2AlC$  ont été déterminés. On montre que le Ni se substitue préférentiellement à l'Al et induit sur le site A un défaut de charge qui a tendance à affaiblir les liaisons et déstabiliser le cristal. Le chrome forme une solution solide  $(Ti_{1-x}, Cr_x)AlC$  dans tout le domaine de concentration. Le silicium forme également une solution solide  $Ti_2(Al_{1-x}, Si_x)C$  dans tout le domaine de composition. Cependant, il est connu que la phase  $Ti_2SiC$  n'existe pas ce qui s'explique par l'énergie de Gibbs inférieure des phases en compétition.



*Étude thermodynamique de la stabilité de la solution solide  $Ti_2(Al, Si)C$ . À gauche entropies des différentes configurations : rouge : solution solide, noir mélange ( $Ti_2AlC$ ,  $Ti_2SiC$ ), bleu décomposition. À droite : énergies libres de Gibbs*

# Développer de nouvelles méthodes pour mieux modéliser l'évolution des microstructures dans les alliages métalliques

**Carolina BARUFFI**

Thèse soutenue le 17 décembre 2018

Ecole doctorale : ED 146 - Galilée - Université Paris 13

## Titre de la thèse

**Application d'une dynamique de Langevin sur-amortie pour l'étude des évolutions microstructurales dans les matériaux cristallins**

## Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrant : Umut Salman - Université Paris 13

Directeurs de thèse : Alphonse Finel - ONERA

Brigitte Bacroix - Université Paris 13

## Financement

ONERA

## Défi scientifique

Matériaux  
aérospatiaux  
stratégiques

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



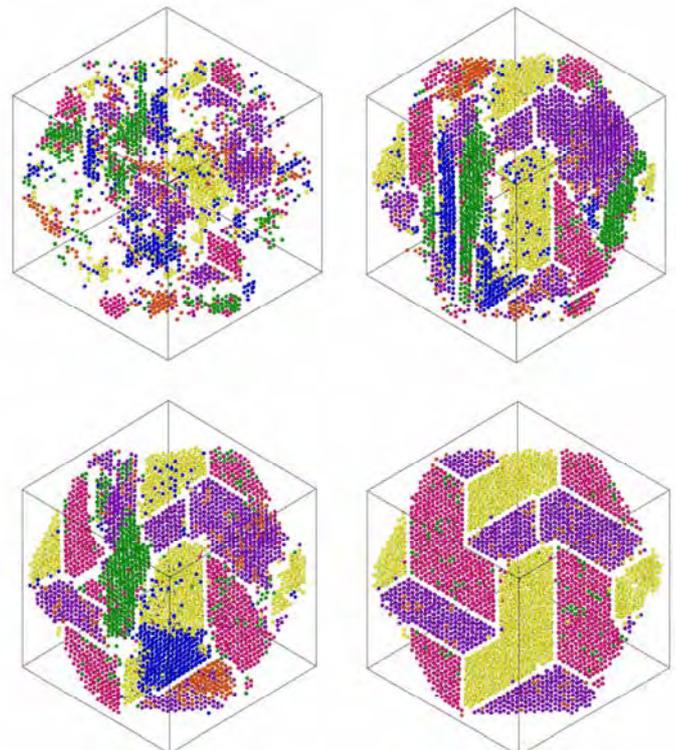
Contact : Alphonse.Finel @ onera.fr

## Résumé

Les propriétés macroscopiques des métaux et des alliages métalliques dépendent fortement de leur microstructure. La modélisation numérique est un instrument très puissant pour comprendre et prédire son évolution dans des conditions thermomécaniques données. L'intérêt d'aborder à l'échelle microscopique les processus qui sont à la base des phénomènes tels que la plasticité cristalline, la recristallisation et les transformations de phase, a motivé des efforts sans cesse croissants pour développer des techniques de modélisation à l'échelle atomique, telle que la Dynamique Moléculaire.

Cette approche permet de prendre en compte la nature discrète de la matière et donc d'incorporer automatiquement, à l'échelle atomique, la plupart des processus qui participent à l'évolution microstructurale et au comportement des matériaux (dislocations, joints de grain, transitions de phase, lacunes, microfissures...). Cependant, cette méthode présente des fortes limitations en termes d'échelles de temps et d'espace accessibles. En particulier, la présence de vibrations à haute fréquence (phonons) nécessite l'utilisation de pas d'intégration de l'ordre de la femtoseconde, ce qui limite l'échelle de temps observée à quelques nanosecondes.

La présente thèse aborde la problématique liée à la limite d'échelle temporelle. Pour circonvenir la problématique des phonons, nous proposons l'utilisation d'une dynamique de Langevin sur-amortie. Avec cette dynamique, les vibrations ne sont pas explicitement représentées en raison de la nature du premier ordre en temps des équations. Leur effet sur l'évolution du système est intégré dans un terme de bruit stochastique dont la formulation garantit la convergence des équations dynamiques vers l'équilibre thermodynamique. L'objectif principal de la thèse a été d'étudier les potentialités de cette méthode en l'appliquant à deux phénomènes importants et complexes rencontrés dans de nombreuses situations : la migration des joints de grains et les transformations de phases reconstructives.



*Transition de phase reconstructive dans le titane : simulation 3D par dynamique de Langevin de la transition entre la phase haute-température cubique centrée et la phase basse-température hexagonale compact*

# Mieux modéliser les mécanismes de croissance des microstructures dans les alliages métalliques pour optimiser les traitements thermiques et thermomécaniques lors de leur élaboration

**Hocine LEBBAD**

Thèse soutenue le 11 décembre 2018

Ecole doctorale : ED 397 - Physique et Chimie des matériaux - Sorbonne  
Université

**Titre de la thèse**

**Modélisation de la croissance des structures de  
Widmanstätten par la méthode des champs de phase**

**Encadrement**

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrants : Yann Le Bouar - ONERA-CNRS

Benoît Appolaire - Institut Jean Lamour

Directeur de thèse : Alphonse Finel - ONERA

**Financement**

ONERA

**Défi scientifique**

Matériaux  
aérospatiaux  
stratégiques

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



**SORBONNE  
UNIVERSITÉ**  
CRÉATEURS DE FUTURS  
DEPUIS 1257

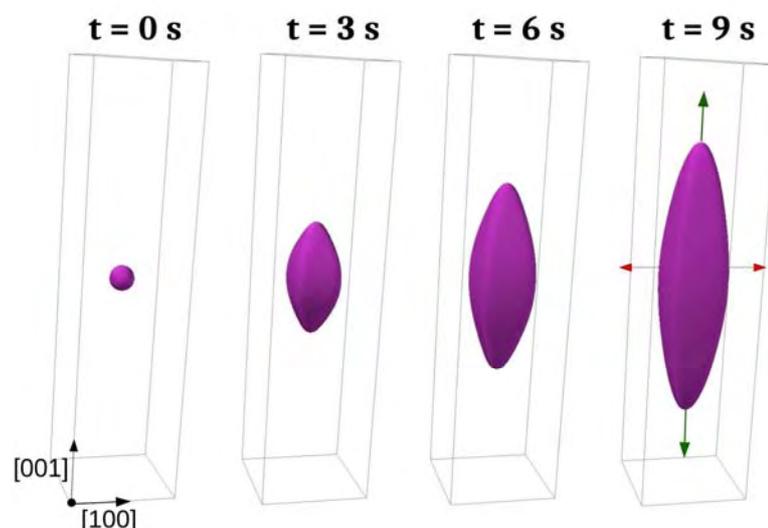


**Contact : Alphonse.Finel @ onera.fr**

## Modélisation de la croissance des structures de Widmanstätten par la méthode des champs de phase

### Résumé

L'arrangement complexe des phases d'un alliage métallique conditionne fortement ses propriétés mécaniques. Optimiser ces microstructures nécessite de comprendre comment elles apparaissent et évoluent. Nous nous intéressons ici à une microstructure en particulier, appelée Widmanstätten. Ces structures de morphologie aciculaire sont observées dans plusieurs alliages métalliques (aciers, laiton, alliages de titane, d'aluminium ...). Leur croissance, pilotée par la diffusion des éléments d'alliage, a lieu à vitesse constante en conditions isothermes. Plusieurs aspects de cette croissance restent cependant mal compris, ce qui justifie cette étude. Grâce à la méthode des champs de phase, nous montrons tout d'abord que l'anisotropie de l'énergie élastique joue un rôle clé sur cette croissance, en 2D et en 3D. Nous observons par ailleurs que le rayon de courbure de la pointe ne dépend pas significativement de la dynamique mais résulte de la compétition entre énergie élastique et énergie d'interface. Puis, pour des alliages de titane, nous avons montré que notre modèle rend bien compte de la taille de la pointe. Nous avons ensuite développé deux modèles pour étudier le rôle joué par deux mécanismes différents de relaxation par déformation plastique : le premier repose sur la présence de dislocations d'accommodation à l'interface entre matrice et précipité et le second repose sur l'activité plastique dans la matrice. Nous avons observé que la plasticité ne modifiait pas le caractère stationnaire de la croissance mais modifiait la vitesse et la taille de la pointe. Enfin, dans le cadre d'une analyse préliminaire avec un champ non conservé, nous avons développé un formalisme à une échelle plus fine capable de décrire la nucléation et la croissance de marches, souvent observées dans les structures de Widmanstätten.



*Simulation de la croissance d'un précipité aciculaire  
par la méthode des champs de phase*

# **Etudier la structure des matériaux 2D à l'échelle atomique pour mieux comprendre leurs propriétés électroniques**

**Ouafi MOUHOUB**

Thèse soutenue le 19 décembre 2018

Ecole doctorale : ED 564 (PIF) - Physique en Ile-de-France

## **Titre de la thèse**

**Propriétés structurales et électroniques du graphène,  
du nitrure de bore hexagonal et de leurs hétérostructures**

## **Encadrement**

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrants : Damien Alloyeau & Jérôme Lagoute - Université Paris Diderot

Directeurs de thèse : Annick Loiseau - ONERA

Christian Ricolleau - Université Paris Diderot

## **Financement**

Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)

## **Défi scientifique**

Matériaux  
aérospatiaux  
stratégiques

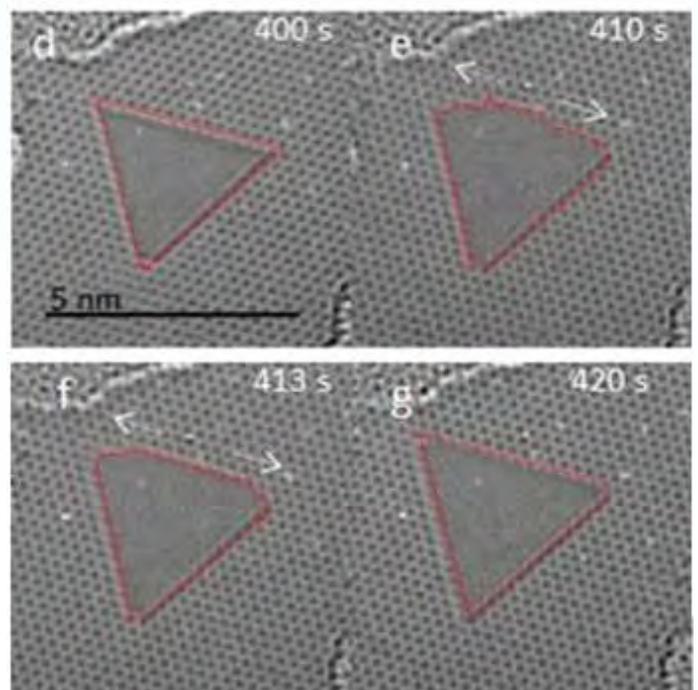
[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



**Contact : Annick.Loiseau @ onera.fr**

## Résumé

Après la découverte du graphène en 2004, et ses conséquences dans le domaine des nanosciences et nanomatériaux, il est apparu un intérêt croissant pour les matériaux 2D et leurs hétérostructures. Cette thèse effectuée conjointement au LEM (ONERA/CNRS) et au laboratoire MPQ (Université Paris Diderot/CNRS) s'inscrit dans le projet ANR GoBN centré sur les hétérostructures de graphène (Gr) et de nitrure de bore hexagonal (BN), combinaison qui présente un grand intérêt pour l'électronique et l'optoélectronique. Au cours de cette thèse nous avons étudié des propriétés structurales et électroniques du graphène, du nitrure de bore et de leurs hétérostructures. Une attention toute particulière a été portée aux défauts ponctuels qui jouent un rôle majeur pour comprendre et contrôler les propriétés structurales et électroniques des matériaux 2D. L'originalité de ce travail de thèse repose sur l'association de deux moyens de microscopies complémentaires : la microscopie électronique en transmission (TEM) corrigée des aberrations et la microscopie à effet tunnel à basse température (BT-STM). Le premier volet de la thèse a consisté à étudier par imagerie de résolution atomique en TEM la structure de matériaux 2D (nombre de couches, empilement, identification chimique) à l'échelle atomique en corrélant images expérimentales et images de simulations. Dans une deuxième partie à étudier le mécanisme de nucléation croissance de nano-pores créés par l'irradiation des électrons en TEM dans une monocouche de BN à l'aide de la dynamique d'une caméra haute fréquence. Enfin dans la dernière partie, nous avons étudié une hétérostructure verticale G/h-BN en STM basse température, ce qui a permis de visualiser les défauts du h-BN en STM, en le recouvrant d'une couche de graphène. Cette étude a mis en évidence le comportement particulier d'un type de défaut dont l'état de charge est modifié par la pointe STM qui joue un rôle de grille d'électrons locale. Ces défauts intrinsèques ou induits par dopage d'azote sont très sensibles à leur environnement électronique local et agissent comme des sondes locales qui nous renseignent sur les propriétés électroniques de l'hétérostructure G/h-BN.



*Séquence d'images en microscopie électronique de résolution atomique d'une monocouche atomique de hBN montrant la croissance des trous lacunaires créés par l'irradiation du faisceau d'électrons*

# Mieux comprendre la relation entre la microstructure de l'alliage des disques de turbine et les traitements thermomécaniques appliqués pour améliorer leur durée de vie en fatigue

## Distinction

Prix de la meilleure présentation à la conférence GFAC (2016)

## Gader ALTINKURT

Thèse soutenue le 20 décembre 2018

Ecole doctorale : ED 409 (EMMA) - Energie Mécanique Matériaux - Nancy-Metz

### Titre de la thèse

**Apport de la microdiffraction Laue pour la détermination des contraintes internes dans un superalliage à base de nickel grenailé : effets de la microstructure et des traitements thermomécaniques**

### Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Directeurs de thèse : Moukrane Dehmas - CIRIMAT-ENSIACET  
Mathieu Fèvre - ONERA

### Financement

Agence nationale de la recherche (ANR) & Fondation de recherche pour l'aéronautique et l'espace (FRAE)

## Défi scientifique

Matériaux  
aérospatiaux  
stratégiques

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)

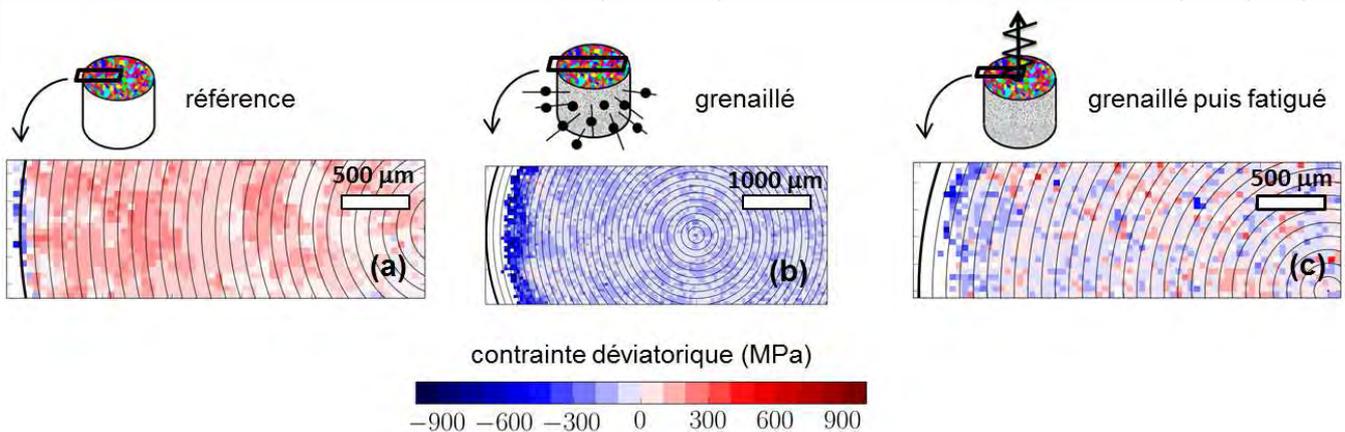


Contact : [Mathieu.Fevre @ onera.fr](mailto:Mathieu.Fevre@onera.fr)

# Apport de la microdiffraction Laue pour la détermination des contraintes internes dans un superalliage à base de nickel grenailé : effets de la microstructure et des traitements thermomécaniques

## Résumé

Ce travail de thèse est consacré principalement à l'étude des relations entre la microstructure, le procédé de grenailage et les champs de contraintes résiduelles dans le superalliage à base de nickel N18. Pour mettre en exergue le rôle de la microstructure, nous avons tout d'abord fabriqué quatre microstructures modèles de tailles de grains  $\gamma$  et de précipités  $\gamma'$  significativement différentes par différents chemins thermiques. Les échantillons ont été ensuite grenailés par ultrasons et enfin soit traités thermiquement ou sollicités en fatigue à chaud. Nous avons étudié les changements microstructuraux et mécaniques induits par chaque étape en s'appuyant sur différentes techniques de caractérisation (MEB, dureté, essais de traction et de fatigue). Nous montrons que la dureté et les propriétés en traction avant grenailage ainsi que les modifications microstructurales et de dureté après grenailage sont principalement dépendantes de la taille de précipités  $\gamma'$ . Des mesures *in situ* de résistivité électrique ont permis de suivre les cinétiques de dissolution et de précipitation de la phase  $\gamma'$  au cours de traitements thermiques. Les cinétiques ont été comparées à un modèle de précipitation développé pour l'alliage N18. Dans la suite, nous avons déterminé finement les contraintes résiduelles par diffraction des rayons X en laboratoire avec la méthode des «  $\sin^2\psi$  » et au synchrotron avec la microdiffraction Laue couplée à des mesures d'énergies. La sensibilité de la microdiffraction a permis d'appréhender le rôle de la microstructure sur les champs de déformations et de contraintes à l'échelle du micromètre et de différencier la contribution des phases  $\gamma$  et  $\gamma'$ , qui constitue l'une des principales difficultés de ce travail d'exploitation. Avant grenailage, la déformation déviatorique est inférieure à  $2 \times 10^{-4}$  quelle que soit la taille de précipités  $\gamma'$ . À l'issue du grenailage, un décalage des profils de déformations et de contraintes de  $100 \mu\text{m}$  est observé lorsque l'on compare la microstructure contenant de fins précipités  $\gamma'$  (200 nm) à celle contenant des précipités  $\gamma'$  grossiers (2000 nm). Les profils de contraintes obtenus avec la microdiffraction Laue montrent des différences significatives en comparaison à l'état de contraintes planes attendu à coeur de l'échantillon. Enfin, nous montrons qu'à l'issue d'un maintien isotherme ou d'un essai de fatigue interrompu, les déformations déviatoriques introduites par le grenailage sont relaxées ou redistribuées (cf. figure).



Champs de contraintes déviatoriques mesurés par microdiffraction Laue à la surface d'un échantillon cylindrique (a) de référence, (b) grenailé sur son pourtour, (c) grenailé puis fatigué à 450°C

# **Modéliser le comportement mécanique des joints soudés par friction-malaxage pour prédire la durée de vie en fatigue de structures aéronautiques soudées par ce procédé**

**Xavier TRUANT**

Thèse soutenue le 5 décembre 2018

Ecole doctorale : ED 432 (SMI) - Sciences des métiers de l'ingénieur -  
Mines ParisTech

**Titre de la thèse**

**Étude et modélisation du comportement mécanique  
de panneaux de structure soudés par friction-malaxage (FSW)**

**Encadrement**

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrants : Florent Fournier dit Chabert & Serge Kruch - ONERA

Directeur de thèse : Georges Cailletaud - Mines ParisTech

**Financement**

ONERA

**Défi scientifique**

Des structures  
aérospatiales  
plus durantes

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)

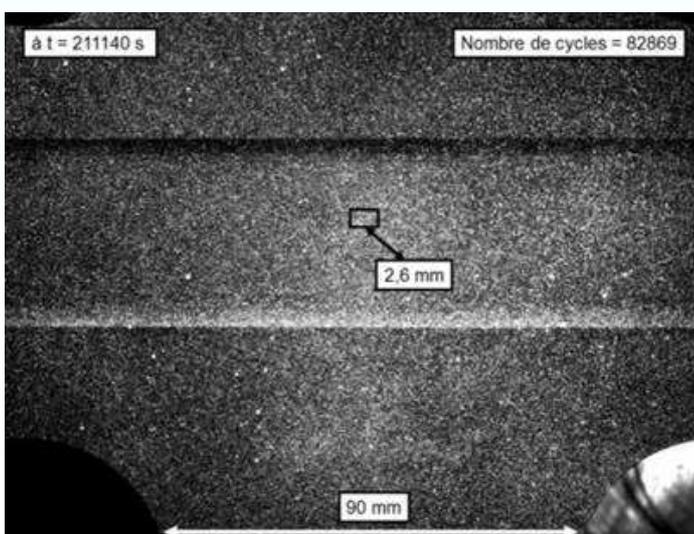


**Contact : Florent.Fournier\_dit\_Chabert @ onera.fr**

## Résumé

Le procédé de soudage par friction malaxage (FSW) entraîne, d'une manière générale, une importante chute de dureté à travers le joint soudé. Dans le but de concevoir des structures aéronautiques soudées par FSW sollicitées en fatigue, il est nécessaire de connaître l'impact de cette chute de dureté sur le comportement mécanique global de la soudure. Dans ces travaux, l'alliage d'aluminium à durcissement structural 2198-T8 est considéré. Une chaîne de calcul de durée de vie en fatigue d'une structure soudée par FSW est proposée.

Dans un premier temps, le gradient de comportement mécanique de la soudure est étudié. Des essais mécaniques de traction et cycliques sont réalisés à température ambiante. La méthode de corrélation d'images numériques (DIC) est utilisée dans le but de mesurer les champs de déplacements localement dans et au voisinage du joint soudé. À partir des résultats expérimentaux, les paramètres mécaniques d'un modèle de comportement sont identifiés, zone par zone à travers le joint soudé. En parallèle, une quantification des précipités durcissants T1 ( $Al_2CuLi$ ) est menée dans différentes zones du joint soudé à l'aide d'un Microscope Électronique en Transmission (MET). Un lien entre l'évolution de la microstructure à travers la soudure et l'évolution des paramètres mécaniques est recherché. Le modèle de comportement mécanique est utilisé sur des calculs de structure utilisant la méthode des éléments finis pour simuler le joint soudé. Dans un deuxième temps, des essais de fatigue sont réalisés sur des éprouvettes uniaxiales et cruciformes soumises à des chargements uniaxiaux et multiaxiaux. À l'aide des simulations du gradient de comportement mécanique du joint soudé ainsi que des résultats mesurés en fatigue, les paramètres d'un modèle d'endommagement sont identifiés. Ce modèle est utilisé pour prédire les durées de vie en fatigue et les zones d'amorçages de fissure pour une structure soudée soumise à des chargements multiaxiaux.



À gauche : Détection de l'amorçage d'une fissure lors d'un essai de fatigue multiaxiale  
À droite : Rupture de l'éprouvette cruciforme

# Mieux comprendre et modéliser le comportement des matériaux composites soumis au crash pour prédire leur tenue et améliorer la conception des structures aéronautiques

**Magali CASTRES**

Thèse soutenue le 27 septembre 2018

Ecole doctorale : ED 072 (SPI) - Sciences pour l'Ingénieur - Lille

**Titre de la thèse**

**Modélisation dynamique avancée des matériaux composites à matrice organique (CMO) pour l'étude de la vulnérabilité des structures aéronautiques**

**Encadrement**

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrant : Julien Berthe - ONERA

Directeurs de thèse : Mathias Brieu - Centrale Lille  
Eric Deletombe - ONERA

**Financement**

ONERA

**Défi scientifique**

Des structures  
aérospatiales  
plus durantes

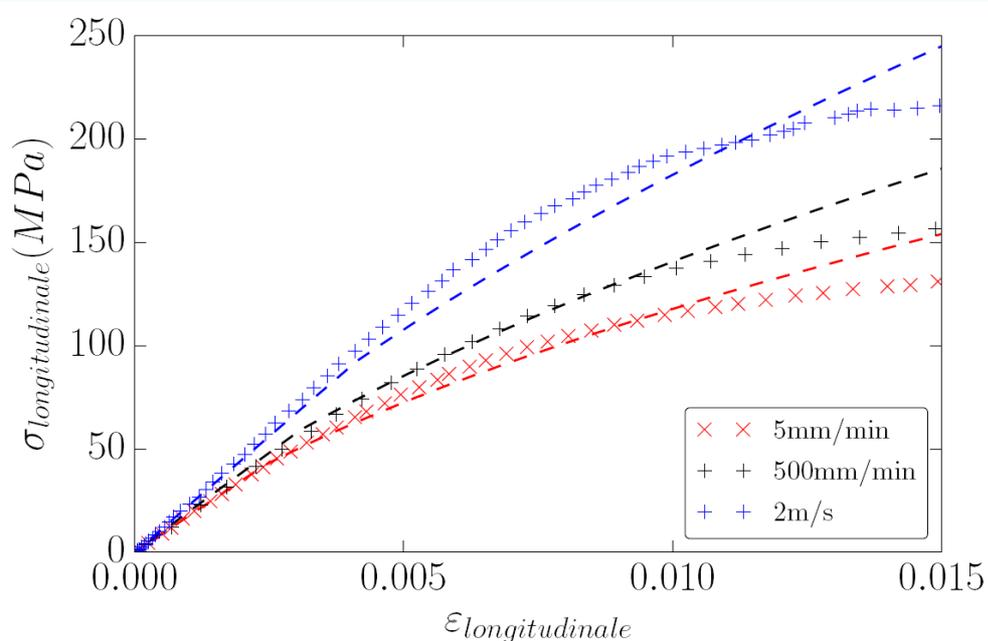
[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



**Contact :** Eric.Deletombe @ onera.fr

## Résumé

Les matériaux composites à matrices organique (CMO) sont largement utilisés dans l'industrie des transports et notamment dans le domaine aéronautique. Cette thèse s'inscrit dans le contexte de la réalisation de calculs de structures visant à améliorer la conception des structures aéronautiques au regard de la problématique du crash. Son objectif est de proposer un modèle de comportement et de rupture permettant de prédire la réponse des CMO sur une large gamme de vitesses de sollicitation et de températures. Les recherches se sont intéressées dans un premier temps à la caractérisation de la transition entre les régimes de comportement linéaire et non linéaire du matériau unidirectionnel T700GC/M21 (renforts de fibres de carbone, résine époxy), ainsi qu'à la dépendance de cette transition à la vitesse de sollicitation et à la température. Les travaux se sont ensuite focalisés sur l'étude expérimentale du régime de comportement non linéaire endommageable du T700GC/M21. Enfin, au terme de ces deux étapes, une version enrichie du modèle disponible à l'ONERA pour les composites stratifiés (OPFM) a été proposée, version intégrant un critère de transition entre les comportements linéaire/non linéaire, et une prise en compte de l'influence de la vitesse de sollicitation et de la température sur la réponse du matériau.



Modélisation de la dépendance du comportement endommageable du T700/M21 en cisaillement à la vitesse de chargement - Comparaison expérimentale (X) / numérique (-)



# Mécanique des Fluides et Energétique

## Défi 4 - Vers la maîtrise de la turbulence

<b>MORILHAT Sylvain</b> - Modélisation des fluctuations de la pression pariétale d'une couche limite turbulente pour des applications en vibro-acoustique.....	28
<b>GHOUILA-HOURI Cécile</b> - Développement de micro-capteurs de frottement pariétal et de pression pour les mesures en écoulements turbulents et le contrôle de décollement.....	30
<b>BÉGOU Guillaume</b> - Prévion de la transition laminaire-turbulent dans le code elsA par la méthode des paraboles.....	32
<b>BONNE Nicolas</b> - Stabilité de l'interaction onde de choc/couche limite laminaire.....	34
<b>JECKER Loïc</b> - Prévion de la transition bypass à l'aide d'un modèle à énergie cinétique laminaire basé sur la dynamique des modes de Klebanoff.....	36
<b>PALADINI Edoardo</b> - Insight On Transonic Buffet Instability - Evolution From Two-Dimensional Aerofoils To Three-Dimensional Swept Wings.....	38
<b>TANGUY Geoffrey</b> - Experimental and computational aerodynamic studies of convoluted intake ducts .....	40
<b>KOYAMA MALDONADO Ye-Bonne</b> - Characterisation and aerodynamic impact of leading-edge vortices on propeller blades.....	42
<b>GODARD Benjamin</b> - Étude et méthodologies de simulation de doublet entrée d'air - soufflante pour la conception de turbofan de nouvelle génération .....	44
<b>JALLAS Damien</b> - Stabilité d'écoulements de sillages périodiques générés par des ailes battante.....	46
<b>SHAABANI ARDALI Léopold</b> - Stability and optimal control of time-periodic flows - application to a pulsed jet.....	48
<b>PEROZZI Gabriele</b> - Exploration sécurisée d'un champ aérodynamique par un mini-drone.....	50

## Défi 5 - CFD 2030

<b>URIBE Cédric</b> - Développement d'une approche ZDES à deux équations de transport et application turbomachines.....	52
<b>ALIS Romain</b> - Simulation numérique directe de gouttes et de groupes de gouttes qui s'évaporent dans un écoulement laminaire ou turbulent.....	54

**RONCEN Rémi** - Modélisation et identification par inférence bayésienne de matériaux poreux acoustiques en aéronautique..... 56

## **Défi 6 - Matériaux aérospatiaux stratégiques**

**MONTEGHETTI Florian** - Analysis and Discretization of Time-Domain Impedance Boundary Conditions in Aeroacoustics..... 58

## **Défi 8 - La propulsion dans toute sa complexité**

**ZEHNER Paul** - Etude aéroacoustique de l'interaction orthogonale pale/tourbillon ..... 60

**DUPIF Valentin** - Modélisation et simulation de l'écoulement diphasique dans les moteurs-fusées à propergol solide par des approches eulériennes polydispersées en taille et en vitesse..... 62

**THUILLET Swann** - Simulation multi-échelle de l'atomisation d'un jet liquide sous l'effet d'un écoulement gazeux transverse en présence d'une perturbation acoustique ..... 64

**BOUSABAA Sofiane** - Estimation des fonctions de Green acoustique à l'aide de simulations numériques et application à l'imagerie aéroacoustique en milieu ouvert..... 66

**BINAULD Quentin** - Modélisation et simulation du rayonnement dans les jets de moteurs à propergol solide à haute altitude ..... 68



## **Sylvain MORILHAT**

Thèse soutenue le 14 décembre 2018

Ecole doctorale : ED 468 (MEGEP) - Mécanique, Energétique, Génie civil,  
Procédés - Toulouse

### **Titre de la thèse**

**Modélisation des fluctuations de la pression pariétale  
d'une couche limite turbulente pour des applications  
en vibro-acoustique**

### **Encadrement**

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Directeurs de thèse : Frank Simon & François Chedevergne - ONERA

### **Financement**

ONERA

### **Défi scientifique**

Vers la maîtrise  
de la turbulence

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



**Université  
de Toulouse**

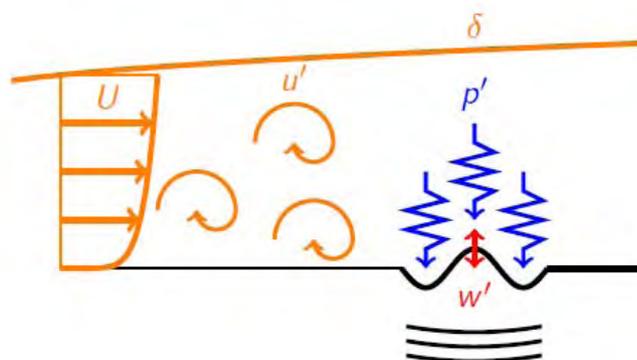


**Contact : Frank.Simon @ onera.fr**

## Résumé

Une couche limite turbulente se développant le long d'une paroi présente des fluctuations de vitesse et de pression importantes. Si la paroi du profil est suffisamment souple, les fluctuations de pression pariétale peuvent la faire entrer en vibration ce qui induit un rayonnement acoustique de chaque côté de la paroi. Ce scénario est l'un des mécanismes de génération de bruit interne dans les avions. Le but de cette thèse est de proposer un modèle de reconstruction des fluctuations de pression pariétale afin de prévoir in fine le bruit rayonné. Plutôt que de reposer sur une approche semi-empirique, les modèles développés dans cette thèse se basent sur la résolution analytique de l'équation de Poisson liant les fluctuations de pression aux fluctuations de vitesse. Ces dernières sont modélisées par exemple à l'aide des profils moyens de la couche limite obtenus grâce à un calcul RANS. La résolution de l'équation de Poisson dans ce contexte a déjà été entreprise en particulier par Lysak et Aupoix et leurs travaux sont le point de départ de cette thèse. Cependant, leur modèle ne donne qu'une description temporelle des fluctuations de pression pariétale alors que les aspects spatiaux sont nécessaires pour une application vibro-acoustique. L'apport de cette thèse consiste donc en une modification de leur modèle afin de pallier cette difficulté.

En parallèle de ces travaux de modélisation, une expérience de validation en soufflerie a été élaborée et mise en place. Les fluctuations de vitesse ont été mesurées par vélocimétrie laser tandis que les fluctuations de pression pariétale ont été mesurées à l'aide de micro-tiges mobiles. Le modèle initialement développé a été affiné à l'aide de ces mesures. En particulier, une description anisotrope des fluctuations de vitesse a été développée, ce qui est plus cohérent pour un écoulement cisailé que la description homogène isotrope utilisée jusqu'alors. Les modèles développés ont un large recouvrement avec le modèle semi-empirique de Corcos qui est la référence utilisée pour les applications en vibro-acoustique. Cependant, des différences comportementales importantes aux hautes et basses fréquences ont été mises en évidence. Le modèle de Corcos peut donc être remis en question pour ces plages fréquentielles. Ces résultats théoriques doivent néanmoins être confortés par des mesures.



*Couplage turbulence/acoustique appliqué à une paroi vibrante*

**Distinction**

2nd price at the  
Student Paper  
Competition -  
Flow Control  
Conference AIAA  
(2018)

**Cécile GHOUILA-HOURI**

Thèse soutenue le 26 octobre 2018

Ecole doctorale : ED 072 (SPI) - Sciences pour l'Ingénieur - Lille

**Titre de la thèse**

**Développement de micro-capteurs de frottement pariétal  
et de pression pour les mesures en écoulements turbulents  
et le contrôle de décollement**

**Encadrement**

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Encadrants : Quentin Gallas & Eric Garnier - ONERA

Directeurs de thèse : Abdelkrim Talbi & Philippe Pernod - Centrale Lille

**Financement**

ONERA

**Défi scientifique**

Vers la maîtrise  
de la turbulence

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)

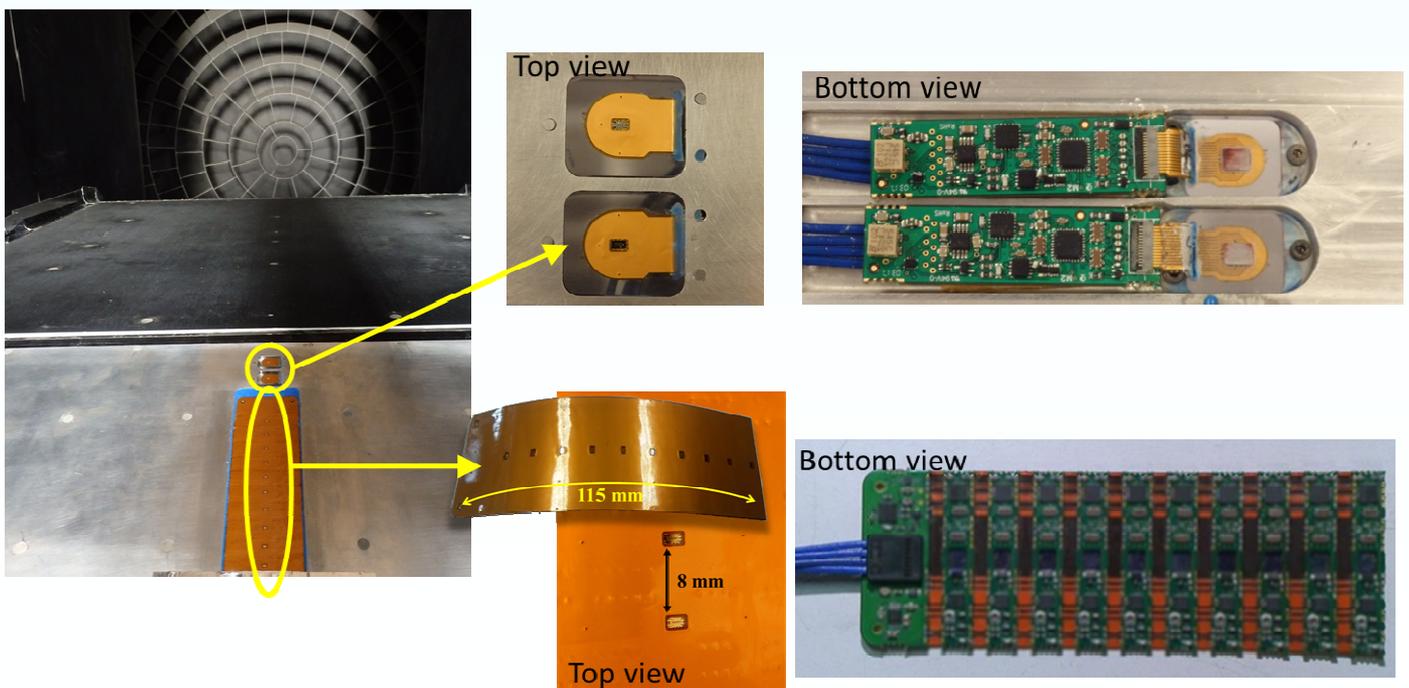


**Contact : [Quentin.Gallas @ onera.fr](mailto:Quentin.Gallas@onera.fr)**

## Résumé

Le contrôle des écoulements vise à modifier le comportement naturel d'un écoulement fluide. Dans le domaine des transports, contrôler les phénomènes fluidiques tels que le décollement peut permettre d'économiser du carburant, d'améliorer les performances des véhicules ou encore d'assurer davantage la sécurité des passagers. Dans ce contexte, des capteurs avec de fines résolutions temporelle et spatiale sont requis afin de connaître l'écoulement à contrôler et adapter en temps réel le contrôle. Dans ce travail, l'objectif a été de développer des micro-capteurs de frottement et de pression pour les mesures en écoulements turbulents et le contrôle de décollement.

Tout d'abord un micro-capteur calorimétrique a été conçu et réalisé par des techniques de microfabrication pour mesurer simultanément le frottement pariétal et la direction de l'écoulement. Le micro-capteur a ensuite été intégré en paroi d'une soufflerie afin de réaliser son étalonnage statique et dynamique et d'étudier sa sensibilité à la direction de l'écoulement. Troisièmement, le micro-capteur calorimétrique a été utilisé pour caractériser des écoulements décollés dans une autre expérimentation en soufflerie. Plusieurs micro-capteurs avec électronique miniaturisée ont été intégrés avec succès dans une maquette de volet et des essais de contrôle actif ont été réalisés. Enfin, la quatrième partie concerne le développement d'un micro-capteur de pression et d'un micro-capteur multi-paramètres réunissant les deux technologies. Ces micro-capteurs ont été caractérisés avec succès et montrent des résultats prometteurs pour caractériser les écoulements turbulents et permettre la mise en place de contrôle d'écoulement en boucle fermée.



*Intégration de capteurs de frottement MEMS et de leur électronique dans une maquette de soufflerie*

## **Guillaume BÉGOU**

Thèse soutenue le 22 janvier 2018

Ecole doctorale : ED 468 (MEGEP) - Mécanique, Energétique, Génie civil,  
Procédés - Toulouse

### **Titre de la thèse**

**Prévision de la transition laminaire-turbulent dans le code  
elsA par la méthode des paraboles**

### **Encadrement**

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Encadrant : Olivier Vermeersch - ONERA

Directeurs de thèse : Grégoire Casalis - ISAE-SUPAERO  
Hugues Deniau - ONERA

### **Financement**

ONERA

### **Défi scientifique**

Vers la maîtrise  
de la turbulence

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



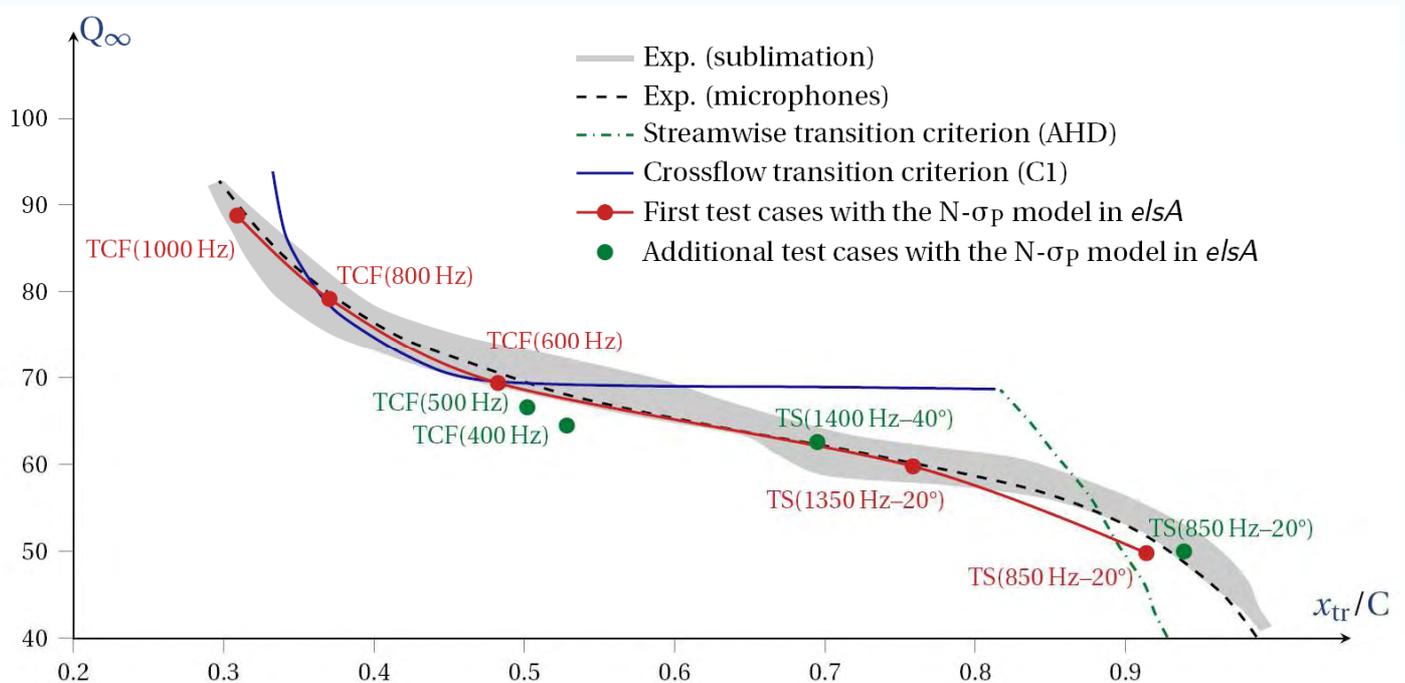
**Université  
de Toulouse**



**Contact : Hugues.Deniau @ onera.fr**

## Résumé

Cette thèse propose la reformulation et l'implantation d'une méthode simplifiée de prévision de la transition laminaire-turbulent naturelle, la méthode des paraboles. Elle s'appuie sur une base de données pour fournir une expression analytique des taux d'amplification de perturbations modales de la couche limite. Ces perturbations prennent naissance dans la couche limite à travers un mécanisme de réceptivité, puis connaissent une croissance linéaire suivie d'interactions non-linéaires qui conduisent à la transition vers la turbulence. La méthode du facteur-N permet la prévision de la position de transition en supposant qu'elle a lieu quand l'amplification linéaire totale d'un mode des perturbations a atteint une amplification critique. L'amplification totale est obtenue en intégrant les taux d'amplifications des perturbations le long de la ligne de courant extérieure à la couche limite. Cette formulation intégrale n'est pas adaptée aux codes RANS et ces travaux proposent une reformulation de la méthode du facteur-N sous forme d'équation de transport, dont le terme source dépend du taux d'amplification des perturbations donné par la méthode des paraboles. Le modèle qui en résulte (N-sigma-P ou NSP) permet de déterminer si un point donné est en amont ou en aval du point de transition et ainsi de prévoir la position de transition, pour des configurations où la transition est déclenchée par des modes longitudinaux (ondes de Tollmien-Schlichting) ou transverses (crossflow).



évolution de l'abscisse de transition en fonction de la vitesse de l'écoulement  
sur le profil Onera-D : comparaison simulations/expériences

## **Nicolas BONNE**

Thèse soutenue le 27 mars 2018

Ecole doctorale : ED 447 (EDX) - Polytechnique

**Titre de la thèse**

**Stabilité de l'interaction onde de choc/couche limite laminaire**

### **Encadrement**

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Encadrant : Vincent Brion - ONERA

Directeurs de thèse : Laurent Jacquin & Denis Sipp - ONERA

### **Financement**

Délégation Générale de l'Armement (DGA) & ONERA

### **Défi scientifique**

Vers la maîtrise  
de la turbulence

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



**Contact : Vincent.Brion @ onera.fr**

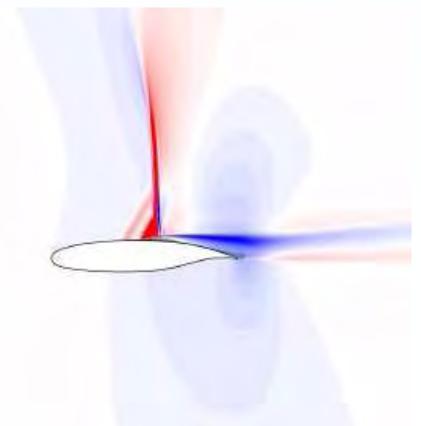
## Stabilité de l'interaction onde de choc/couche limite laminaire

### Résumé

Le phénomène d'interaction onde de choc/couche limite (CL) est omniprésent en aérodynamique. De manière générale, il génère des oscillations basses fréquences qui peuvent être néfastes pour les machines. L'exemple typique est le tremblement de l'onde de choc sur profil d'aile en régime transsonique, dangereux car il peut exciter les modes de structure de l'aile et potentiellement la rompre. Ce type de phénoménologies a été largement étudié en conditions de CL amont turbulente, ce qui a donné lieu à des scénarios physiques crédibles et des méthodologies d'études efficaces, notamment les analyses de stabilité sur champs turbulents moyennés (RANS). Toutefois la technologie laminaire, c'est-à-dire l'utilisation de CL laminaires en vue de réduire la consommation des aéronefs représente un nouveau challenge scientifique sur cette problématique. La physique est en effet fortement impactée par la nature laminaire de la CL, notamment du fait de la faible résilience de celle-ci aux gradients de pression adverses et à la transition turbulente.

Cette thèse a ainsi porté sur les méthodes d'analyse de stabilité sur champ RANS pour les situations de CL laminaire. L'originalité et l'apport de l'étude résident dans la prise en compte des modèles de transition dans l'approche linéarisée sur champ RANS. Les modèles utilisés ont donc été linéarisés afin de réaliser des études de stabilité en perturbant toutes les variables aérodynamiques. La validation de la méthode a été réalisée par comparaison avec des résultats expérimentaux et de simulation (LES) sur deux configurations d'application. La première configuration est le cas de la réflexion d'un choc oblique sur une plaque plane. La deuxième est celle du choc droit à l'extrados d'un profil en condition transsonique. Ces deux cas sont en condition de CL laminaire à l'amont du choc. Des analyses de stabilité et de résolvant ont été réalisées. Ces approches ont permis de caractériser le comportement d'oscillateur/amplificateur des écoulements en question et d'analyser la physique des instationnarités observées dans les expériences. Le cas de la réflexion de choc est caractérisé par trois fréquences. L'analyse de stabilité montre que celles-ci ne correspondent pas à des modes globaux instables mais à une dynamique d'amplificateur de l'écoulement. L'analyse de résolvant identifie bien ces trois fréquences. L'analyse des réponses optimales, couplée à une analyse de stabilité locale, a ensuite permis de proposer des scénarios physiques de ces dynamiques. Dans le cas du choc droit sur profil en régime transsonique, l'écoulement apparaît globalement instable. Deux modes d'instabilité sont identifiés. Le premier à basse fréquence correspond au phénomène de tremblement observé en conditions turbulentes. Le deuxième apparaît à plus haute fréquence, et correspond à un mode d'oscillation de la bulle de séparation présente sous le pied de choc. Plus largement, la thèse permet de suggérer que certaines dynamiques dans ce type d'interaction procèdent de mécanismes similaires liés à la respiration de la bulle de séparation laminaire.

*Mode d'instabilité basse fréquence de l'onde de choc sur profil d'aile (OALT25) en régime de couche limite laminaire*



# **Développer un nouveau modèle pour améliorer la prévision de la transition bypass dans les moteurs d'avion**

**Loïc JECKER**

Thèse soutenue le 15 novembre 2018

Ecole doctorale : ED 468 (MEGEP) - Mécanique, Energétique, Génie civil,  
Procédés - Toulouse

**Titre de la thèse**

**Prévision de la transition bypass à l'aide d'un modèle  
à énergie cinétique laminaire basé sur la dynamique  
des modes de Klebanoff**

**Encadrement**

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Encadrants : Hugues Deniau & Olivier Vermeersch - ONERA  
Emma Croner - Safran Tech

Directeur de thèse : Grégoire Casalis - ISAE-SUPAERO

**Financement**

CIFRE Safran Tech

**Défi scientifique**

Vers la maîtrise  
de la turbulence

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



Université  
de Toulouse

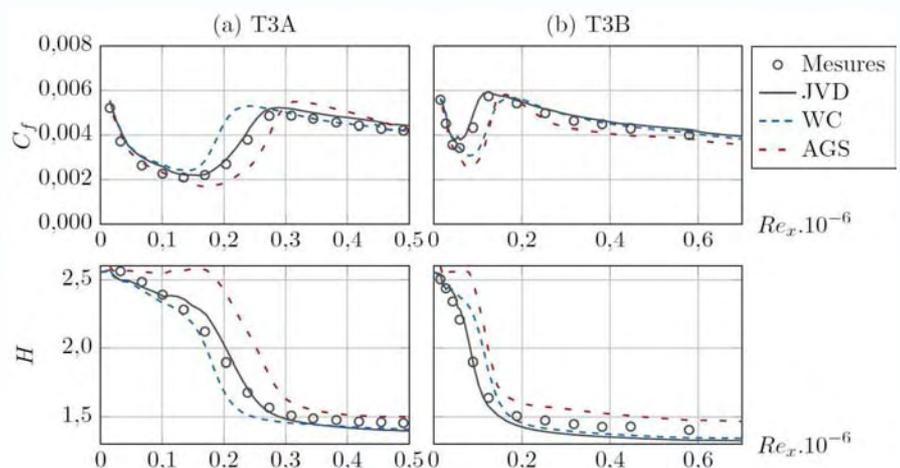


**Contact : Hugues.Deniaux @ onera.fr**

## Résumé

Le phénomène de transition bypass se produit lorsque la couche limite est soumise à un écoulement extérieur présentant un taux de turbulence significatif. Dans ce cas, le scénario classique de transition (par ondes de Tollmien-Schlichting ou Cross-Flow) est court-circuité et la transition est induite par l'amplification d'instabilités appelées modes de Klebanoff. A l'heure actuelle, il n'existe pas de méthodes numériques précises permettant de reproduire correctement la transition bypass sur des configurations complexes. Or ce phénomène est particulièrement important car il impacte directement les performances et la durée de vie des moteurs d'avion.

L'objectif de la thèse était donc de développer un modèle de prévision de la transition bypass. Une modélisation basée sur la dynamique des modes de Klebanoff a ainsi été proposée. Elle se traduit par la résolution d'une équation pour l'énergie cinétique des modes de Klebanoff  $k_L$  appelée l'énergie cinétique laminaire. Un critère de transition permettant de prévoir le démarrage de la turbulence a également été mis en place. Cette modélisation est formulée localement de manière à assurer sa compatibilité avec une approche RANS. Une fois le critère de transition vérifié, cette information est véhiculée à l'aide de la propagation d'un indicateur beta par une équation de transport. La formulation proposée est donc basée sur un critère de transition et deux équations de transport pour  $k_L$  et beta. Dans un premier temps, cette formulation a été couplée à un modèle de turbulence classique de type  $k$ -omega. Ce modèle a été introduit dans un code de couche limite (3C3D) puis calibré et validé à l'aide de configurations expérimentales académiques sur plaque plane à basse vitesse. Il prévoit avec précision la croissance des modes de Klebanoff et la position de la transition. L'étalement de la région transitionnelle est en revanche sous-estimé, mais montre une dépendance aux paramètres physiques cohérente avec les mesures expérimentales. Ce modèle a ensuite été appliqué et évalué sur des géométries plus complexes 2D et 3D type aubage de turbomachine à l'aide du code RANS elsA. Son utilisation s'est montrée plus facile que celle des modèles RANS de transition bypass utilisés jusqu'alors en bureau d'étude. Par ailleurs, le modèle de transition a été couplé à deux modèles de turbulence anisotropes. Les perspectives amenées par cette étude concernent l'amélioration de la modélisation de la turbulence dans les zones laminaire et transitionnelle et l'extension de la physique traitée.



Évolution du coefficient de frottement ( $C_f$ ) et du facteur de forme ( $H$ ) mesurés pour les cas ERCOFTAC T3A et T3B, comparés aux calculs avec le nouveau modèle (JVD), la formulation de Walters et Cokljat (WC) et le critère de Abu-Ghannam et Shaw (AGS)

**Améliorer la compréhension de la physique  
des écoulements à l'origine d'une instabilité  
aérodynamique complexe, le tremblement  
transsonique**

**Edoardo PALADINI**

Thèse soutenue le 3 décembre 2018

Ecole doctorale : ED 432 (SMI) - Sciences des métiers de l'ingénieur -  
ENSAM ParisTech

**Titre de la thèse**

**Insight On Transonic Buffet Instability - Evolution From Two-  
Dimensional Aerofoils To Three-Dimensional Swept Wings**

**Encadrement**

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Encadrants : Julien Dandois & Denis Sipp - ONERA

Directeur de thèse : Jean-Christophe Robinet - ENSAM ParisTech

**Financement**

ONERA

**Défi scientifique**

Vers la maîtrise  
de la turbulence

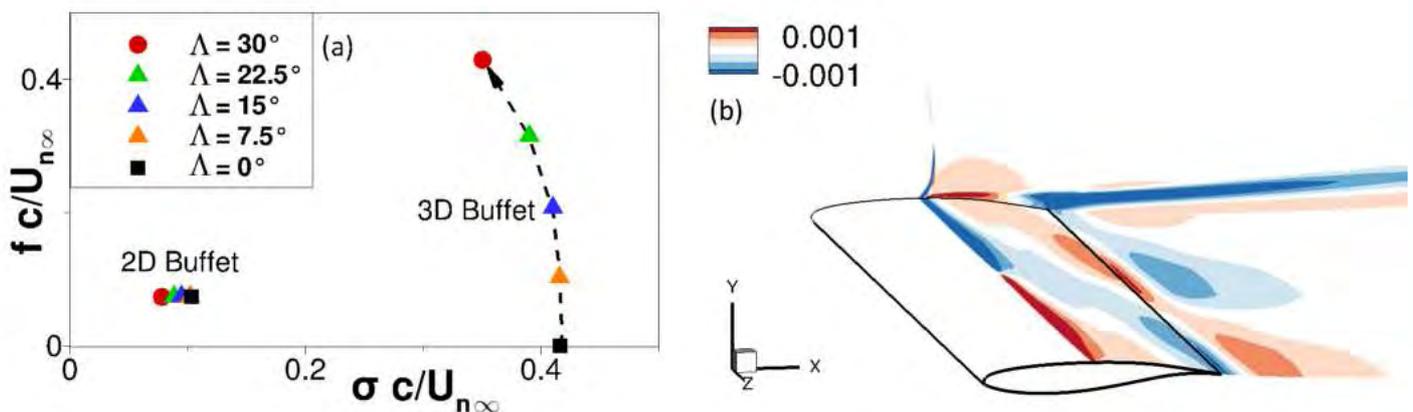
[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



**Contact : Julien.Dandois @ onera.fr**

## Résumé

The transonic buffet is a complex aerodynamic instability which appears on wings and aerofoils in high subsonic regime for certain values of Mach number and angle of attack. The aim of the present study is to improve the understanding of the flow physics behind the instability and, in particular, to explain the evolution of the transonic buffet phenomenon from two-dimensional aerofoils to three-dimensional swept wings. First the work by Crouch et al. (2007, 2009) has been reproduced. Then, the two-dimensional transonic buffet is analysed to highlight the zones of the flow necessary for the persistence of the instability. The study has been conducted numerically through the coupling between two techniques based on different approaches: linear stability analysis and numerical simulations. The two different approaches give the same results: the shock foot is identified as the core of the instability, the shock and the detached boundary layer are also necessary zones. In order to outline the differences between two-dimensional and three-dimensional buffet, the analysis and comparison of four different experimental databases of three-dimensional wings is performed. The experimental analysis identifies the characteristic values of the buffet phenomenon such as Strouhal numbers, convection velocities, buffet onset etc. Three-dimensional buffet exhibits different characteristics in comparison with the two-dimensional one: higher Strouhal number, bump instead of peak in the power spectral density, lower shock amplitude oscillation and three-dimensional patterns in the detached boundary layer which are convected outboard. These differences suggest different physical mechanisms. Finally a three-dimensional global stability analysis of a wing is performed. The two and three-dimensional buffet phenomena appear as two different unstable modes in the spectrum. The phenomenon called in the literature three-dimensional transonic buffet corresponds to a "detached boundary" cells convection phenomenon with a zero-frequency unstable global mode, which becomes unsteady with the addition of sweep.



(a) Evolution of the eigenvalue spectrum for a wing with a sweep angle  $\Lambda$  increasing from  $0^\circ$  to  $30^\circ$   
 (b) Shape of the 3D buffet mode at  $\Lambda = 30^\circ$

**Réduire la distorsion de l'écoulement  
par méthodes de contrôle passif  
pour les entrées d'airs subsoniques**

**Geoffrey TANGUY**

Thèse soutenue le 4 décembre 2018  
Ecole doctorale : Cranfield University (UK)

**Titre de la thèse**

**Experimental and computational aerodynamic studies  
of convoluted intake ducts**

**Encadrement**

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Directeurs de thèse : David MacManus - Cranfield University  
Eric Garnier - ONERA

**Financement**

Defence Science and Technology Laboratory (Dstl) & Délégation Générale  
de l'Armement (DGA)

**Défi scientifique**

Vers la maîtrise  
de la turbulence

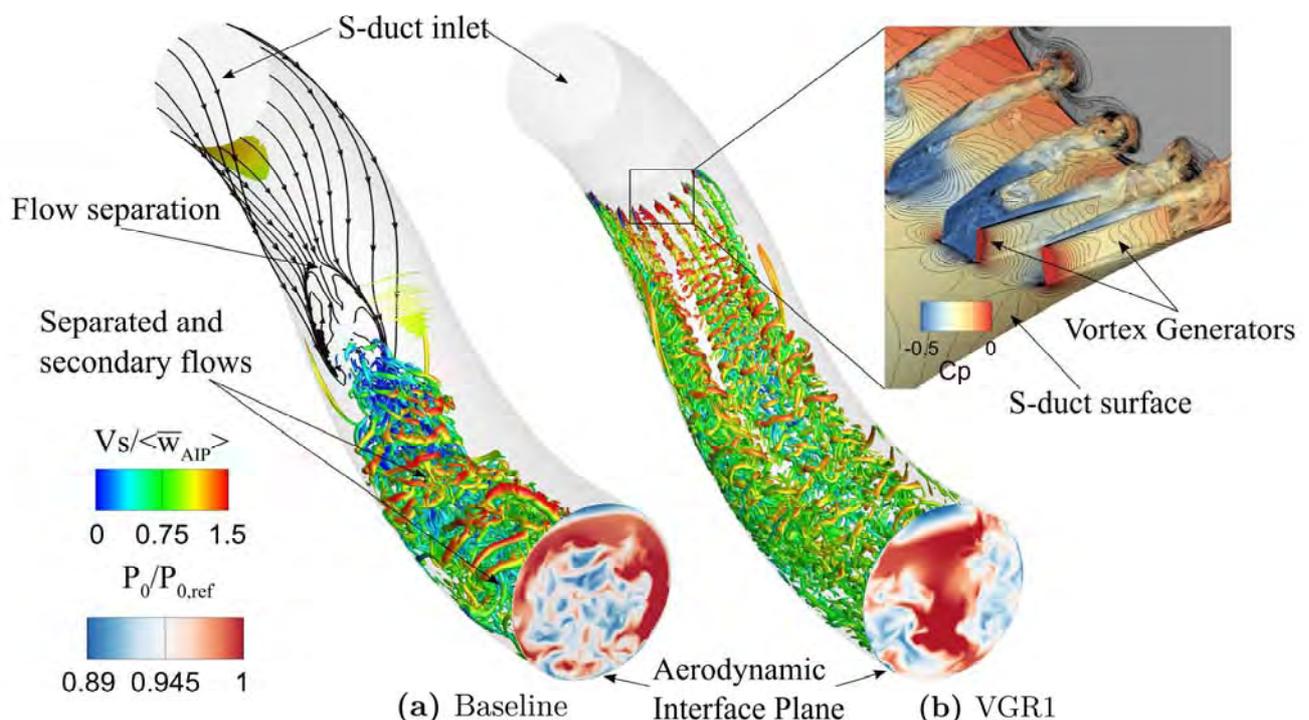
[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



**Contact : Geoffrey.Tanguy @ onera.fr**

## Résumé

Complex aero-engine intakes can lead to the development of distorted flows with high levels of unsteady total pressure and swirl distortion which may exceed the tolerance level of a given engine and lead to compressor surge and performances degradation. This work presents the assessment of the unsteady distortion for two representative S-ducts as well as the impact of vortex generator flow control devices. The flow field at the AIP was experimentally assessed with Stereo-Particle Image Velocimetry which provided synchronous high spatial resolution measurements of the 3 velocity components at the Aerodynamic Interface Plane (AIP). The unsteady flow field was also numerically investigated with Zonal Detached Eddy Simulations (ZDES) including passive flow control devices implemented with a Chimera grid. Overall, this work quantified the highly beneficial impact of passive flow control devices on the flow fields for S-duct intakes and demonstrated the necessity to assess the unsteady swirl distortion for the assessment of aero-engine intakes. The use of vortex generators (VGs) within the S-duct changed the secondary flow, substantially restructured and stabilised the flow field at the AIP. As a result, a reduction in pressure loss up to 30% was achieved at the AIP with an improvement of up to 50% in total pressure distortion compared with the baseline. The substantial influence of the VGs on the flow field unsteadiness also typically reduced the unsteady swirl distortion by 67%. Consequently, extreme events that led to high swirl intensity for the baseline configuration were suppressed. Finally, the ZDES model was shown to be able to calculate the unsteady distortion with and without flow control devices which provides a viable method for industrial applications of aero-engine intake design at a reduced computational cost.



ZDES flow 3D field illustrated by the Q-criteria and the AIP total pressure flow field

**Distinction**

Prix de la meilleure  
communication -  
Symposium ODAS  
(2017)

**Ye-Bonne KOYAMA MALDONADO**

Thèse soutenue le 4 avril 2018

Ecole doctorale : ED 447 (EDX) - Polytechnique

**Titre de la thèse**

**Characterisation and aerodynamic impact of leading-edge  
vortices on propeller blades**

**Encadrement**

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Encadrant : Gregory Delattre - ONERA

Directeur de thèse : Laurent Jacquin - ONERA

**Financement**

CIFRE Safran Aircraft Engines

**Défi scientifique**

Vers la maîtrise  
de la turbulence

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



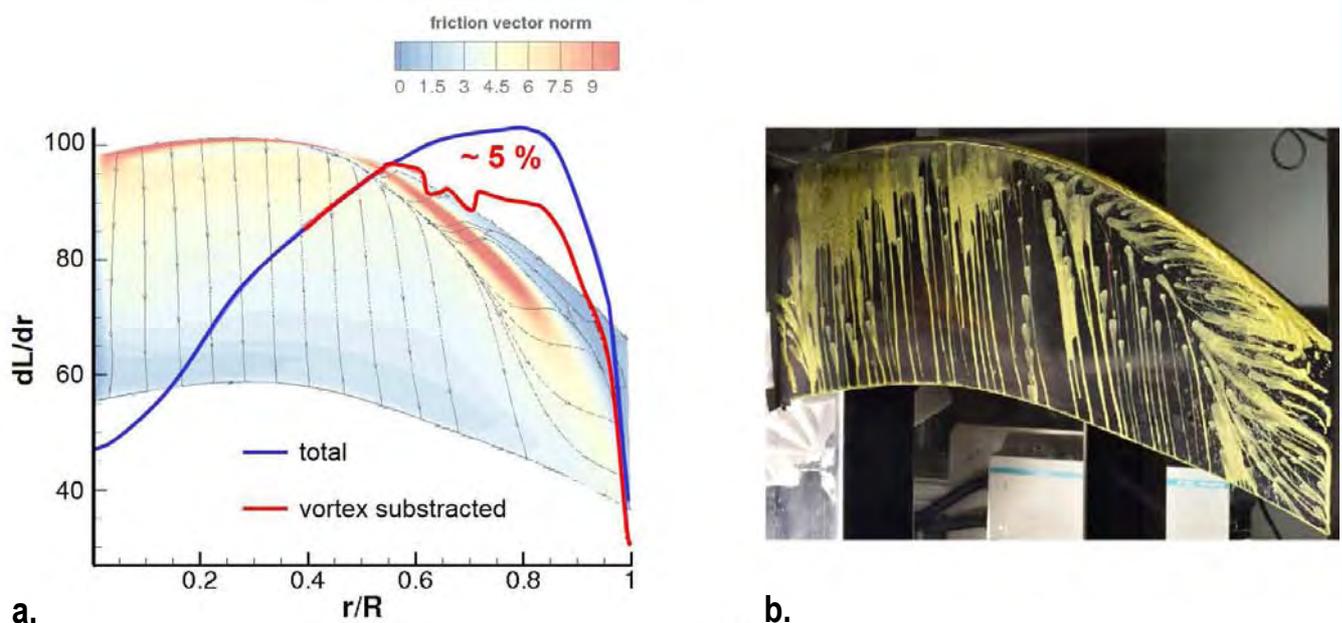
Contact : Grégory.Delattre @ onera.fr

## Characterisation and aerodynamic impact of leading-edge vortices on propeller blades

### Résumé

This thesis deals with the aerodynamic properties of propeller blades. Those blades are designed to maximise cruise efficiency, while achieving target thrust at take-off. Therefore, they typically have thin, low-cambered profiles and work at high incidence at take-off, which can give rise to a leading-edge vortex (LEV). The topology of this LEV looks similar to Delta wing LEVs, which are known to generate vortex lift.

The aim of this study is to explore the probable impact of the LEV on lift at take-off in order to reconsider propeller blade designs. The approach first consisted in characterising the LEV topology on a model blade representative of an Open Rotor front blade of type HTC5, using both Time-Resolved PIV and RANS k-omega SST calculations. The comparison between both methods demonstrated the ability of RANS calculations to reproduce the LEV characteristics of interest for this study. The LEV was found to be an elongated, nearwall structure. An algorithm was developed to estimate vortex lift contribution from RANS wall pressure fields, and used to evaluate the impact of the LEV on lift at take-off on the HTC5 Open Rotor geometry. In order to explicit the influence of the blade's geometrical and functioning parameters on vortex lift, a 1D vortex lift model was developed and coupled to the Blade Element Momentum Theory. The first blade geometry comparative studies at iso-thrust showed that vortex lift enables to generate target thrust at take-off with a lower blade surface. This opens new perspectives for the design of blade geometries with enhanced cruise efficiency.



*Friction lines visualisation of the leading-edge vortex on the HTC5 model blade :  
(a) RANS wall friction modulus, and spanwise lift distribution (incl. lift contribution)  
(b) Experimental viscous oil visualisation*

**Distinction**

Prix de la meilleure  
communication -  
Symposium ODAS  
(2018)

**Benjamin GODARD**

Thèse soutenue le 1er juin 2018

Ecole doctorale : ED 468 (MEGEP) - Mécanique, Energétique, Génie civil,  
Procédés - Toulouse

**Titre de la thèse**

**Étude et méthodologies de simulation de doublet  
entrée d'air - soufflante pour la conception de turbofan  
de nouvelle génération**

**Encadrement**

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Encadrants : Nabil Ben Nasr - ONERA

Edouard De Jaeghere - Safran Aircraft Engines

Directeur de thèse : Nicolas Gourdain - ISAE-SUPAERO

**Financement**

CIFRE Safran Aircraft Engines

**Défi scientifique**

Vers la maîtrise  
de la turbulence

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



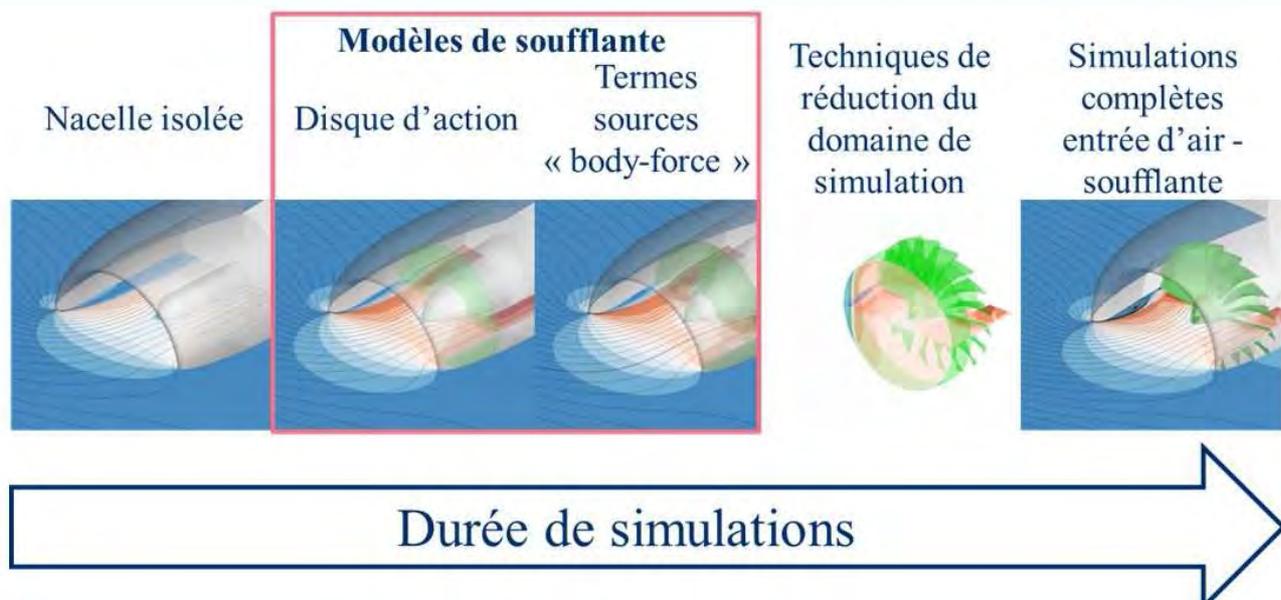
Université  
de Toulouse



Contact : Benjamin.Godard @ onera.fr

## Résumé

L'amélioration de l'efficacité des avions commerciaux a été faite jusqu'à aujourd'hui en séparant la conception de l'ensemble propulsif du reste de la voilure. Cette démarche a aujourd'hui atteint ses limites. En effet, que ce soit en considérant les concepts de turbofans à très hauts taux de dilution (ou UHBR) équipés de nacelles courtes, ou encore les concepts de moteurs enterrés, la conception des turboréacteurs de prochaine génération doit prendre en compte l'inter-influence de la soufflante avec l'entrée d'air. Cependant, le couplage aérodynamique entre l'entrée d'air et la soufflante implique des difficultés de simulation numérique. En effet, la prise en compte des hétérogénéités d'entrée d'air (ou distorsions) impose a priori la résolution instationnaire de la soufflante sur l'ensemble de sa circonférence. Afin d'améliorer la compréhension des phénomènes d'interaction entre l'entrée d'air et la soufflante, les travaux de thèse ont proposé des méthodologies efficaces pour simuler la soufflante dans un environnement en interaction avec une entrée d'air. Parmi ces méthodologies, l'utilisation de termes sources (alias méthode body-force) pour modéliser la soufflante dans le domaine de calcul a été retenue à la fois pour permettre de rendre compte des effets de la soufflante sur l'aérodynamique d'entrée d'air, mais aussi pour évaluer l'évolution du point de fonctionnement de la soufflante sous distorsion. Les études ont mis en évidence la capacité du modèle à retarder l'apparition des décollements de manche sous vent de travers. De plus, l'efficacité des simulations body-force a rendu possible l'établissement de larges études paramétriques. La première étude a permis de mettre en relation les caractéristiques de distorsions de pression d'arrêt avec les pertes de rendement et de marge de stabilité de la soufflante. Afin de mitiger ces pertes, une seconde étude a mis en exergue les sensibilités de paramètres de dessin des aubes et plus généralement l'apport de la méthodologie body-force sélectionnée pour mener à bien la conception de soufflantes robustes aux distorsions d'entrée d'air.



*Approches de simulations des doublets entrée d'air - soufflante*

**Etudier numériquement l'effet d'une aile battante  
sur le fluide environnant pour mieux comprendre  
ce mode de propulsion**

**Damien JALLAS**

Thèse soutenue le 17 octobre 2018

Ecole doctorale : ED 468 (MEGEP) - Mécanique, Energétique, Génie civil,  
Procédés - Toulouse

**Titre de la thèse**

**Stabilité d'écoulements de sillages périodiques générés  
par des ailes battantes**

**Encadrement**

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Encadrant : Olivier Marquet - ONERA

Directeur de thèse : David Fabre - Université Toulouse Paul Sabatier

**Financement**

Délégation Générale de l'Armement (DGA) & ONERA

**Défi scientifique**

Vers la maîtrise  
de la turbulence

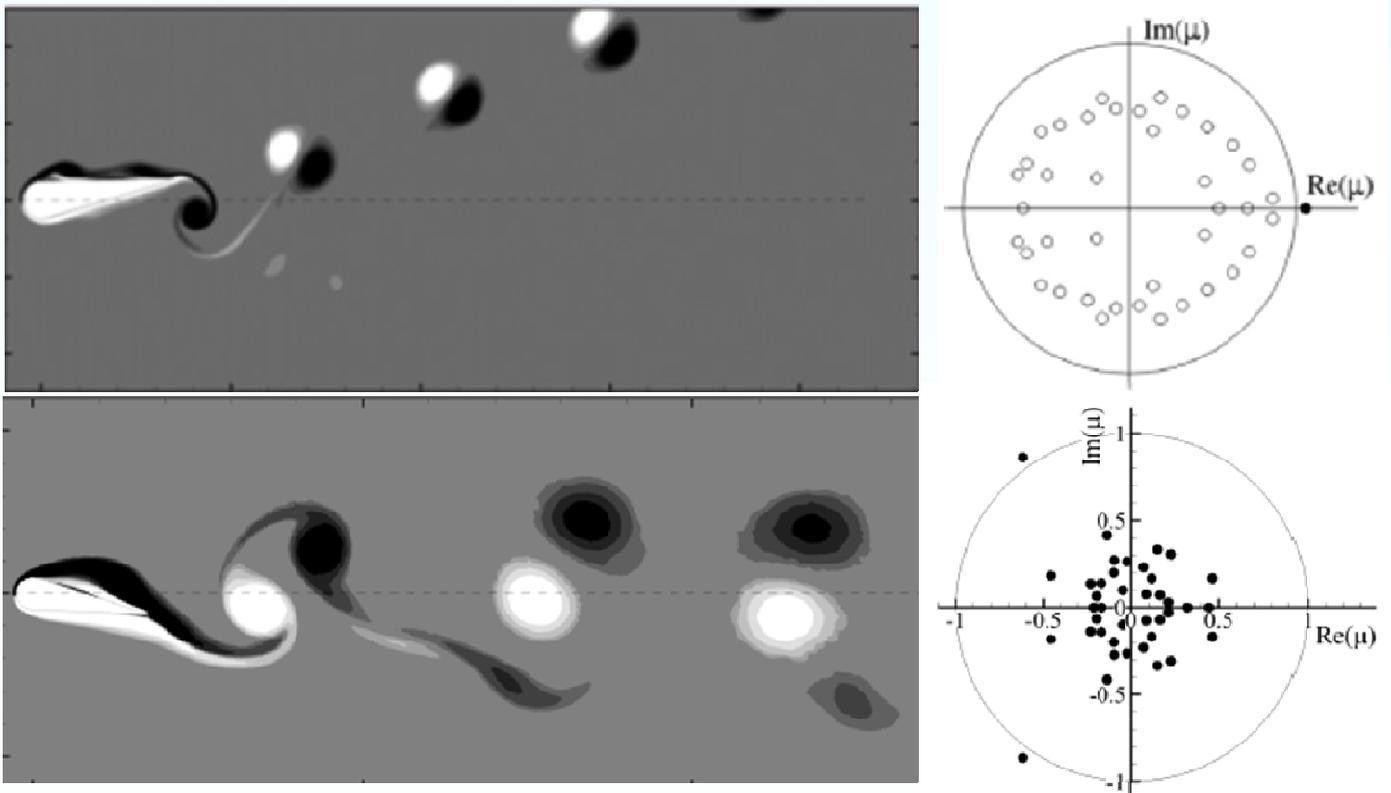
[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



**Contact : Olivier.Marquet @ onera.fr**

## Résumé

La thèse porte sur l'étude numérique de la stabilité d'écoulements périodiques générés dans le sillage d'ailes battantes. Elle vise à expliquer trois phénomènes observés expérimentalement et simulés numériquement : (i) la déviation du sillage propulsif d'une aile battante en incidence nulle, (ii) l'apparition d'écoulements quasi-périodiques autour d'ailes battantes en incidence non nulle, et (iii) l'autopropulsion d'ailes battantes symétriques dans un fluide initialement au repos. Tous ces phénomènes sont reliés à l'existence d'instabilités périodiques de l'écoulement autour de l'aile. Plusieurs méthodes originales ont été développées pour calculer les champs de base périodiques instables qui satisfont les symétries spatiotemporelles imposées par la cinématique des ailes. La stabilité de ces écoulements de sillages périodiques a ensuite été étudiée au moyen d'une analyse de Floquet. En plus de ces analyses linéaires, la connaissance des champs de base périodiques permet l'étude de la saturation non linéaire des instabilités rencontrées. Dans chaque cas, ces résultats permettent de discuter les effets observés sur les performances aérodynamiques des ailes battantes.



*Vorticité dans les sillages périodiques d'ailes battantes sans (haut) et avec (bas) une incidence moyenne. La déviation moyenne (haut) s'explique par l'apparition d'un mode de Floquet synchrone instable dans le spectre représenté sur la figure de droite.*

*Le triplement de la période (bas) s'explique par l'existence d'un mode quasi-périodique instable dont la fréquence est quasiment égale à 1/3 de la fréquence de battement*

**Etudier la dynamique physique des anneaux  
de vorticité dans les jets pulsés pour améliorer  
leurs propriétés de mélange**

**Léopold SHAABANI ARDALI**

Thèse soutenue le 26 novembre 2018

Ecole doctorale : ED 579 (SM MaG) - Sciences Mécaniques et  
Energétiques, Matériaux et Géosciences - Paris-Saclay

**Titre de la thèse**

**Stability and optimal control of time-periodic flows -  
application to a pulsed jet**

**Encadrement**

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Directeurs de thèse : Lutz Lesshafft - LadHyX

Denis Sipp - ONERA

**Financement**

Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation  
(MESRI)

**Défi scientifique**

Vers la maîtrise  
de la turbulence

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



**Contact : Denis.Sipp @ onera.fr**

## Stability and optimal control of time-periodic flows - application to a pulsed jet

### Résumé

This thesis describes the linear instability analysis and the design of linear optimal control of time-periodic flows. The numerical framework developed is applied to the study of pulsed jets. When a laminar round jet is forced axisymmetrically and time-periodically at the inlet, a regular street of vortex rings is formed. Two instability phenomena of such arrays are investigated. Firstly, intrinsic mechanisms may trigger vortex pairing. Secondly, if an additional subharmonic helical component is superposed onto the fundamental axisymmetric forcing, jet bifurcation is induced. Both phenomena result in strongly increased spreading and mixing in the mean flow.

In a first step, a numerical stabilisation technique is devised, allowing the computation of exact periodic flow solutions, even when they are subject to intrinsic instabilities. This method, based on a time-delayed feedback, is then applied in order to recover unpaired periodic flow states of pulsed jets, in parameter regimes where vortex pairing naturally occurs. These unpaired flow states form the basis for the following instability and optimal control calculations.

In a second step, the intrinsic perturbation dynamics in pulsed jets is investigated. Modal instability properties, governing the long-time flow behaviour, are examined in the framework of Floquet theory. Numerically, a Krylov basis is constructed from linear time-stepping using a block-Arnoldi algorithm to maximise efficiency. Transient dynamics, governing the short-time growth of initial perturbations, are characterised by an optimal perturbation analysis. While the modal Floquet analysis accurately predicts the critical Reynolds and Strouhal numbers of the long-time occurrence of vortex pairing, transient growth dynamics dominates the bifurcation.

Finally, the optimal way to trigger jet bifurcation through subharmonic inlet forcing is computed. Inlet helical forcing is identified, that maximises the jet spreading and mixing in one privileged meridional plane. This optimal forcing is implemented in direct numerical simulations, and its efficiency in the nonlinear regime is compared to that of ad hoc forcing used in previous studies. The optimal forcing results in bifurcation further upstream, at higher spreading angles, and over a much wider range of Strouhal numbers than found previously.



*Iso-vorticity of a jet at  $Re=2000$  excited with an axisymmetric and a helical mode in order to optimize the mixing*

**Distinctions**

Best Student Paper  
Award - EUCASS  
(2017)

Prix de la créativité  
de la FR TTM  
(2018)

**Gabriele PEROZZI**

Thèse soutenue le 13 novembre 2018

Ecole doctorale : ED 072 (SPI) - Sciences pour l'Ingénieur - Lille

**Titre de la thèse**

**Exploration sécurisée d'un champ aérodynamique  
par un mini-drone**

**Encadrement**

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Encadrant : Laurent Planckaert - ONERA

Directeurs de thèse : Denis Efimov - INRIA

Jean-Marc Biannic - ONERA

**Financement**

Région Hauts-de-France & ONERA

**Défi scientifique**

Vers la maîtrise  
de la turbulence

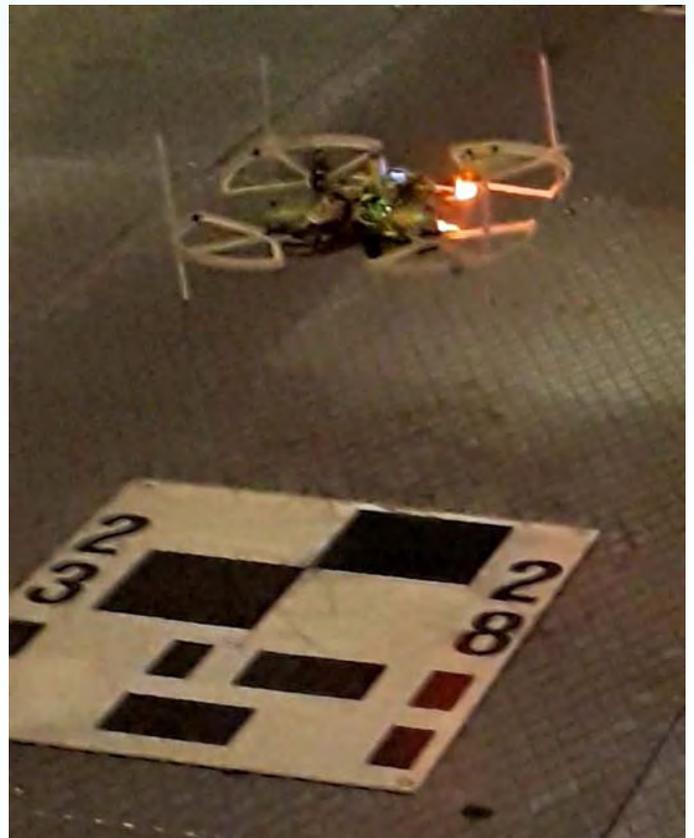
[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



**Contact : Laurent.Planckaert @ onera.fr**

## Résumé

Cette thèse s'inscrit dans le cadre du projet "Petits drones dans le vent" porté par le centre ONERA de Lille. Ce projet vise à gérer le vol d'un quadricoptère dans des conditions aérologiques perturbées en utilisant une prédiction du champ de vent actualisée par des informations venant du drone. Dans ce contexte, le but de la thèse est de faire du quadricoptère un capteur de vent pouvant explorer localement un champ aérologique sans compromettre la sécurité du vol. Grâce à l'estimation en temps réel du vent à bord, le quadricoptère peut mettre à jour la cartographie du vent existante et planifier une trajectoire évitant les zones dangereuses. Ainsi, les résultats de cette thèse, dont les objectifs principaux portent sur l'estimation instantanée du vent et le contrôle de trajectoire d'un drone évoluant dans un environnement venteux incertain, seront fusionnés avec ceux d'une autre étude traitant de la planification de la trajectoire. Un problème important est que les capteurs classiques tels que l'aéro-clinomètre et le tube de Pitot ne sont pas facilement utilisables à bord des véhicules à voilures tournantes car le souffle des rotors perturbe la mesure et que des capteurs LIDAR suffisamment légers ne sont pas encore disponibles. Une autre approche pour estimer le vent consiste à mettre en œuvre un logiciel d'estimation (capteur intelligent). Dans cette thèse, trois estimateurs de ce type sont développés en utilisant une approche par modes glissants, utilisant un modèle de drone adéquat, des mesures disponibles à bord du drone ainsi que des mesures sol. Nous nous intéressons ensuite au contrôle de la trajectoire par modes glissants en considérant un modèle non linéaire du quadricoptère et une perturbation causée par le vent bornée. Nous envisageons aussi en conclusion une solution alternative basée sur la commande  $H_\infty$  permettant de prendre en compte des spécifications plus complexes. Les algorithmes de contrôle et d'estimation sont basés sur un modèle détaillé du quadricoptère, qui met en évidence l'influence du vent.



*Décollage du drone X4MAG dans la soufflerie B20 de l'ONERA*

# **Améliorer la prévision des écoulements secondaires dans un compresseur haute-pression pour mieux prévoir ses performances**

**Cédric URIBE**

Thèse soutenue le 24 septembre 2018

Ecole doctorale : ED 391 (SMAER) - Sciences Mécaniques, Acoustique,  
Electronique & Robotique - Sorbonne Université

**Titre de la thèse**

**Développement d'une approche ZDES à deux équations  
de transport et application turbomachines**

**Encadrement**

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Directeurs de thèse : Georges Gerolymos - Institut Jean Le Rond d'Alembert  
Julien Marty - ONERA

**Financement**

ONERA

**Défi scientifique**

CFD 2030

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)

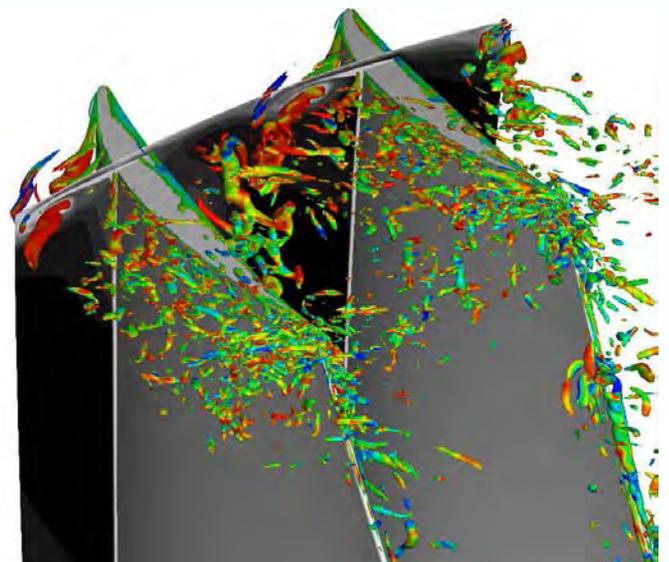


**Contact : Julien.Marty @ onera.fr**

## Résumé

Afin d'améliorer les caractéristiques d'une turbomachine, il est capital de prévoir correctement les écoulements secondaires et/ou transitionnels s'y développant. Ces écoulements peuvent être à l'origine de la réduction de ses performances et de son domaine de fonctionnement. À titre d'exemple la présence de tourbillons de jeu ou de décollements de coin sur les aubages de compresseur H.P. engendre des pertes de pression totale favorisant l'apparition d'instabilités axiales (pompage). Les multiples processus de transition laminaire-turbulent modulent la charge thermique subie par les aubes de turbine et conditionnent donc leur durée de vie. La nature généralement fortement instationnaire, décollée et transitionnelle de ces écoulements rend leur prévision délicate voire imprécise avec les modélisations de la turbulence utilisées en conception (approche RANS). En réponse à ces défis une solution est l'approche hybride RANS/LES dite ZDES (Zonal Detached Eddy Simulation (*Deck 2012*)) dans ses modes de fonctionnement 0, 1 et 2 : les couches limites sont traitées par une approche RANS dans leur entière épaisseur afin de s'y affranchir du coût excessif d'une approche LES (résolution des grandes échelles de la turbulence) qui est seulement utilisée - si nécessaire - sur le reste du domaine de calcul pour une prévision haute fidélité des écoulements décollés, l'interface entre les deux approches étant continue. Afin que cette approche soit compatible avec la majorité des modèles de transition laminaire-turbulent, en particulier en aérodynamique interne, ces travaux en proposent diverses variantes non plus basées sur le modèle de turbulence de Spalart et Allmaras (approche ZDES SA) mais sur le modèle  $k - \omega$  SST de Menter (approche ZDES SST). Au regard d'une décomposition en problématiques majeures de leurs performances, ils démontrent la similitude comportementale de ces deux approches sur des cas d'écoulement génériques (couche de mélange, marche descendante, barreau cylindrique) peu exigeants vis-à-vis de leur modèle de turbulence sous-jacent au sein des régions RANS. Ils démontrent également l'avantage de la ZDES SST sur la ZDES SA sur un cas d'intérêt industriel (rotor de compresseur axial H.P.) autrement plus exigeant et évaluent diverses voies d'amélioration pour l'approche ZDES. Enfin ils enrichissent cette démarche d'évaluation d'un nouveau cas générique d'écoulement (bosse axisymétrique) permettant d'isoler la problématique de la prévision des décollements de couche limite turbulente en l'absence de singularité géométrique.

*Critère Q coloré par hélicité et plan axial coloré par entropie en niveaux de gris - Compresseur CREATE - Simulation ZDES SST*



# **Simuler numériquement l'évaporation de gouttes dans un écoulement pour mieux comprendre le fonctionnement des injecteurs de carburant dans les chambres de combustion**

## **Romain ALIS**

Thèse soutenue le 28 novembre 2018

Ecole doctorale : ED 468 (MEGEP) - Mécanique, Energétique, Génie civil,  
Procédés - Toulouse

### **Titre de la thèse**

**Simulation numérique directe de gouttes et de groupes  
de gouttes qui s'évaporent dans un écoulement  
laminaire ou turbulent**

### **Encadrement**

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Encadrant : Olivier Rouzaud - ONERA

Directeurs de thèse : Jean-Luc Estivalèzes - ONERA

Sébastien Tanguy - Université Paul Sabatier

### **Financement**

Région Occitanie & ONERA

### **Défi scientifique**

CFD 2030

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



Université  
de Toulouse

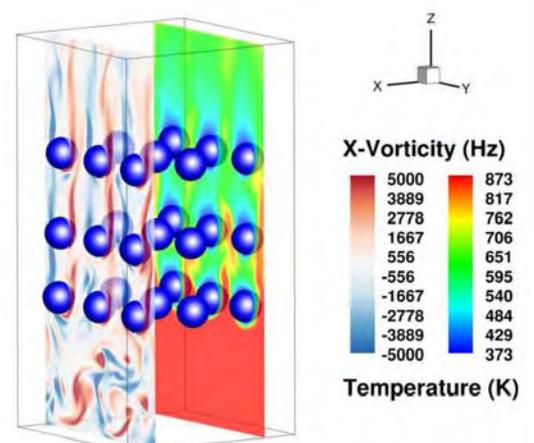


**Contact : Olivier.Rouzaud @ onera.fr**

## Résumé

L'évaporation du carburant injecté dans une chambre de combustion est un phénomène crucial dans un foyer aéronautique car elle détermine la quantité de vapeur qui sera ensuite brûlée pour fournir de l'énergie au moteur. Cependant, ce phénomène reste mal décrit du fait des difficultés de mesurer expérimentalement les taux d'évaporation des gouttes appartenant à un brouillard. D'autre part, les hypothèses des modèles théoriques ne sont toujours pas représentatives des conditions rencontrées dans les foyers de combustion. La thèse s'inscrit dans une démarche visant à étudier l'évaporation d'un groupe de gouttes dans un écoulement turbulent au moyen de la Simulation Numérique Directe (SND). En effet, lors de l'évaporation de groupes de gouttes, des effets collectifs peuvent influencer sur le taux d'évaporation de chaque goutte ou sur le taux d'évaporation global du nuage de gouttes. L'approche SND permet de quantifier précisément ces effets afin d'améliorer les modèles actuels d'évaporation. Dans un premier temps, des algorithmes ont été développés et utilisés dans une configuration 1D sphérique pour décrire l'évaporation d'une goutte statique isolée et sans gravité. Puis dans un second temps, l'évaporation d'une goutte a été étudiée dans un écoulement laminaire. Une analyse des échanges de chaleur entre la goutte et le milieu extérieur ainsi que de la force de traînée exercée par l'écoulement laminaire sur la goutte a été effectuée. Dans cette partie, il a été mis en évidence que l'évaporation induit une diminution des échanges thermiques et de la traînée. Il a notamment été observé que dans certains cas de forte évaporation, la traînée de la goutte peut devenir négative. Cela implique que l'évaporation peut être à l'origine d'un phénomène de propulsion de la goutte. Une analyse théorique permet de lier ce comportement à une asymétrie du débit d'évaporation. Dans un troisième temps, l'influence de la turbulence sur l'évaporation d'une goutte a été étudiée. Pour cela, un générateur de fluctuations turbulentes a été implémenté et des techniques de calculs parallèles ont été introduites pour réduire les temps de calcul. Cela a permis d'analyser les échanges thermiques et le comportement de la traînée d'une goutte en interaction avec un écoulement turbulent. Il a été montré que ces deux grandeurs ont tendance à être amplifiées par la turbulence. Enfin, dans un dernier temps, l'évaporation de groupes de gouttes a été étudiée. Pour trois groupes de gouttes différents, les déplacements des gouttes ont été analysés avec les échanges de chaleur lorsque ceux-ci sont placés dans un écoulement laminaire ou turbulent avec ou sans changement de phase. En présence d'évaporation, il a été mis en évidence que les déplacements sont différents des cas sans évaporation et donc que le changement de phase modifie les effets collectifs. De plus, ces effets de groupes ont aussi été observés sur les échanges thermiques.

*Configuration  $CU_2$  avec un maillage de  $256 \times 256 \times 512$ , température et composante X du champ de vorticité pour un écoulement turbulent avec évaporation*



**Développer des outils d'identification sous  
incertitude des propriétés acoustiques  
de matériaux poreux pour mieux prévoir  
leur comportement acoustique**

**Distinction**

Prix Denis Maugars  
ONERA-TsAGI (2018)

**Rémi RONCEN**

Thèse soutenue le 8 novembre 2018

Ecole doctorale : ED 468 (MEGEP) - Mécanique, Energétique, Génie civil,  
Procédés - Toulouse

**Titre de la thèse**

**Modélisation et identification par inférence bayésienne  
de matériaux poreux acoustiques en aéronautique**

**Encadrement**

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Directeurs de thèse : Frank Simon & Estelle Piot - ONERA

**Financement**

Région Occitanie & ONERA

**Défi scientifique**

CFD 2030

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



Université  
de Toulouse

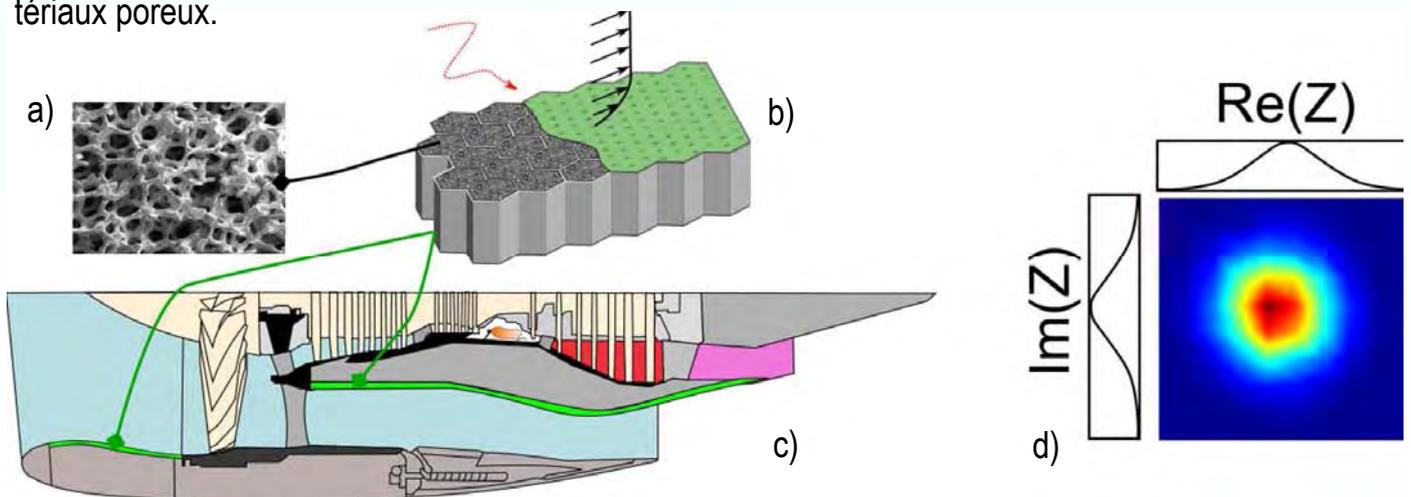


**Contact : Remi.Roncen @ onera.fr**

## Résumé

La réduction des nuisances sonores est un enjeu permanent pour les acteurs de l'aéronautique. Pour réduire le bruit rayonné par les moteurs, prépondérant en phase de décollage, les industriels utilisent des traitements acoustiques, appelés liners, le plus souvent constitués d'une paroi perforée et d'une cavité, disposés le long de la paroi des nacelles. Ces matériaux sont optimisés de façon à réduire le bruit rayonné hors de la nacelle, par absorption ou par interaction avec le champ acoustique interne, en présence d'un écoulement rasant. Leur comportement acoustique est régi par un phénomène de résonance, maximal dans une bande de fréquences réduite, liée à l'épaisseur de la cavité et déterminé à partir de la connaissance de l'impédance acoustique, quantité définie à la surface du matériau. Il ne permet malheureusement pas d'étendre l'absorption en large bande de fréquences et admet un comportement non-linéaire dû à la génération de tourbillons acoustiques au niveau de la surface des parois perforées en présence de forts niveaux sonores ou de vitesses d'écoulement rasant élevées. Une solution alternative peut alors consister à employer des matériaux multicouches intégrant des milieux poreux à porosité ouverte, connus pour leur absorption large bande et leur linéarité.

La première partie de ce travail de thèse se concentre sur l'identification par méthode inverse statistique de la microstructure de matériaux poreux, supposés rigides, ainsi que sur leur modélisation dans trois régimes fréquentiels distincts. La seconde partie des travaux traite des liners acoustiques et de l'identification de leur impédance surfacique, une propriété représentant le comportement acoustique du matériau architecturé placé sur fond rigide. La mesure de cette impédance en conditions aéronautiques (fort niveau sonore et écoulement rasant) n'est pas triviale, et fait à nouveau intervenir la notion de méthode inverse statistique développée dans la première partie, ce qui permet la prise en compte des incertitudes. Une étude des effets de non-linéarités associés à un fort niveau sonore et à un écoulement rasant est ensuite menée sur des liners architecturés contenant des matériaux poreux.



*Intégration de matériaux poreux (a) dans un liner acoustique (b) tapissant l'intérieur des nacelles d'avion (c). Identification statistique par inférence Bayésienne de la densité de probabilité des propriétés caractéristiques du liner (d)*

**Distinction**

Prix doctorant ONERA  
(2018)

**Florian MONTEGHETTI**

Thèse soutenue le 16 octobre 2018

Ecole doctorale : ED 467 (AA) - Aéronautique Astronautique - Toulouse

**Titre de la thèse**

**Analysis and Discretization of Time-Domain Impedance  
Boundary Conditions in Aeroacoustics**

**Encadrement**

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Directeurs de thèse : Denis Matignon - ISAE-SUPAERO  
Estelle PIOT - ONERA

**Financement**

Délégation Générale de l'Armement (DGA) & ONERA

**Défi scientifique**

Matériaux  
aérospatiaux  
stratégiques

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)

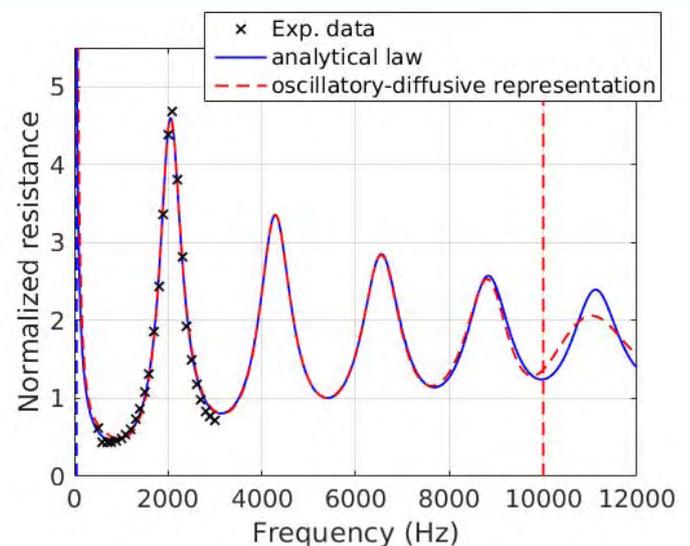


**Contact : Estelle.Piot @ onera.fr**

## Résumé

In computational aeroacoustics, time-domain impedance boundary conditions (TDIBCs) can be employed to model a locally reacting sound absorbing material. They enable to compute the effect of a material on the sound field after a homogenization distance and have proven effective in noise level predictions. The broad objective of this work is to study the physical, mathematical, and computational aspects of TDIBCs, starting from the physical literature. The first part of this dissertation defines admissibility conditions for nonlinear TDIBCs under the impedance, admittance, and scattering formulations. It then shows that linear physical models, whose Laplace transforms are irrational, admit in the time domain a time-delayed oscillatory-diffusive representation and gives its physical interpretation. This analysis enables to derive the discrete TDIBC best suited to a particular physical model, by contrast with a one-size-fits-all approach, and suggests elementary ways of computing the poles and weights. The proposed time-local formulation consists in composing a set of ordinary differential equations with a transport equation. The main contribution of the second part is the proof of the asymptotic stability of the multidimensional wave equation coupled with various classes of admissible TDIBCs, whose Laplace transforms are positive-real functions. The method of proof consists in formulating an abstract Cauchy problem on an extended state space using a realization of the impedance, be it finite or infinite-dimensional. The asymptotic stability of the corresponding strongly continuous semigroup of contractions is then obtained by verifying the sufficient spectral conditions of the Arendt-Batty-Lyubich-Vũ theorem. The third and last part of the dissertation tackles the discretization of the linearized Euler equations with TDIBCs. It demonstrates the computational advantage of using the scattering operator over the impedance and admittance operators, even for nonlinear TDIBCs. This is achieved by a systematic semi-discrete energy analysis of the weak enforcement of a generic nonlinear TDIBC in a discontinuous Galerkin finite element method. In particular, the analysis highlights that the sole definition of a discrete model is not enough to fully define a TDIBC. To support the analysis, an elementary physical nonlinear scattering operator is derived and its computational properties are investigated in an impedance tube. Then, the derivation of time-delayed broadband TDIBCs from physical reflection coefficient models is carried out for single degree of freedom acoustical liners. A high-order discretization of the derived time-local formulation, which consists in composing a set of ordinary differential equations with a transport equation, is applied to two flow ducts.

*Evolution fréquentielle de la partie réelle de l'impédance d'un matériau absorbant acoustique. Comparaison entre données expérimentales, modèle analytique et modèle numérique*



# Étudier le bruit généré par les hélices en interaction avec des sillages tourbillonnaires pour le réduire

**Paul ZEHNER**

Thèse soutenue le 1er février 2018

Ecole doctorale : ED 432 (SMI) - Sciences des métiers de l'ingénieur -  
Arts et Métiers ParisTech

Titre de la thèse

**Étude aéroacoustique de l'interaction orthogonale  
pale/tourbillon**

Encadrement

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Encadrants : Fabrice Falissard & Yves Delrieux - ONERA

Directeur de thèse : Xavier Gloerfelt - Arts et Métiers ParisTech

Financement

ONERA

Défi scientifique

La propulsion dans  
toute sa complexité

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)

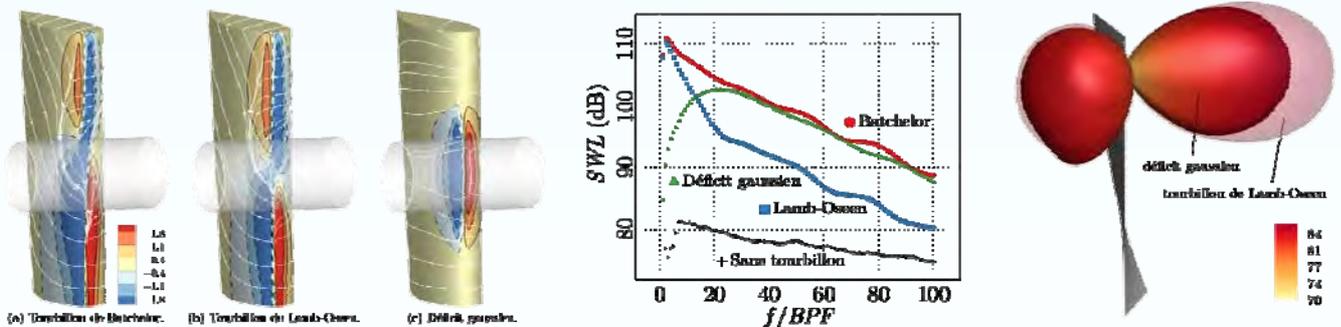


Contact : [Fabrice.Falissard @ onera.fr](mailto:Fabrice.Falissard@onera.fr)

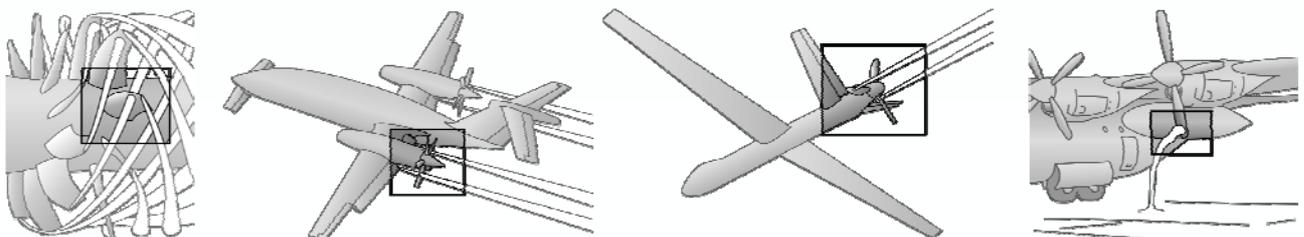
## Résumé

L'interaction entre une hélice et un sillage tourbillonnaire est inhérente aux doublets d'hélices contra-rotatives (CROR) mais se produit aussi sur des hélices conventionnelles pour certains points de fonctionnement. Cette interaction se caractérise par de fortes variations des efforts ainsi que par une augmentation du bruit rayonné par l'hélice. La réduction de ce bruit d'interaction peut se faire par contrôle du sillage tourbillonnaire incident et/ou optimisation des pales de l'hélice mais ceci n'est envisageable que si les mécanismes physiques de cette interaction sont identifiés et compris.

Ce travail a permis de caractériser les mécanismes et les paramètres déterminants de cette interaction. L'étude a été réalisée en simulant l'interaction orthogonale entre une pale en rotation et un tourbillon de Batchelor. Les principaux paramètres étudiés sont l'effet du nombre de swirl (ratio des vitesses azimutale et axiale du tourbillon), l'influence de la position d'interaction, l'effet de l'épaisseur et du chargement aérodynamique de la pale. L'analyse montre que les composantes de vitesses azimutale et axiale du tourbillon produisent des rayonnements acoustiques de natures différentes (fréquence, directivité) avec des interférences constructives. Il existe une position d'interaction qui maximise le bruit et cette position dépend du nombre de swirl du tourbillon. L'épaisseur de la pale a peu d'influence alors que le chargement aérodynamique de la pale ajoute une incidence de l'écoulement amont par contraction des lignes de courant, ce qui augmente le bruit rayonné.



*Fluctuations de pression sur pale au moment de l'interaction pour des tourbillons avec nombres de swirl égaux à 1,  $\infty$  et 0 (à gauche), puissance acoustique rayonnée par ces interactions (au centre), et comparaison des directivités acoustiques (à droite)*



*Exemples d'interactions entre une hélice et un sillage tourbillonnaire*

## **Valentin DUPIF**

Thèse soutenue le 22 juin 2018

Ecole doctorale : ED 574 (EDMH) - Ecole Doctorale de Mathématique  
Hadamard - Paris-Saclay

### **Titre de la thèse**

**Modélisation et simulation de l'écoulement diphasique  
dans les moteurs-fusées à propergol solide par des  
approches eulériennes polydispersées en taille et en vitesse**

### **Encadrement**

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Directeurs de thèse : Marc Massot - Ecole Polytechnique  
Frédérique Laurent - CentraleSupélec  
Joël Dupays - ONERA

### **Financement**

ONERA

### **Défi scientifique**

La propulsion dans  
toute sa complexité

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)

**université**  
PARIS-SACLAY

  
CentraleSupélec

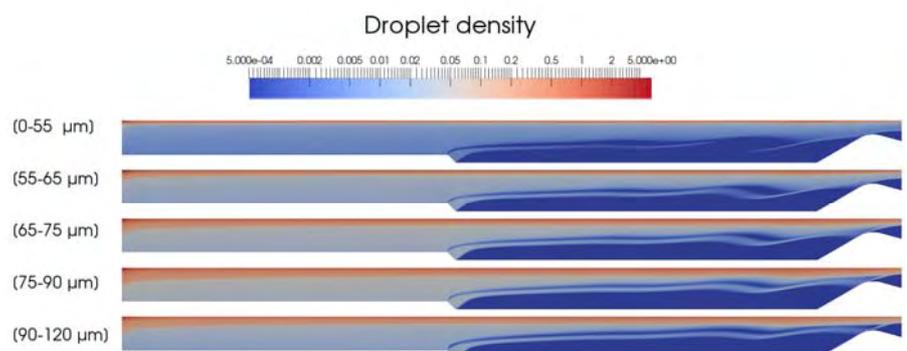
**ONERA**  
THE FRENCH AEROSPACE LAB

**Contact : Joel.Dupays @ onera.fr**

## Résumé

Les gouttes d'oxyde d'aluminium présentes en masse dans l'écoulement interne des moteurs-fusées à propergol solide ont tendance à influencer de façon importante sur l'écoulement et sur le fonctionnement du moteur quel que soit le régime. L'objectif de la thèse est d'améliorer les modèles diphasiques eulériens présents dans le code de calcul semi-industriel pour l'énergétique de l'ONERA, CEDRE, en y incluant la possibilité d'une dispersion locale des particules en vitesse en plus de la dispersion en taille déjà présente dans le code, tout en gardant une structure mathématique bien posée du système d'équations à résoudre. Cette nouvelle caractéristique rend le modèle capable de traiter les croisements de trajectoires anisotropes, principale difficulté des modèles eulériens classiques pour les gouttes d'inertie modérément grande.

En plus de la conception et de l'analyse détaillée d'une classe de modèles basés sur des méthodes de moments, le travail se concentre sur la résolution des systèmes d'équations obtenus en configurations industrielles. Pour cela, de nouvelles classes de schémas précis et réalisables pour le transport des particules dans l'espace physique et l'espace des phases sont développées. Ces schémas assurent la robustesse de la simulation malgré différentes singularités tout en gardant une convergence d'ordre deux pour les solutions régulières. Ces développements sont conduits en deux et trois dimensions, en plus d'un référentiel bidimensionnel axisymétrique, dans le cadre de maillages non structurés. La capacité des schémas numériques à maintenir un niveau de précision élevé tout en restant robuste dans toutes les conditions est un point clé pour les simulations industrielles de l'écoulement interne des moteurs à propergol solide. Pour illustrer cela, le code de recherche SIERRA, originellement conçu durant les années 90 pour les problématiques d'instabilités de fonctionnement en propulsion solide, a été réécrit afin de pouvoir comparer deux générations de modèles et de méthodes numériques et servir de banc d'essais avant une intégration dans CEDRE. Les résultats obtenus confirment l'efficacité de la stratégie numérique choisie ainsi que le besoin d'introduire, pour les simulations axisymétriques, une condition à la limite spécifique, développée dans le cadre de cette thèse. En particulier, les effets à la fois du modèle et de la méthode numérique dans le contexte d'une simulation de l'écoulement interne instationnaire dans les moteurs-fusées à propergol solide sont détaillés. Par cette approche, les liens entre des aspects fondamentaux de modélisation et de schémas numériques ainsi que leurs conséquences pour les applications sont mis en avant.



*Simulation des instabilités dans le moteur C1xb avec polydispersion en taille et en vitesse des gouttes d'alumine*

**Simuler numériquement l'interaction d'un jet  
liquide avec un écoulement gazeux pour aider  
à la conception de nouvelles chambres  
de combustion de moteurs aéronautiques**

**Swann THUILLET**

Thèse soutenue le 5 décembre 2018

Ecole doctorale : ED 468 (MEGEP) - Mécanique, Energétique, Génie civil,  
Procédés - Toulouse

**Titre de la thèse**

**Simulation multi-échelle de l'atomisation d'un jet liquide  
sous l'effet d'un écoulement gazeux transverse  
en présence d'une perturbation acoustique**

**Encadrement**

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Directeurs de thèse : Pierre Gajan & Davide Zuzio - ONERA

**Financement**

Délégation Générale de l'Armement (DGA) & ONERA

**Défi scientifique**

La propulsion dans  
toute sa complexité

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



Université  
de Toulouse

**Contact : Davide.Zuzio @ onera.fr**

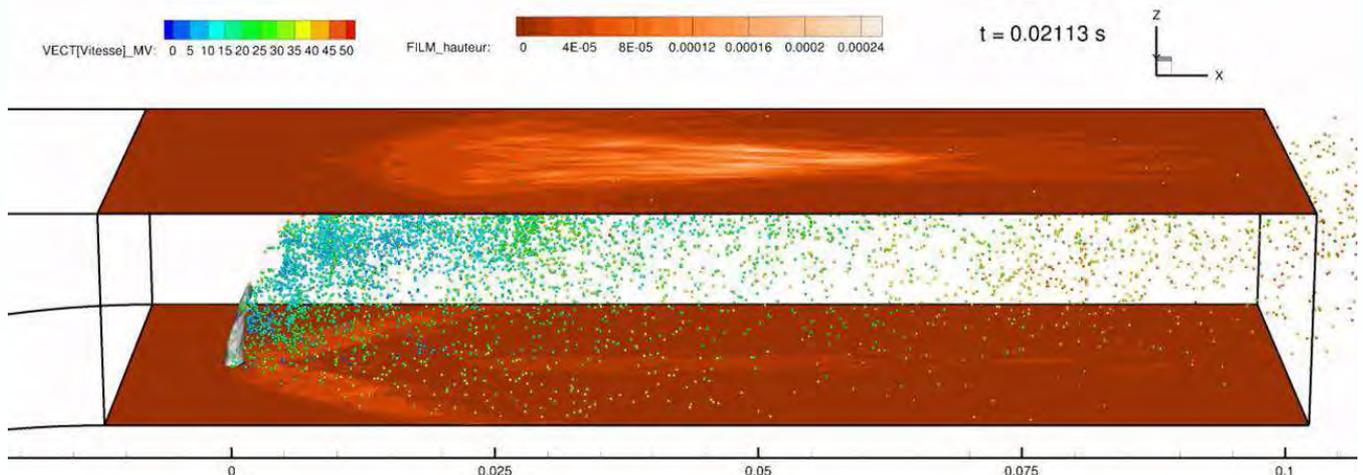
# Simulation multi-échelle de l'atomisation d'un jet liquide sous l'effet d'un écoulement gazeux transverse en présence d'une perturbation acoustique

Swann  
THUILLET

## Résumé

La réduction des émissions polluantes est actuellement un enjeu majeur au sein du secteur aéronautique. Parmi les solutions proposées, la combustion en régime pauvre apparaît comme une technologie efficace pour réduire l'impact environnemental. Or, ce type de technologie favorise l'apparition d'instabilités de combustion. Ces instabilités, issues d'un couplage thermoacoustique, peuvent conduire à des dommages irréversibles pour la structure des chambres de combustion. Des études expérimentales précédemment menées à l'ONERA ont mis en évidence l'importance de l'atomisation au sein d'un injecteur multipoint sur ce phénomène. Afin de caractériser cette interaction, cette thèse se concentre sur la simulation d'un jet liquide en présence d'un écoulement gazeux transverse dans une conduite, configuration simplifiée d'un point d'injection d'un injecteur multipoint.

L'objectif est de mettre en place une méthodologie multi-échelle pour reproduire les phénomènes de couplage entre l'atomisation du jet liquide et une perturbation acoustique imposée, représentative de l'effet d'une instabilité de combustion. Les simulations sont réalisées à l'aide de la plateforme CEDRE, et résultent d'un couplage entre les solveurs CHARME (multi-fluide), SPARTE (phase dispersée) et FILM (approche surfacique). Afin de valider cette approche, les résultats issus des simulations sont systématiquement comparés aux observations expérimentales obtenues dans le cadre du projet SIGMA. L'influence d'une perturbation acoustique sur l'atomisation du jet liquide a été observée. Les comportements instationnaires du jet et du spray issu de l'atomisation ont été comparés aux résultats expérimentaux à l'aide des moyennes temporelles et des moyennes de phase, montrant un bon accord sur la position et la dynamique du jet ainsi que la vitesse de convection des gouttes. Un dépôt de film en paroi a été également observé. L'approche multi-échelle CEDRE pourra, à terme, être utilisée pour la simulation instationnaire LES d'un système de combustion, et permettra de déterminer les temps caractéristiques de convection du carburant liquide pouvant affecter les phénomènes d'évaporation et de combustion, et donc l'apparition des instabilités de combustion.



Simulation CEDRE multi-échelle de l'atomisation d'un jet liquide en cross-flow

**Mettre au point une méthode numérique  
pour améliorer la précision de l'identification  
des sources de bruit d'un aéronaf**

**Sofiane BOUSABAA**

Thèse soutenue le 17 septembre 2018

Ecole doctorale : ED 391 (SMAER) - Sciences Mécaniques, Acoustique,  
Electronique & Robotique - Sorbonne Université

**Titre de la thèse**

**Estimation des fonctions de Green acoustique à l'aide  
de simulations numériques et application à l'imagerie  
aéroacoustique en milieu ouvert**

**Encadrement**

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Encadrants : Sandrine Fauqueux & Daniel-Ciprian Mincu - ONERA

Directeurs de thèse : Régis Marchiano & François Ollivier -  
Sorbonne Université

**Financement**

ONERA

**Défi scientifique**

La propulsion dans  
toute sa complexité

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)

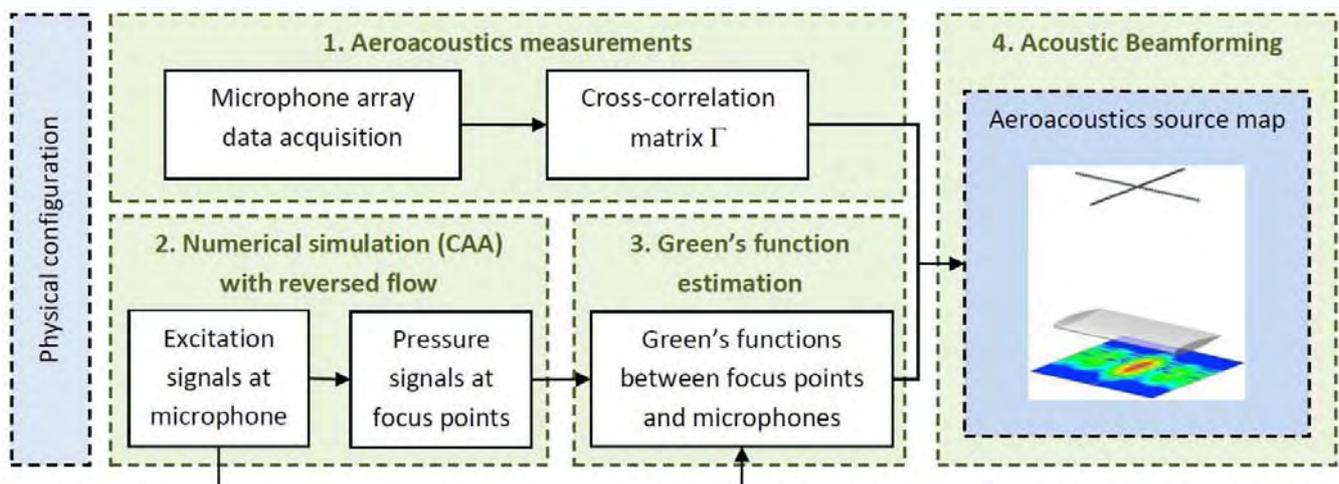


**Contact : Sandrine.Fauqueux @ onera.fr**

## Résumé

Les techniques d'identification acoustique visent à caractériser les différentes sources de bruit sur un avion (jet, soufflante, voilure, trains d'atterrissage, etc.) à partir de mesures effectuées avec un réseau de microphones. Ces techniques d'identification de sources, dont la plus connue est la formation de voies, nécessitent la connaissance de la fonction de Green acoustique du milieu considéré entre les sources à estimer et les microphones du réseau. Or ces fonctions de propagation ne sont connues analytiquement que pour des configurations simples. Dans le cas d'un écoulement hétérogène, en présence de cavités, de surfaces réfléchissantes comme les ailes ou les empennages, etc., ces fonctions ne sont pas connues et l'utilisation de techniques de formation de voies basées sur des fonctions de Green imparfaites peut conduire à une erreur sur la position ou l'amplitude des sources ou à l'apparition de sources parasites.

L'objectif de cette thèse est de mettre au point une méthode numérique d'estimation des fonctions de Green pour des applications en imagerie aéroacoustique. La méthode doit avoir un coût de calcul minimal et fournir une estimation suffisamment précise de ces fonctions pour être utilisée dans des configurations industrielles réalistes. Pour réduire la quantité de simulations numériques nécessaires, il est envisagé de prendre en compte le caractère parcimonieux de la fonction de Green dans le domaine temporel. Le lien étroit avec le domaine de l'identification de système rend possible l'utilisation d'un grand nombre de méthodes de régression linéaires comme, entre autre, stepwise, lasso et elastic net. Dans un premier temps, la méthode est validée sur des cas numériques tridimensionnels complexes en présence d'écoulement et d'objet diffractant représentatifs de ceux rencontrés dans l'industrie. Pour les configurations présentant un nombre élevé de points de focalisation, la réciprocity en écoulement retourné permet une simplification considérable du problème. Une application de la méthode est ensuite faite sur des données expérimentales faites sur une aile 2D équipée d'un dispositif hypersustentateur et passée en soufflerie anéchoïque à veine ouverte justifiant de l'applicabilité de la méthode sur des configurations industrielles réalistes.



*Procédure de formation de faisceaux acoustiques basée sur les fonctions de Green estimées par CAA*

**Simuler le rayonnement dans les jets de moteurs  
à propergol solide pour mieux évaluer  
les contraintes thermiques sur les moteurs  
et prévoir leur signature radiative**

**Quentin BINAULD**

Thèse soutenue le 21 décembre 2018

Ecole doctorale : ED 287 (SPI) - Sciences pour l'ingénieur - CentraleSupélec

**Titre de la thèse**

**Modélisation et simulation du rayonnement dans les jets  
de moteurs à propergol solide à haute altitude**

**Encadrement**

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Encadrants : Jean-Michel Lamet, Lionel Tessé & Valérie Rialland - ONERA

Directeur de thèse : Anouar Soufiani - CentraleSupélec

**Financement**

Délégation Générale de l'Armement (DGA) & ONERA

**Défi scientifique**

La propulsion dans  
toute sa complexité

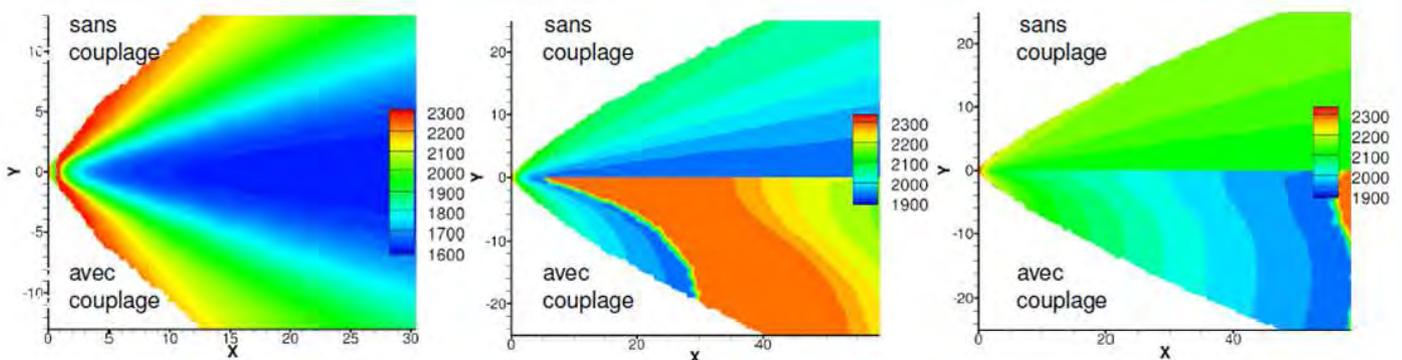
[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



**Contact : Jean-Michel.Lamet @ onera.fr**

## Résumé

Le rayonnement dans les jets issus de moteurs à propergol solide constitue un phénomène essentiel à l'estimation des flux aux parois et à la prédiction de la signature radiative des engins. À haute altitude, de l'ordre de 100 km, ces jets sont caractérisés par des écoulements compressibles diphasiques, à fort aspect raréfié dans certaines régions, composés de particules d'alumine et de gaz de combustion. Le transfert radiatif y joue un rôle important dans la mesure où il influence fortement le refroidissement et le changement de phase des particules. Afin de simuler numériquement les jets et leur rayonnement, différents modèles ont été développés. Le rayonnement des gaz a été pris en compte à l'aide de modèles statistiques à bandes étroites. Le phénomène de surfusion qui régit le changement de phase de l'alumine et les champs de température associés aux différentes tailles de particules a été pris en compte. Enfin, une méthode de splitting des puissances radiatives a été mise en œuvre afin de permettre le couplage entre le rayonnement et l'écoulement dans des milieux en déséquilibre thermique gaz/particules. Ces modèles ont été implémentés dans la plateforme de calcul CEDRE de l'ONERA, permettant de coupler un solveur fluide utilisant une approche Navier-Stokes, un solveur eulérien pour traiter la phase dispersée et un solveur radiatif qui utilise une méthode de Monte Carlo. L'outil numérique développé a été partiellement validé en comparant nos résultats aux mesures obtenues dans le cadre de l'expérience BSUV2. Dans les conditions de cette expérience, le rayonnement des particules est prédominant mais la contribution des gaz s'avère non négligeable. Des simulations sous différentes hypothèses ont permis de mettre en évidence le rôle primordial du transfert radiatif, couplé au phénomène de surfusion, dans l'établissement des champs de température des particules. La dernière partie de ces travaux s'est attachée à l'étude du déséquilibre vibrationnel de la phase gazeuse et de son impact sur le rayonnement dans les jets. Il est montré que le gel partiel des niveaux de vibration de la molécule  $\text{CO}_2$  durant la détente du jet peut augmenter de façon significative son rayonnement.



Champs de température (K) des particules d'alumine de 1, 4 et 8 microns contenues dans un jet à haute altitude avec et sans prise en compte du couplage entre le rayonnement et l'écoulement



# Physique

## Défi 8 - La propulsion dans toute sa complexité

**VIALIS Théo** - Développement d'un propulseur plasma à résonance cyclotron électronique pour les satellites ..... 74

## Défi 9 - Photonique et systèmes optroniques

**ROMAND Frédéric** - Simulation de la signature infrarouge des phénomènes lumineux transitoires en moyenne atmosphère ..... 76

**NGUYEN Khanh Linh** - Mesures optiques de profils de turbulence pour les futurs systèmes d'optique adaptative et d'observation ..... 78

**ODIER Alice** - Combinaison cohérente de convertisseurs de fréquences optiques ..... 80

**LIMERY Anasthase** - Étude et réalisation d'un lidar Raman pour la détection d'hydrogène et de vapeur d'eau dans une alvéole de stockage de colis radioactifs ..... 82

**CANUET Lucien** - Fiabilisation des transmissions optiques satellite-sol ..... 84

**DEPREZ Maxime** - Moyen de métrologie pour la conception et l'évaluation de chaînes lasers hyperintenses utilisant la recombinaison cohérente de lasers élémentaires ..... 86

**BARAÇAL DE MECÊ Pedro** - 4D exploration of the retina for Adaptive Optics-assisted Laser Photocoagulation ..... 88

**HERSCOVICI-SCHILLER Olivier** - Analyse et correction de surface d'onde post-coronographique pour l'imagerie d'exoplanètes ..... 90

**LEBOULLEUX Lucie** - Contrôle de front d'onde optimal pour l'imagerie à haut contraste - Application au cophasage de miroirs segmentés ..... 92

**FIX Baptiste** - Diodes nanostructurées pour la détection infrarouge par absorption à deux photons ..  
..... 94

**NGHIEM XUAN Jean** - Performances orientées système de détecteurs infrarouges à super-réseaux en cryostat opérationnel ..... 96

**BABLET Aurélien** - Modélisation de la réflectance spectrale d'un sol nu en fonction de sa teneur en eau dans le domaine réflectif solaire (400-2500 nm) ..... 98

<b>ERUDEL Thierry</b> - Caractérisation de la biodiversité végétale en milieu montagnard et de piedmont par télédétection : apport des données aéroportées à très hautes résolutions spatiale et spectrale.....	100
<b>AVAL Josselin</b> - Automatic mapping of urban tree species based on multi-source remotely sensed data .....	102
<b>BARBANSON-GRAZIUSSI Clara</b> - Correction des effets de relief en spectro-imagerie aéroportée .....	104
<b>COSSU Kevin</b> - Conception et réalisation de caméras plénoptiques pour l'apport d'une vision 3D à un imageur infrarouge mono plan focal.....	106
<b>ARMOUGOM Julie</b> - Nouvelles sources optiques pour la détection d'espèces chimiques dans la bande III .....	108

## Défi 10 - Electromagnétisme et radar

<b>MAHIDDINI Florian</b> - Modélisation couplée CEM-Thermique d'architectures de câblages électriques embarquées. ....	110
<b>MONVOISIN Jean-Pascal</b> - Modélisation de la diffraction électromagnétique des surfaces végétalisées avec prise en compte de la topographie. Application à l'étude des forêts tropicales et à la présence d'hydrocarbures sur le sol.....	112
<b>BITAR Ahmad</b> - Exploitation of Sparsity for Hyperspectral Target Detection .....	114
<b>TERREAUX Eugénie</b> - Théorie des matrices aléatoires pour l'imagerie hyperspectrale .....	116
<b>THAI Khac Phuc Hung</b> - Radar « Around the Corner » : détection et localisation de cibles masquées en milieu urbain.....	118
<b>BERTHILLOT Clément</b> - Radar Passif Aéroporté : analyse de l'impact de la propagation sur le traitement des signaux DVB-T .....	120
<b>MAINVIS Aymeric</b> - Modélisation et mesure de l'interaction d'une onde électromagnétique avec une surface océanique. Application à la détection et à la caractérisation radar de films d'hydrocarbures.....	122

## Défi 12 - Capteurs et environnement spatial

<b>VILLEMANT Marc</b> - Modélisation et caractérisation expérimentale de l'influence de l'émission électronique sur le fonctionnement des propulseurs à courant de Hall .....	124
---	-----

<b>JORBA-FERRO Oriol</b> - Etude de l'influence de la propreté électrostatique du satellite sur les mesures du champ électrique basse fréquence de Taranis.....	126
<b>ROUSSELIN Thomas</b> - Modélisation et interprétation des effets combinés vieillissement/SEE dans les technologies d'échelles nanométriques appliquées au domaine avionique.....	128
<b>PACAUD Rémi</b> - Etude et modélisation numérique de l'effet des radiations spatiales sur l'évolution des propriétés physiques et électriques des matériaux embarqués .....	130
<b>PIOT Adrien</b> - Etude de la fabrication et de la transduction d'un microgyromètre piézoélectrique tri-axial en GaAs .....	132
<b>NÉNON Quentin</b> - Etude et modélisation des ceintures de radiations de Jupiter .....	134
<b>GRUET Marina</b> - Intelligence artificielle et prévision de l'impact de l'activité solaire sur l'environnement magnétique terrestre .....	136

## Développer et optimiser les diagnostics de mesure des performances d'un propulseur plasma pour les améliorer

### Théo VIALIS

Thèse soutenue le 14 décembre 2018

Ecole doctorale : ED 564 (PIF) - Physique en Ile-de-France

#### Titre de la thèse

Développement d'un propulseur plasma à résonance cyclotron électronique pour les satellites

#### Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrant : Julien Jarrige - ONERA

Directrice de thèse : Ane Aanesland - Laboratoire de Physique des Plasmas

#### Financement

ONERA

#### Défi scientifique

La propulsion dans toute sa complexité

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



Contact : Julien.Jarrige @ onera.fr

## Résumé

Ce travail de thèse porte sur le propulseur électrique de type ECR (résonance cyclotron électronique) développé à l'ONERA. Ce propulseur quasi-neutre, qui utilise une tuyère magnétique pour accélérer le plasma, produit une poussée d'environ 1 mN pour des puissances inférieures à 50 W. Dans cette thèse, on se propose de développer et d'optimiser les diagnostics de mesure des performances du propulseur ECR, d'identifier les paramètres expérimentaux pouvant influencer les performances et d'améliorer la compréhension des phénomènes physiques ayant lieu dans le propulseur. Ces objectifs ont pour finalité l'amélioration des performances. Pour répondre à ces objectifs, plusieurs prototypes à aimant permanent ont été développés, et une balance permettant de mesurer directement la poussée a été modifiée pour caractériser le propulseur. Différentes études paramétriques ont été conduites, qui ont montré que les performances dépendaient directement du rapport entre le débit de xénon et la puissance micro-onde injectée. Il a également été observé que la longueur du conducteur externe de la source plasma et la pression ambiante ont une influence significative sur le niveau de performance. Après optimisation de la géométrie, un rendement total supérieur à 12 % a été obtenu. Des mesures séparées de la poussée thermique et magnétique ont permis de montrer que la composante magnétique était la contribution principale de la poussée dans tous les cas testés. Un code PIC 1D-3V a été utilisé pour simuler le comportement du propulseur, et a permis de reproduire le chauffage des électrons par résonance et l'accélération des espèces chargées dans la tuyère. L'ensemble des travaux ont mis en avant le rôle des composantes parallèle et perpendiculaire de la pression électronique.



*Vue du propulseur ECR en fonctionnement avec du xénon*

## Simuler les phénomènes optiques et électriques liés aux éclairs à haute altitude pour mieux comprendre leurs effets et mieux les détecter

### Frédéric ROMAND

Thèse soutenue le 3 octobre 2018

Ecole doctorale : ED 129 (SEIF) - Sciences de l'Environnement  
d'Ile de France

#### Titre de la thèse

**Simulation de la signature infrarouge des phénomènes lumineux transitoires en moyenne atmosphère**

#### Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrante : Laurence Croizé - ONERA

Directeur de thèse : Sébastien Payan - Sorbonne Université

#### Financement

Délégation Générale de l'Armement (DGA) & ONERA

#### Défi scientifique

Photonique  
et systèmes  
optroniques

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)

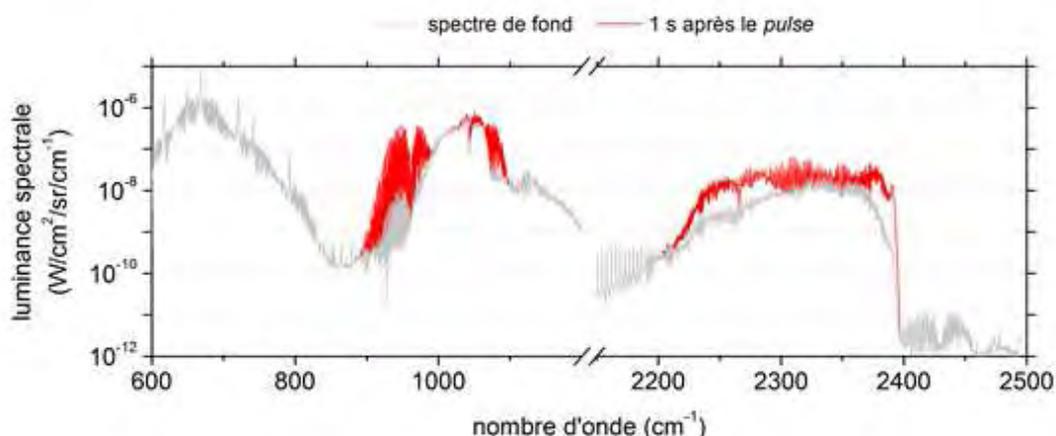


**Contact :** Laurence.Croize @ onera.fr

## Résumé

Les émissions lumineuses visibles des *sprites* ont principalement été attribuées aux états électroniques de  $N_2$  et  $N_2^+$ . Des émissions dans l'infrarouge moyen et lointain ont également été prédites par des travaux de simulation, mais elles n'ont jamais été observées à partir d'un dispositif expérimental. Celles-ci seraient consécutives à l'excitation des états vibrationnels de  $CO_2$  par différents phénomènes de collisions entre électrons et molécules lors de la propagation du *sprite*. L'étude du rayonnement infrarouge des *sprites* présente un intérêt dual. En sciences de l'atmosphère, leur effet sur la composition chimique peut être évalué par des méthodes de télédétection infrarouge. La Défense utilise des systèmes de veille optronique satellitaires ou aéroportés pour la détection de tirs de missiles. Dans ce cadre, il est indispensable d'évaluer le potentiel de fausse alarme par les phénomènes atmosphériques naturels, dont les *sprites*.

L'objectif de ce travail est de modéliser les phénomènes d'excitation vibrationnelle des molécules atmosphériques par un *sprite* et de caractériser les émissions infrarouges associées. Pour cela, un modèle de cinétique plasma-vibrationnelle, qui permet de modéliser les interactions entre électrons et états vibrationnels des molécules, a été développé et couplé à un modèle de transfert radiatif atmosphérique. Cet outil permet de simuler les effets énergétiques, chimiques et radiatifs consécutifs à la perturbation électrique des *streamers*, éléments constitutifs des *sprites*. Il a ainsi été montré que d'importantes émissions ont lieu entre 4 – 5 et 9 – 11  $\mu m$ , et que celles-ci pourraient être détectables depuis la stratosphère ou depuis l'espace. Par ailleurs, les effets des incertitudes sur les principaux paramètres du modèle ont été hiérarchisés à travers une étude de sensibilité, ce qui a permis de définir les axes prioritaires d'amélioration à venir. Enfin, ces travaux ont permis de définir des spécifications instrumentales pour la mission HALESIS (*High Altitude Luminous Events Studied by Infrared Spectrometry*). Celle-ci aura pour but d'observer les *sprites* et autres phénomènes lumineux de moyenne atmosphère dans l'infrarouge à l'aide d'instruments embarqués sous un ballon stratosphérique.



Spectres de l'atmosphère non perturbée, en gris, et perturbée, 1 s après le pulse pour un observateur situé à 40 km d'altitude, à 50 km d'un Sprite de diamètre équivalent à 10 km, en rouge

## Améliorer la précision des mesures de la turbulence atmosphérique en visée horizontale pour mieux connaître la physique des flux de chaleur à l'interface sol-atmosphère

### Distinction

Prix du meilleur article étudiant - conférence SPIE Remote Sensing (2017)

### Khanh Linh NGUYEN

Thèse soutenue le 18 décembre 2018

Ecole doctorale : ED 364 (EDSFA) - Sciences Fondamentales et Appliquées  
- Sophia Antipolis

### Titre de la thèse

Mesures optiques de profils de turbulence pour les futurs systèmes d'optique adaptative et d'observation

### Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Directeurs de thèse : Aziz Ziad - Université de Nice  
Clélia Robert - ONERA

### Financement

ONERA

### Défi scientifique

Photonique et systèmes optroniques

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



Membre de UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR 

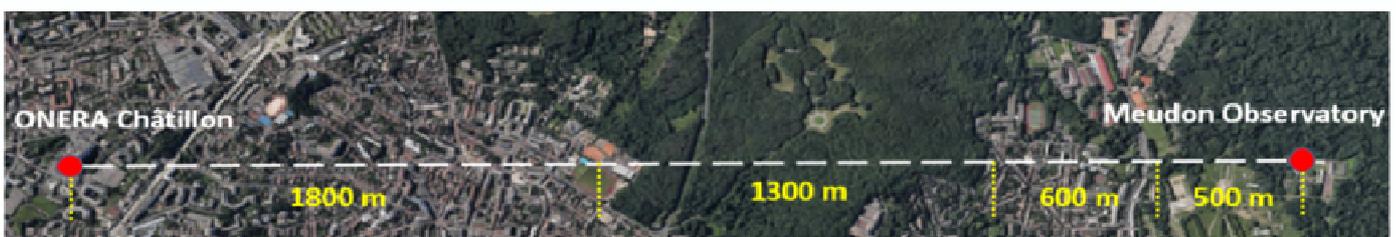


Contact : Clélia.Robert @ onera.fr

## Mesures optiques de profils de turbulence pour les futurs systèmes d'optique adaptative et d'observation

### Résumé

$C_n^2$  est la constante de structure de l'indice de réfraction provoquée par les variations de température, d'humidité et de pression dans l'atmosphère. Le profil de  $C_n^2$  caractérise localement la force de la turbulence. La méthode CO-SLIDAR, développée par l'ONERA, permet de réaliser des profils de  $C_n^2$  le long de la ligne de visée d'un télescope à partir des pentes et des scintillations mesurées par un Analyseur de Shack-Hartmann sur source double. Deux expériences à Lannemezan et à Châtillon-Meudon ont vu la mise en place d'un nouveau profilomètre de  $C_n^2$  doté d'un Shack-Hartmann Infra-rouge : le SCINDAR. Elles ont été réalisées sur des surfaces respectivement hétérogène et homogène par morceaux, et elles participent à la validation de la méthode pour des applications agronomiques et écologiques. Cette étude consiste à améliorer le traitement du signal du profilomètre SCINDAR et à valider la méthode CO-SLIDAR pour des mesures de la turbulence atmosphérique proche du sol. Cette méthode a été adaptée en utilisant un formalisme de propagation en onde sphérique. L'étude a permis d'identifier et prendre en compte des sources d'erreur dans le traitement, à savoir la vibration de la machine à froid de l'analyseur de front d'onde cryogénique du SCINDAR et l'étendue des sources dans les fonctions de poids du modèle direct posé pour le traitement des données. La régularisation L1L2, qui est adaptée pour des mesures de  $C_n^2$  proches du sol, a été choisie. La méthode de réglage des hyperparamètres de cette régularisation est non-supervisée. L'étude se consacre ainsi aux améliorations du traitement des données du SCINDAR et à la validation expérimentale des profils de  $C_n^2$  obtenus avec des mesures acquises par des scintillomètres. Ces améliorations permettent d'augmenter la fiabilité et la précision de l'estimation du profil de  $C_n^2$  de façon pragmatique à l'aide des erreurs relatives sur les paramètres turbulents : paramètre de Fried et taux de scintillation. Leur application aux données SCINDAR acquises sur un paysage rural hétérogène à Lannemezan montre la possibilité d'obtenir une résolution de 170 m sur une ligne de visée de 2,7 km. Pour l'expérience de Meudon, le profil  $C_n^2$  est estimé sur les quatre zones urbaines et forestières. Les différentes natures du sol et la topographie le long de la ligne de visée expliquent la variabilité spatiale du  $C_n^2$ . Le profilomètre SCINDAR avec la méthode CO-SLIDAR produit finalement des profils de  $C_n^2$  d'excellente qualité avec de petites barres d'erreur statistique, qui sont comparés avec succès aux mesures des scintillomètres. La connaissance précise de la turbulence atmosphérique en visée horizontale permettra de mieux appréhender la physique des flux de chaleur à l'interface sol-atmosphère.



Site de l'expérience de scintillométrie urbaine entre Châtillon et Meudon

## Développer de nouvelles techniques pour étendre la gamme spectrale des sources lasers

### Alice ODIER

Thèse soutenue le 19 janvier 2018  
Ecole doctorale : ED 447 (EDX) - Polytechnique

#### Titre de la thèse

### Combinaison cohérente de convertisseurs de fréquences optiques

#### Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)  
Encadrants : Pierre Bourdon & Jean-Michel Melkonian - ONERA  
Directeur de thèse : Michel Lefebvre - ONERA

#### Financement

ONERA

#### Défi scientifique

Photonique  
et systèmes  
optroniques

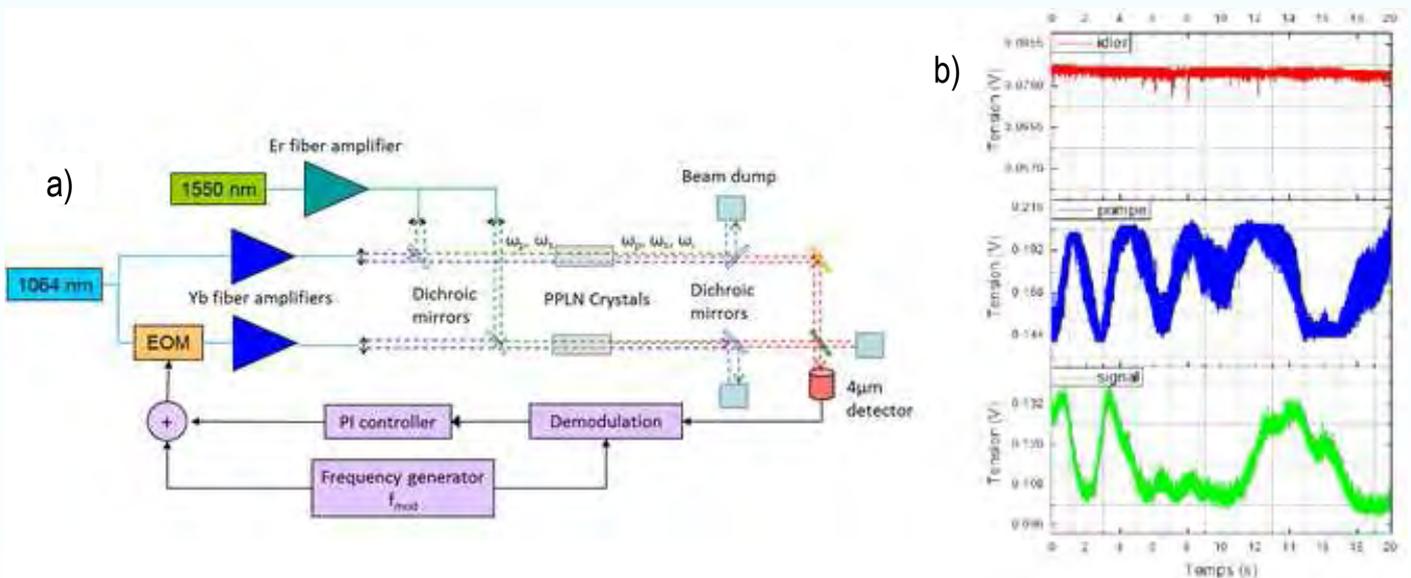
[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



**Contact :** Pierre.Bourdon @ onera.fr

## Résumé

Les convertisseurs de fréquences optiques utilisant les processus non linéaires d'ordre deux permettent d'étendre la gamme spectrale accessible aux sources lasers. Celle-ci est en effet limitée par les bandes de gain des milieux lasers disponibles. Par ailleurs, la combinaison cohérente par contrôle actif de la phase est une technique efficace permettant la montée en puissance des sources laser. Elle nécessite toutefois des modulateurs de phase rapides qui ne sont disponibles commercialement qu'aux longueurs d'onde standard. L'objectif de cette thèse est d'appliquer la combinaison cohérente à des convertisseurs de fréquences en utilisant la relation de phase inhérente au processus non linéaire. Cela permet de contrôler la phase de l'onde générée en agissant sur la phase de l'onde de pompe. C'est ce qu'on appelle le contrôle indirect de la phase. Pour cela, une étude théorique a été menée afin de s'assurer de la compatibilité de la technique de combinaison cohérente par marquage en fréquence avec le contrôle indirect de la phase. La démonstration expérimentale a d'abord été effectuée dans le cas le plus simple, la génération de seconde harmonique qui met en jeu trois ondes dont deux dégénérées. Enfin, on s'est intéressé au cas de la génération de différence de fréquences dans le moyen infrarouge, où trois ondes sont mises en jeu. Dans ces deux cas la qualité de mise en phase mesurée est excellente.



- a) Schéma de l'expérience de démonstration de combinaison cohérente de générateurs de différences de fréquences à 3,4 μm réalisée pendant la thèse.
- b) L'interférence entre ondes complémentaires (en rouge) est stabilisée par la combinaison cohérente sur un état constructif maximisant la puissance combinée. Les interférences entre ondes de pompe (en vert) et signal (en bleu) fluctuent en phase et oscillent entre interférences destructives et constructives

## Développer un moyen de mesure non intrusive de la concentration d'hydrogène dans les cellules de stockage de colis radioactifs pour améliorer leur contrôle

### Anasthase LIMERY

Thèse soutenue le 27 mars 2018

Ecole doctorale : ED 579 (SMEMaG) - Sciences Mécaniques et Energétiques, Matériaux et Géosciences - Paris-Saclay

#### Titre de la thèse

**Étude et réalisation d'un lidar Raman pour la détection d'hydrogène et de vapeur d'eau dans une alvéole de stockage de colis radioactifs**

#### Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrants : Nicolas Cézard & Brigitte Attal-Trétout - ONERA

Directeur de thèse : Alain Hauchecorne - LATMOS

#### Financement

Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (ANDRA)

#### Défi scientifique

Photonique  
et systèmes  
optroniques

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)

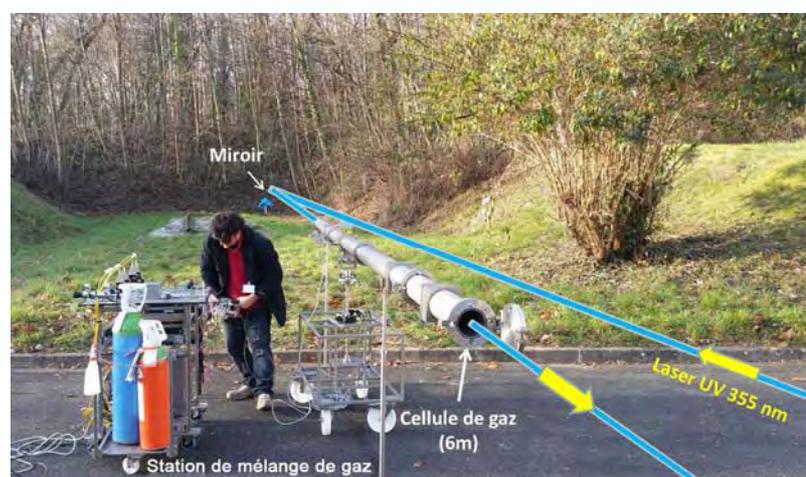


**Contact :** Nicolas.Cezard @ onera.fr

## Résumé

Le projet Cigéo, mené par l'ANDRA, vise à permettre à l'horizon 2030 le stockage géologique des déchets les plus radioactifs du parc nucléaire français. Les colis de déchets seraient placés dans des alvéoles souterraines horizontales de plusieurs centaines de mètres de long. Dans certaines conditions, ces colis sont susceptibles de relâcher de l'hydrogène gazeux ( $H_2$ ), un gaz inflammable dans l'air lorsque sa concentration dépasse 4%. Pour la sécurité des installations, il est donc indispensable de s'assurer que la concentration de dihydrogène dans les alvéoles de stockage reste inférieure à sa limite de dangerosité.

L'objectif de cette thèse est de concevoir et de réaliser un Lidar permettant de profiler à distance la concentration de  $H_2$  (0-4%), sur plusieurs centaines de mètres, avec une forte résolution spatiale (<3 m), et de proposer ainsi un moyen non intrusif de détection et de prévention du risque lié à l'hydrogène. Le principe retenu est celui d'un Lidar Raman vibrationnel dans le domaine ultra-violet (355-420 nm). Pour sa conception, nous nous sommes attachés à prendre en compte les conditions particulières (physiques, chimiques, géométriques) prévues dans les alvéoles de stockage. Les signaux lidar attendus étant très faibles, une chaîne de détection très sensible a été choisie et mise en œuvre, basée sur des détecteurs SiPM (Silicium Photomultiplier) à comptage de photons. La nécessité d'employer une voie de mesure de la vapeur d'eau, simultanément à l'hydrogène, a été mise en évidence et est liée au recouvrement partiel des spectres de diffusion Raman de  $H_2$  et  $H_2O$ . Un analyseur spectral à trois voies de mesure ( $H_2$ ,  $H_2O$ , et  $N_2$  utilisé comme référence radiométrique) a donc été conçu et mis en place. Une méthode de traitement de signal en temps réel a enfin été réalisée pour visualiser rapidement les profils de concentrations de  $H_2$  et  $H_2O$ . L'ensemble du système lidar a pu être testé dans une scène de portée réduite (100 m) permettant des relâchements d'hydrogène. Des mesures simultanées de profils de vapeur d'eau naturelle et de dihydrogène (0-2%) ont pu être démontrées avec succès à 85 m, avec une résolution spatiale et temporelle de 1 mètre et 1 minute respectivement, pour une détectivité de 600 ppm.



*Expérience de détection d'hydrogène  $H_2$  par Lidar Raman  
(le faisceau, ici coloré pour le matérialiser sur l'image, est invisible dans la réalité)*

## Etudier les méthodes de correction de la turbulence atmosphérique les mieux adaptés pour les transmissions optiques satellite-sol

### Lucien CANUET

Thèse soutenue le 16 avril 2018

Ecole doctorale : ED 475 (MITT) - Mathématiques Informatique  
Télécommunications de Toulouse

#### Titre de la thèse

### Fiabilisation des transmissions optiques satellite-sol

#### Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrants : Nicolas Védrenne - ONERA

Angélique Rissons - ISAE-SUPAERO

Directeur de thèse : Jérôme Lacan - ISAE-SUPAERO

#### Financement

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), Thales Alenia Space (TAS),  
Airbus Group

#### Défi scientifique

Photonique  
et systèmes  
optroniques

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



ThalesAlenia  
Space  
A Thales / Finmeccanica Company



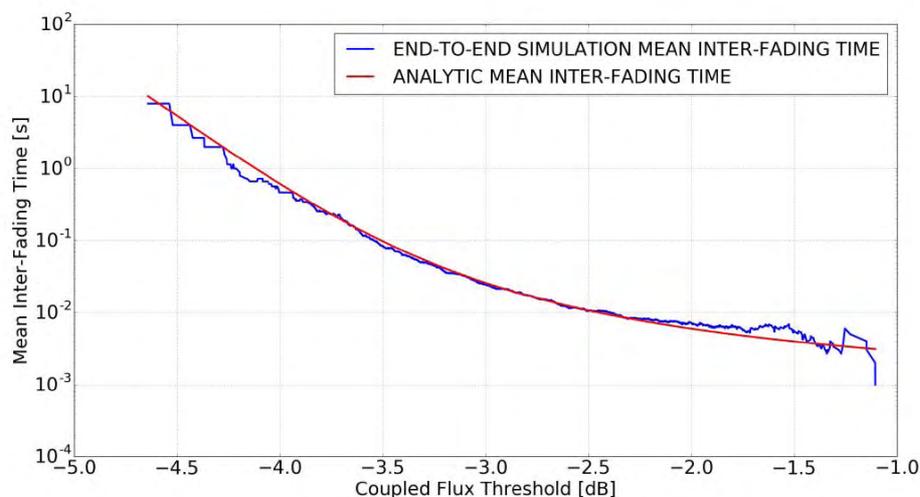
ONERA  
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Contact : Nicolas.Vedrenne @ onera.fr

## Résumé

Les longueurs d'onde optiques sont une alternative aux liens radio-fréquences pour les transmissions satellite-sol du futur. Elles sont envisagées pour les futurs systèmes de télémétries satellitaires (liens optiques descendants en provenance de satellites LEO) ou de communications (liens optiques bidirectionnels avec des satellites GEO). A sa traversée de l'atmosphère l'onde optique est affectée par la turbulence atmosphérique. Des pertes peuvent en découler lors du couplage du flux incident à un détecteur optronique ou à une fibre optique monomode. Ces pertes se traduisent par des atténuations du signal reçu et donc par une potentielle perte d'information. Pour s'en abstraire plusieurs leviers peuvent être exploités : des méthodes de corrections opto-mécaniques comme l'optique adaptative, et des méthodes numériques s'appuyant sur du codage correcteur d'erreur et/ou de l'entrelacement.

Cette thèse a été consacrée à l'optimisation conjointe de l'optique adaptative et des méthodes numériques. Un modèle analytique des durées d'atténuation et des durées entre atténuation du signal corrigé par optique adaptative a été proposé et validé par modélisation numérique (voir illustration). Un modèle de performance de transmission intégrant l'effet d'une correction par optique adaptative, et un schéma d'entrelacement codage réparti sur la couche physique (codage correcteur et entrelacement symbole) et les couches hautes (code à effacement et entrelacement paquets) a été élaboré. L'optimisation conjointe menée grâce à ces développements permet de quantifier l'apport d'une correction par optique adaptative partielle. Les résultats obtenus démontrent que dans les cas de rapport signal à bruit favorables un entrelacement réalisé exclusivement sur la couche haute pourrait être envisagé. Ces mécanismes logiciels permettent de limiter l'emploi de mémoires dédiées, ouvrant des perspectives nouvelles pour la réalisation de futures charges utiles de communications optiques.



*Evaluation des durées moyennes entre atténuations en fonction du seuil appliqué sur le flux incident pour un cas de lien optique descendant GEO-sol corrigé par optique adaptative.  
bleu : résultats de modélisation, rouge : évaluation analytique*

## Développer un moyen de mesure performant pour la conception et la qualification de nouveaux types de lasers hyper intenses

### Distinction

Prix de thèse  
du département  
Physique des Ondes  
et de la Matière  
de l'Université Paris-  
Saclay (2018)

### Maxime DEPREZ

Thèse soutenue le 6 septembre 2018

Ecole doctorale : ED 572 (EDOM) - Ondes et Matière - Paris-Saclay

### Titre de la thèse

**Moyen de métrologie pour la conception et l'évaluation de chaînes lasers hyper intenses utilisant la recombinaison cohérente de lasers élémentaires**

### Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrants : Cindy Bellanger - ONERA

Benoit Wattelier - Phasics

Directeur de thèse : Jérôme Primot - ONERA

### Financement

CIFRE Phasics

### Défi scientifique

Photonique  
et systèmes  
optroniques

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)

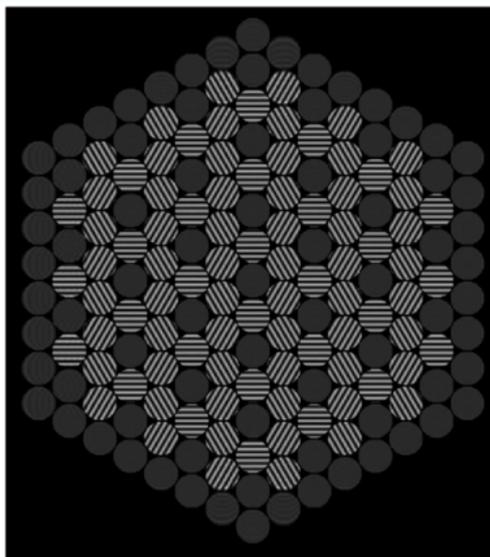


Contact : [Jerome.Primot @ onera.fr](mailto:Jerome.Primot@onera.fr)

## Résumé

La nécessité de la montée en puissance, crête et moyenne, des chaînes lasers hyper intenses a fait émerger un nouveau type d'architecture. Le principe consiste à combiner de manière cohérente un grand nombre de lasers élémentaires les plus simples et robustes possible. La difficulté de la montée en puissance est donc reportée sur le système de recombinaison. Plusieurs laboratoires à travers le monde ont ainsi décidé de s'impliquer dans cette voie. S'il existe des concepts variés pour la boucle d'asservissement, il n'y a pas de moyen de métrologie absolue de la qualité du front d'onde final, et donc de la recombinaison.

Lors de cette thèse, un nouveau concept d'interféromètre a été proposé, breveté et validé. Appelé PISTIL (pour Piston and Tilt interferometry), il permet de mesurer les défauts typiques de ces chaînes laser avec une précision allant jusqu'à  $\lambda/600$ , pour une cadence d'acquisition supérieure au kHz. Au-delà de la démonstration sur des objets de référence, par exemple un miroir segmenté pilotable, les résultats obtenus ont permis d'installer ce moyen de métrologie sur le démonstrateur XCAN (X Coherent Amplification Network). Cette chaîne installée au laboratoire LULI de l'Ecole Polytechnique, associe pour l'instant sept lasers à fibre impulsions (à terme plusieurs dizaines) et représente l'état de l'art pour ce type d'architecture laser. Les résultats obtenus ont permis de diagnostiquer la qualité de la recombinaison des lasers élémentaires avec une précision au-delà de  $\lambda/200$ . L'association de l'entreprise Phasics dès le début permet d'envisager rapidement la valorisation de cet interféromètre.



*Interférogramme obtenu par l'interféromètre PISTIL (cas 19 fibres)*

## Développer le premier système de photocoagulation laser assisté par Optique Adaptative pour une chirurgie de rétine guidée

**Pedro BARAÇAL DE MECÊ**

Thèse soutenue le 20 septembre 2018

Ecole doctorale : ED 127 (A&A) - Astronomie Astrophysique Ile de France

### Titre de la thèse

**4D exploration of the retina for Adaptive Optics-assisted Laser Photocoagulation**

### Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrant : David Pureur - Quantel Medical

Directeurs de thèse : Serge Meimon - ONERA  
Gérard Rousset - LESIA

### Financement

CIFRE Quantel Medical

### Défi scientifique

Photonique  
et systèmes  
optroniques

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



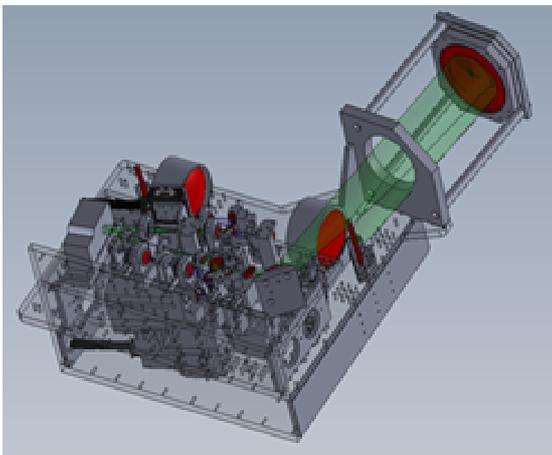
**Contact :** Serge.Meimon @ onera.fr

## 4D exploration of the retina for Adaptive Optics-assisted Laser Photocoagulation

### Résumé

La photocoagulation laser rétinienne est couramment utilisée pour traiter l'œdème maculaire diabétique. Cependant, il est impossible avec les systèmes laser actuels d'empêcher un certain degré d'endommagement des tissus sains adjacents, en raison du manque de contrôle du confinement et de la position 3D de l'impact laser sur la rétine. Ces limitations sont principalement causées par des aberrations et mouvements oculaires. L'optique adaptative (OA) est une technologie utilisée depuis 1997 qui permet la compensation des aberrations oculaires en temps réel, en fournissant des images de la rétine avec une résolution à la limite de la diffraction. Les systèmes de photocoagulation laser pourraient bénéficier de la capacité de l'OA à contrôler le confinement 3D du laser thérapeutique et à générer des images rétinienne à haute résolution, qui pourraient être utilisées ensuite pour guider le chirurgien et contrôler la position 3D de l'impact laser dans la rétine. Cependant, un grand effort doit encore être fait pour répondre aux exigences de photocoagulation laser.

Cette thèse consiste en la conception et la réalisation du premier système de photocoagulation laser assistée par Optique Adaptative. Pour cela, à partir de la caractérisation de l'évolution du confinement 3D de l'impact laser dans l'oeil, il a été possible de conclure sur le design d'un système d'OA pour l'œil adapté aux exigences de la thérapie laser, c'est-à-dire le contrôle du confinement 3D de l'impact laser. Ensuite, le banc d'imagerie de la rétine à haute performance ECURoeil a été utilisé pour valider ces résultats et développer de nouvelles méthodes permettant l'exploration 4D de la rétine (volume + évolution temporelle) en temps réel, pour le contrôle 3D de la position d'impact laser. Enfin, ces développements ont été réunis dans le banc CLOVIS3D, un instrument compact visant à réaliser en clinique la première application thérapeutique de l'optique adaptative.



*Le démonstrateur CLOVIS3D : conception (gauche) et réalisation (droite)*

## Améliorer la qualité optique des instruments imageurs pour la détection directe d'exoplanètes

**Olivier HERSCOVICI-SCHILLER**

Thèse soutenue le 11 octobre 2018

Ecole doctorale : ED 127 (A&A) - Astronomie Astrophysique Ile de France

### Titre de la thèse

**Analyse et correction de surface d'onde post-coronographique pour l'imagerie d'exoplanètes**

### Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Directeurs de thèse : Laurent Mugnier & Jean-François Sauvage - ONERA

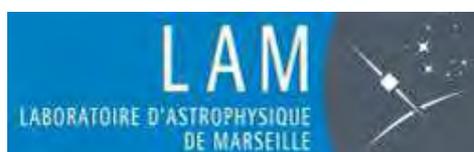
### Financement

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) & ONERA

### Défi scientifique

Photonique  
et systèmes  
optroniques

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



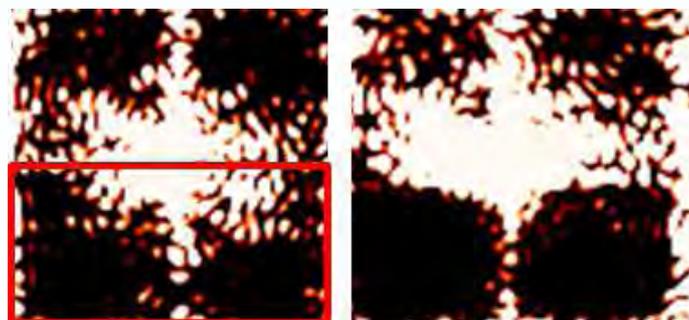
**Contact :** [Olivier.Herscovici @ onera.fr](mailto:Olivier.Herscovici@onera.fr)

## Analyse et correction de surface d'onde post-coronographique pour l'imagerie d'exoplanètes

### Résumé

L'imagerie d'exoplanètes est limitée par deux obstacles intrinsèques : le faible écart angulaire entre planète et étoile, et le très faible flux lumineux en provenance de la planète par rapport à la lumière de l'étoile. Le premier obstacle est surmonté par l'utilisation de très grands télescopes, de la classe des dix mètres de diamètre, et éventuellement depuis le sol de systèmes d'optique adaptative, qui permettent d'atteindre de hautes résolutions angulaires. Le deuxième obstacle est surmonté par l'utilisation de coronographes. Les coronographes sont des instruments conçus pour bloquer la lumière de l'étoile tout en laissant passer la lumière de l'environnement circumstellaire. Cependant, toute aberration optique en amont du coronographe engendre des fuites de lumière stellaire à travers le coronographe. Ces fuites se traduisent par un fouillis de tavelures dans les images scientifiques, tavelures qui cachent d'éventuelles planètes. Il est donc nécessaire de compenser et de corriger les aberrations quasi-statiques à l'origine des tavelures.

Cette thèse présente des contributions théoriques, numériques et expérimentales à la mesure et à la correction des aberrations des imageurs coronographiques. La première partie décrit le contexte et présente la méthode de la diversité de phase coronographique, un formalisme qui considère l'analyse de surface d'onde post-coronographique comme un problème inverse posé dans un cadre bayésien. La deuxième partie concerne l'imagerie depuis le sol. Elle présente tout d'abord une expression analytique permettant de modéliser l'imagerie coronographique en présence de turbulence, puis l'extension de la méthode de diversité de phase coronographique à la mesure depuis les télescopes au sol donc en présence de turbulence résiduelle, et enfin une validation en laboratoire de cette méthode étendue. La troisième partie s'intéresse aux futurs imageurs spatiaux à très hauts contrastes pour lesquels il faut corriger non seulement la phase mais aussi tout le champ complexe. Elle présente la validation en laboratoire de la mesure d'un champ complexe d'aberrations par diversité de phase coronographique, ainsi que des premiers résultats d'extinction de la lumière en plan focal par une méthode non linéaire, le non-linear dark hole.



*Lumière parasite avant (gauche) et après (droite)  
optimisation du contraste dans la zone encadrée en rouge sur l'image de gauche*

## Développer une méthode pour estimer l'impact de la segmentation sur les performances d'un télescope en amont de sa construction

**Lucie LEBoulleux**

Thèse soutenue le 17 décembre 2018

Ecole doctorale : ED 352 - Physique et science de la Matière - Aix Marseille

### Titre de la thèse

**Contrôle de front d'onde optimal pour l'imagerie à haut contraste - Application au cophasage de miroirs segmentés**

### Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrants : Jean-François Sauvage - ONERA

Rémi Soummer & Laurent Pueyo - Space Telescope Science Institute

Directeur de thèse : Thierry Fusco - ONERA

### Financement

Space Telescope Science Institute (STScI) & ONERA

### Défi scientifique

Photonique  
et systèmes  
optroniques

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



**STScI**



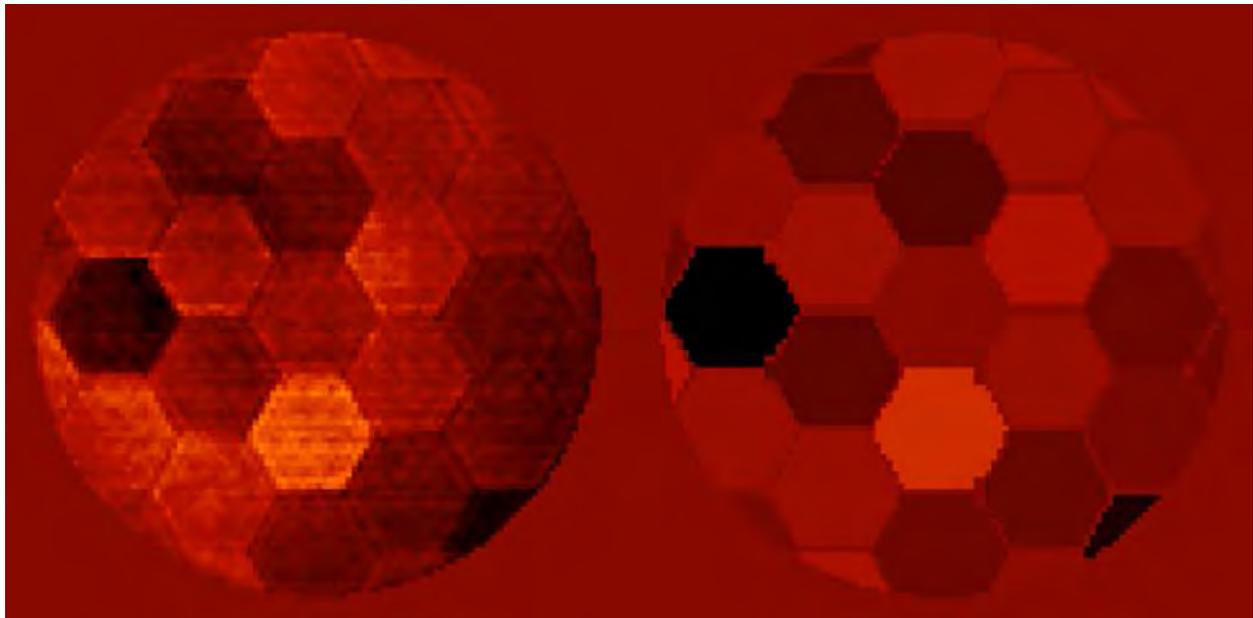
**ONERA**

THE FRENCH AEROSPACE LAB

**Contact :** Thierry.Fusco @ onera.fr

## Résumé

Un des objectifs majeurs en astronomie est d'observer une autre Terre. Mais c'est équivalent à voir une luciole volant à 1 m du phare breton du Créac'h (le plus puissant d'Europe)... depuis Moscou ! Plusieurs outils existent afin de faciliter cette tâche, comme le coronographe (un instrument composé limitant la lumière de l'étoile) et des analyseurs et correcteurs de défauts optiques. Afin de capter les photons de la planète et d'améliorer la capacité des télescopes à discerner des objets très proches l'un de l'autre, on utilise des miroirs immenses et segmentés, ie. composés de petits miroirs hexagonaux. Les outils mentionnés plus haut doivent être testés et adaptés à cette segmentation qui détériore les performances du télescope. Durant cette thèse, en collaboration avec le Space Telescope Science Institute, une méthode permettant d'estimer l'impact de la segmentation sur les performances d'un télescope en amont de sa construction a été développée. Des techniques d'analyse et de correction des défauts optiques ont également été testées en laboratoire. Les développements effectués sont à présent utilisés par la NASA.



Résultats expérimentaux de l'analyseur de front d'onde COFFEE, obtenus au STScI (Baltimore).

Gauche : phase reconstruite par COFFEE en mode coronographique.

Droite : phase théorique représentant un défaut de segmentation typique d'un télescope spatial.

<http://stsci-makidon-optics-lab.blogspot.com/2018/04/hicat-first-results-with-coffee.html>

## Etudier un concept innovant pour développer et améliorer une nouvelle filière de détection infrarouge

### Distinction

Best Student Paper -  
conférence OPTRO  
(2018)

### Baptiste FIX

Thèse soutenue le 1er octobre 2018

Ecole doctorale : ED 572 (EDOM) - Ondes et Matière - Paris-Saclay

### Titre de la thèse

**Diodes nanostructurées pour la détection infrarouge par absorption à deux photons**

### Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrant : Julien Jaeck - ONERA

Directeur de thèse : Riad Haïdar - ONERA

### Financement

Délégation Générale de l'Armement (DGA) & ONERA

### Défi scientifique

Photonique  
et systèmes  
optroniques

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)

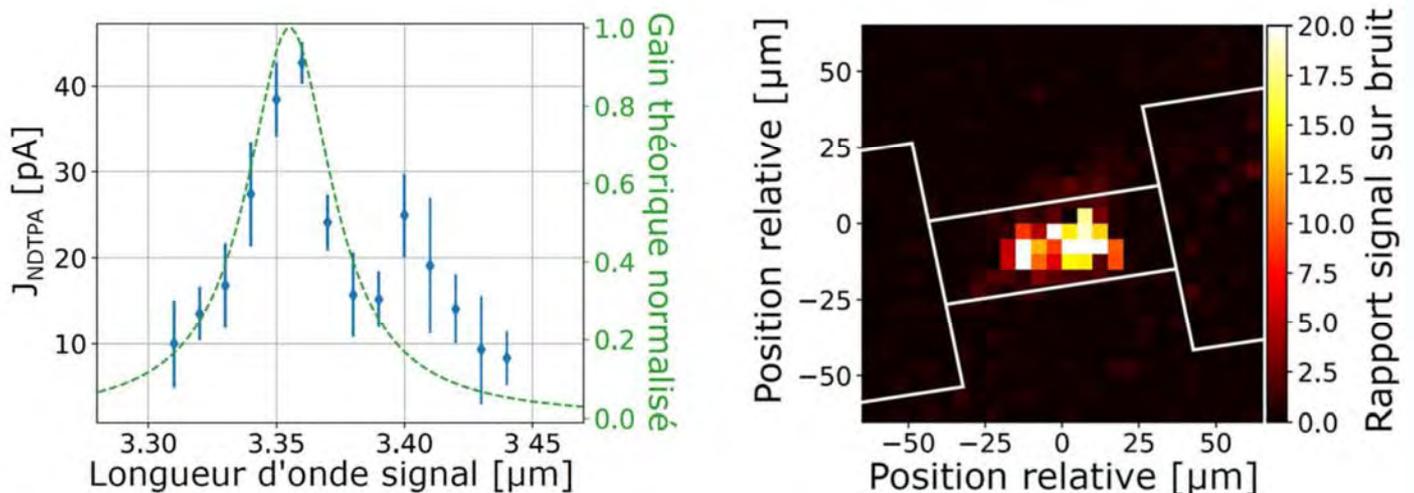


**Contact :** Baptiste.Fix @ onera.fr

## Résumé

Les besoins applicatifs dans les domaines civils et militaires (analyse de l'atmosphère, détection de gaz, médical, vision nocturne, détection de cibles...) ont entraîné le développement de nombreuses filières de détection infrarouge. Les systèmes actuels de détection infrarouge répondent déjà aux besoins de grande sensibilité au prix de l'encombrement et du coût des systèmes de refroidissement. Cependant, les systèmes de détection infrarouge peu encombrants et peu onéreux représentent encore un besoin applicatif fort. Ainsi, l'étude et l'amélioration de nouvelles filières de détection infrarouge, capables de travailler à haute température ( $T > 160$  K), présentent un intérêt majeur.

Ces travaux de thèse portent sur l'étude de la photodétection infrarouge par processus d'absorption à deux photons non-dégénérés (NDTPA) dans des diodes nanostructurées à grand gap. Ce concept innovant permet en effet la détection infrarouge sans avoir recours aux systèmes de refroidissement du détecteur mais la faible efficacité d'absorption rend la génération de photocourant compliquée. L'enjeu de cette étude est alors d'utiliser des nanostructures astucieusement conçues pour amplifier le phénomène d'absorption et permettre la détection du flux infrarouge. La conception, la fabrication en salle blanche et la caractérisation de deux générations de diodes nanostructurées pour la détection infrarouge par NDTPA sont présentées. La première génération de diodes permet la détection d'un flux infrarouge à température ambiante avec un rapport signal sur bruit de 15. Une seconde génération de diode nanostructurée permet d'atteindre des gains théoriques de l'ordre de 1500 sur la génération de photocourant par NDTPA.



À gauche : Évolution du photocourant généré par absorption à deux photons en fonction de la longueur d'onde du faisceau à détecter. L'évolution du photocourant suit bien la courbe du gain sur l'absorption à deux photons due à la nanostructure.

À droite : Image reconstituée du rapport signal à bruit d'une photodiode à température ambiante. Le squelette blanc représente la position de la diode et des deux pads métalliques qui l'encadrent

## Evaluer le potentiel de nouveaux détecteurs infrarouge pour des applications d'imagerie hautes performances

**Jean NGHIEM XUAN**

Thèse soutenue le 10 décembre 2018

Ecole doctorale : ED 572 (EDOM) - Ondes et Matière - Paris-Saclay

### Titre de la thèse

**Performances orientées système de détecteurs infrarouges à super-réseaux en cryostat opérationnel**

### Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Directeurs de thèse : Isabelle Ribet - ONERA

Philippe Christol - Institut d'Electronique et des Systèmes

### Financement

Délégation Générale de l'Armement (DGA) & Labex FOCUS

### Défi scientifique

Photonique  
et systèmes  
optroniques

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



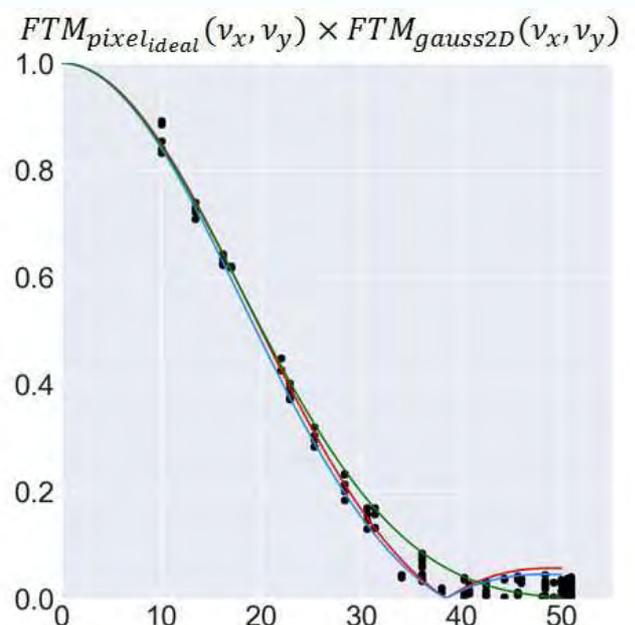
**Contact :** [Isabelle.Ribet @ onera.fr](mailto:Isabelle.Ribet@onera.fr)

## Résumé

De nombreuses filières de détecteurs coexistent dans le domaine infrarouge. Chacune possède ses avantages et ses inconvénients (performances, compacité, coût ...). La filière super-réseaux (SR) repose sur un empilement périodique de semi-conducteurs (InAs/GaSb), donnant un détecteur quantique capable d'adresser notamment les bandes spectrales MWIR (3-5 $\mu\text{m}$ ) ou LWIR (8-12 $\mu\text{m}$ ) avec de bonnes performances électro-optiques (rendement quantique, courant d'obscurité...). Pour statuer sur le potentiel de cette filière pour des applications d'imagerie hautes performances, il est nécessaire d'évaluer d'autres fonctions de mérite plus orientées système.

La Fonction de Transfert de Modulation (FTM) a d'abord été retenue. Elle illustre la capacité d'une matrice de détecteurs à restituer de fins détails dans l'image. Tout l'enjeu du travail réalisé repose sur la mise en œuvre de la mesure, particulièrement complexe dans le cas d'un détecteur intégré en cryostat opérationnel. La conception et l'évolution du banc pour la mesure de FTM d'un détecteur de la filière super-réseaux (matrice IRnova MWIR 320x256 pixels au pas de 30 $\mu\text{m}$ ) est détaillée dans le manuscrit. Elle a permis d'aboutir à une mesure de FTM non affectée par les vibrations induites par la machine à froid, notamment grâce à l'utilisation de trois accéléromètres.

La stabilité dans le temps d'une matrice à super-réseaux a ensuite été évaluée. En effet, les images infrarouge sont entachées d'un bruit spatial fixe (BSF) qui doit être corrigé. Toute la question est ici de savoir combien de temps cette correction reste valide. On s'est pour cela intéressé à la mesure du rapport bruit spatial fixe résiduel sur bruit temporel (BSFR/BT) après une correction dite « 2 points », ainsi qu'au dénombrement et à la classification des pixels clignotants. La mise en place du protocole de mesure et de traitement des données, qui peut désormais être utilisé pour comparer rigoureusement la stabilité temporelle de détecteurs issus de filières technologiques différentes, est détaillée.



*Mesure de fonction de transfert de modulation réalisée sur une matrice de détecteurs super-réseaux sensible dans la bande 3-5 $\mu\text{m}$  (composant IRnova), et comparaison avec la théorie*

## Développer un modèle reliant la réflectance d'un sol à son taux d'humidité pour améliorer l'estimation de la teneur en eau des sols par télédétection

**Aurélien BABLET**

Thèse soutenue le 1er octobre 2018

Ecole doctorale : ED 560 (STEP'UP) - Sciences de la Terre et Physique de l'Univers

**Titre de la thèse**

**Modélisation de la réflectance spectrale d'un sol nu en fonction de sa teneur en eau dans le domaine réflectif solaire (400-2500 nm)**

**Encadrement**

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Directeurs de thèse : Stéphane Jacquemoud - IPGP  
Françoise Viallefont-Robinet - ONERA

**Financement**

Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (MESRI) & ONERA

**Défi scientifique**

Photonique  
et systèmes  
optroniques

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)

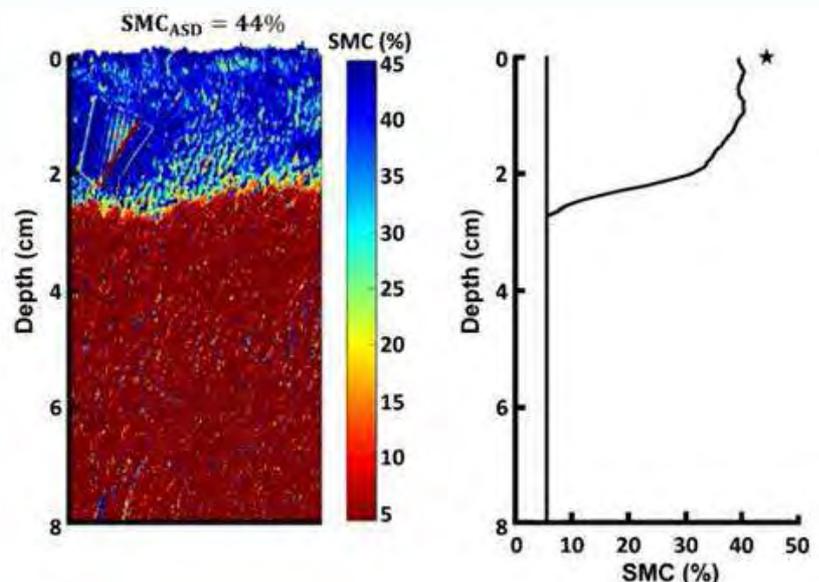


**Contact :** Francoise.Viallefont @ onera.fr

## Résumé

La teneur en eau de surface des sols (SMC, Soil Moisture Content) influe sur leur réflectance spectrale sur tout le domaine réflectif solaire (400 – 2500 nm). De nombreux modèles et méthodes ont été développés pour retrouver cette humidité à l'aide de la réflectance mais très peu sont fondés sur des bases physiques et permettent une modélisation complète du spectre. Ce manuscrit présente un modèle de transfert radiatif multicouche de réflectance de sol nommé MARMIT (multilayer radiative transfer model of soil reflectance) qui permet, en partant de la réflectance d'un sol sec, de simuler sa réflectance à différents SMC. Il modélise un sol humide comme un sol sec recouvert d'une fine pellicule d'eau caractérisée par deux paramètres : son épaisseur  $L$  et son taux de recouvrement du sol  $\epsilon$ . En le testant sur une base de données regroupant 217 sols issus de 7 différents jeux de données de la littérature, nous avons montré que l'ajustement du modèle sur les données était précis (erreur quadratique moyenne - ou RMSE - de 1,5 %). Le modèle a été complété en incluant des particules de sols dans la lame d'eau et a permis d'accroître ses performances de restitution de la signature spectrale sur le domaine réflectif (RMSE $\approx$ 1 %). En calibrant une relation entre la hauteur d'eau moyenne de la couche d'eau au-dessus du sol ( $\varphi=L\times\epsilon$ ) et le SMC, ce dernier peut être estimé très précisément si la calibration est adaptée à chaque sol (RMSE=3 %). Le RMSE est de l'ordre de 5 % si les sols sont regroupés en classes, suivant leur texture par exemple. En la comparant aux autres méthodes issues de la littérature (indices spectraux, modèles (semi-empiriques ...), notre méthode, MARMITforSMC, fournit le SMC avec le RMSE le plus faible. Ces travaux ont été complétés par une analyse précise de l'évolution de la teneur en eau avec la profondeur, après infiltration d'eau importante ( $\approx$ 30 mm) par le haut, qui nous a permis de montrer que le SMC estimé à la surface d'un sable avec MARMITforSMC était nettement sous-estimé par rapport au SMC estimé en dessous de 2 cm de profondeur. Pour les sols argileux il a été montré que l'infiltration est régulière et que le SMC estimé en surface est identique au SMC estimé en profondeur (jusqu'à 8 cm de profondeur).

Carte d'humidité (à gauche) et profil (à droite) pour un sol argileux et un cumul de 8,5 mm d'eau. La valeur mesurée en surface est de 44% (étoile sur le profil)



## Evaluer l'apport de techniques de télédétection pour réaliser un suivi cartographique précis d'une tourbière dans son environnement

**Thierry ERUDEL**

Thèse soutenue le 12 octobre 2018

Ecole doctorale : ED 467 (AA) - Aéronautique Astronautique - Toulouse

### Titre de la thèse

**Caractérisation de la biodiversité végétale en milieu montagnard et de piedmont par télédétection : apport des données aéroportées à très hautes résolutions spatiale et spectrale**

### Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrante : Sophie Fabre - ONERA

Directeurs de thèse : Xavier Briottet - ONERA

Thomas Houet - CNRS GEODE

### Financement

LabEx DRIIHM (Dispositif de Recherche Interdisciplinaire sur les Interactions Hommes-Milieux )

### Défi scientifique

Photonique  
et systèmes  
optroniques

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



Université  
de Toulouse



**Contact :** Sophie.Fabre @ onera.fr

## Résumé

Les tourbières constituent un milieu fragile mais à forte valeur patrimoniale. Comme elles sont soumises à des gestions différenciées localisées dans un environnement dont les modes de gestion peuvent eux-mêmes influencer sur le fonctionnement de la tourbière, il convient de pouvoir réaliser une cartographie précise pour son suivi. Cette thèse vise donc à évaluer l'apport de l'imagerie hyperspectrale et du LiDAR (*Light Detection And Ranging* – Détection et télémétrie par ondes lumineuses) pour réaliser un état des lieux cartographique d'une tourbière dans son environnement, incluant une forêt naturelle qui la ceinture. Elle s'articule autour de deux questions. La classification d'habitats végétaux d'une tourbière de montagne à partir de données hyperspectrales (*in situ* et aéroportées) est-elle possible ? La principale difficulté de la discrimination de ces habitats provient de la forte hétérogénéité floristique qui existe au sein d'une tourbière et de la définition des classes d'habitats regroupant plusieurs espèces végétales. La délimitation de couronnes d'arbres à partir de la combinaison de données hyperspectrales et LiDAR est-elle possible ? La difficulté réside ici dans la topographie du milieu et la densité du couvert végétal (forêt naturelle avec des arbres contigus sur une zone escarpée). Les principaux résultats montrent que les mesures hyperspectrales *in situ* permettent de discriminer des habitats végétaux dans une tourbière de montagne en appliquant un classifieur peu utilisé en télédétection (RLR - *Regularized Logistic Regression*) sur des signatures spectrales transformées (CRDR - *Continuum Removed Derivative Reflectance*) dans un domaine spectral spécifique [350 – 1350 nm] : précision globale de 84 % ; ou en utilisant ce classifieur sur des indices spectraux de végétation : précision globale de 75 %. Finalement, une cartographie précise des habitats a été réalisée en s'appuyant sur des données hyperspectrales aéroportées et montre que certains habitats sont localement bien localisés en comparant avec la carte réalisée par le CBN (Conservatoire Botanique National). Pour délimiter les houppiers, la méthode mise en place s'appuie sur une image sur-segmentée obtenue selon des méthodes classiques de traitement d'images à partir d'un MNC (Modèle Numérique de Canopée) d'une part et d'une représentation RVB (Rouge Vert Bleu) de l'image hyperspectrale d'autre part. Un graphe a été ensuite utilisé pour fusionner les segments en combinant des critères géométriques et spectraux. La combinaison des données LiDAR et hyperspectrales a donc permis d'obtenir une carte de délimitation des houppiers avec une précision de 74 %. Si les résultats sont encore perfectibles et ouvrent de multiples perspectives, la difficulté du milieu considéré (escarpements, conditions atmosphériques, illumination, ...) confère à ce travail un caractère démonstratif encourageant.

*Délimitation de couronnes d'arbres dans une forêt montagnaise (Bernadouze, Arège, France) par fusion de données aéroportées hyperspectrales et LiDAR 3D*



## Etudier le potentiel des techniques de télédétection pour cartographier automatiquement les arbres

### Josselin AVAL

Thèse soutenue le 25 octobre 2018

Ecole doctorale : ED 467 (AA) - Aéronautique Astronautique - Toulouse

#### Titre de la thèse

**Automatic mapping of urban tree species based on multi-source remotely sensed data**

#### Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrants : Sophie Fabre - ONERA

David Sheeren - DYNAFOR-ENSAT

Directeurs de thèse : Xavier Briottet - ONERA

Emmanuel Zenou - ISAE-SUPAERO

#### Financement

Région Occitanie & ONERA

#### Défi scientifique

Photonique  
et systèmes  
optroniques

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



Université  
de Toulouse

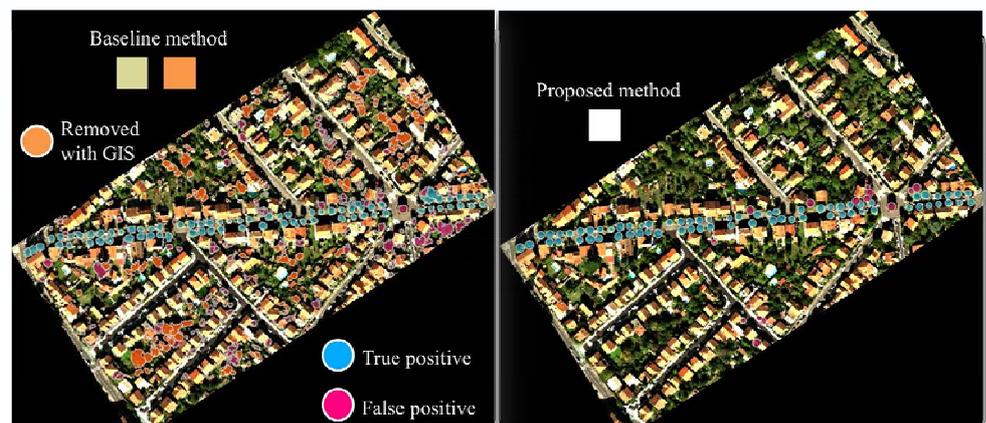


**Contact :** Sophie.Fabre @ onera.fr

## Résumé

With the expansion of urban areas, air pollution and heat island effects are increasing, leading to state of health issues for the inhabitants and global climate changes. In this context, urban trees are a valuable resource for both improving air quality and promoting freshness islands. On the other hand, canopies are subject to specific conditions in the urban environment, causing the spread of diseases and life expectancy decreases among the trees. This thesis explores the potential of remote sensing for the automatic urban tree mapping, from the detection of the individual tree crowns to their species estimation. This is an essential preliminary task for designing the future green cities, and for an effective vegetation monitoring. Based on airborne hyperspectral, panchromatic and Digital Surface Model data, the first objective of this thesis consists in taking advantage of several data sources for improving the existing urban tree maps, by testing different fusion strategies (feature and decision level fusion). The nature of the results led us to optimize the complementarity of the sources. In particular, the second objective is to investigate deeply the richness of the hyperspectral data, by developing an ensemble classifier approach based on species specific classifiers. The features are built owing to vegetation indices selection, specific for each species. Finally, the first part highlighted to interest of discriminating the street trees from the other structures of urban trees. In a Marked Point Process framework, the third objective is to detect trees in urban alignment. Through the first objective, this thesis demonstrates that the hyperspectral data (especially the VNIR) are the main driver of the species prediction accuracy. The decision level fusion strategy is the most appropriate one for improving the performance in comparison the hyperspectral data alone, but slight improvements are obtained (a few percent) due to the low complementarity of textural and structural features in addition to the spectral ones. The ensemble classifier approach developed in the second part allows the tree species to be classified from ground-based spectral references (leaf and canopy levels), with significant improvements in comparison to a standard feature level classification approach. Finally, the street trees can be mapped thanks to the proposed model integrating contextual features (alignment and similar heights). This work could be extended to the phenological monitoring of urban vegetation and the analysis of the state of health.

*Detection of aligned trees  
(in blue).  
Left: with a state of the  
art method  
Right: with the proposed  
method in this thesis*



# Développer des techniques de correction du relief pour améliorer les traitements des images du spectro-imageur Sieleters de l'ONERA

**Clara BARBANSON-GRAZIUSI**

Thèse soutenue le 31 mai 2018

Ecole doctorale : ED 130 (EDITE) - Informatique, télécommunications et électronique - Paris

Titre de la thèse

**Correction des effets de relief en spectro-imagerie aéroportée**

## Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrant : Yann Ferrec - ONERA

Directeurs de thèse : Andrés Almansa - Télécom ParisTech  
Pascal Monasse - Ecole des Ponts

## Financement

ONERA

## Défi scientifique

Photonique  
et systèmes  
optroniques

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



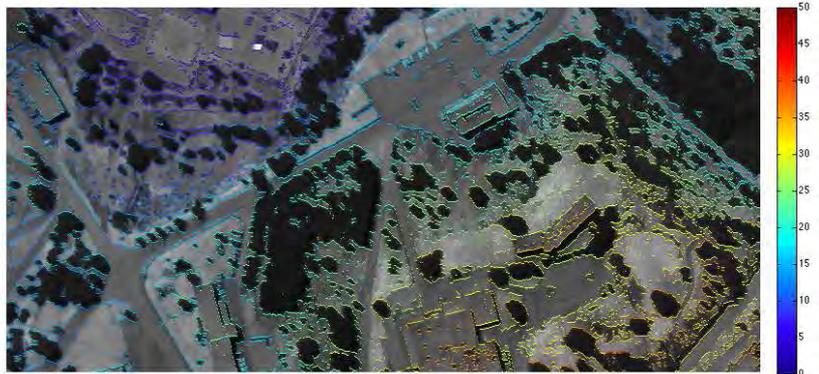
**Contact :** [Yann.Ferrec@onera.fr](mailto:Yann.Ferrec@onera.fr)

## Correction des effets de relief en spectro-imagerie aéroportée

## Résumé

Cette thèse présente une série de traitements appliqués aux images d'un spectro-imageur à transformée de Fourier statique développé par l'ONERA. Il s'agit d'un instrument hyperspectral aéroporté qui acquiert des séquences denses d'images. Ces séquences forment un cube interférométrique dont la troisième dimension fournit l'information spectrale. Toutefois, en présence de relief sur la scène, l'erreur de parallaxe entre les différentes images de la séquence génère des erreurs dans le cube si les images ne sont pas corrigées avec un modèle numérique d'élévation (MNE). Ce dernier étant en général inconnu, on peut se servir du cube interférométrique, doté de nombreuses images de la scène, à des fins de stéréoscopie. Ce problème de parallaxe et ces conditions d'acquisitions se retrouvent aussi dans les autres spectro-imageurs à trame défilante, auxquels les traitements stéréoscopiques de ce travail pourraient s'appliquer.

L'objectif de cette thèse est donc de calculer le MNE de la scène survolée à partir des images de l'instrument. Les séquences d'images présentent toutefois diverses difficultés. D'une part, chaque image de la séquence contient des franges d'interférences fixes qui se superposent à la scène. D'autre part, les disparités observées entre deux clichés successifs sont inférieures au centième de pixel. Les franges sur les images, très contrastées à certains endroits, perturbent les traitements stéréoscopiques. Nous proposons deux décompositions d'image afin de séparer la figure d'interférence de l'image de la scène : une additive, classique et accessible car il s'agit d'un problème convexe, et une multiplicative, plus proche du modèle de formation d'image mais plus complexe du fait que le problème devient biconvexe. Une attention particulière est portée à cette étape, qui ne doit pas détériorer la qualité de l'image afin de procéder aux mesures stéréoscopiques. Afin de tirer profit de la grande quantité d'images et de gérer les disparités sous-pixelliques, nous utilisons les images des plans épipolaires (EPI) pour obtenir une carte de disparité éparse. Celles-ci correspondent à des images spatio-temporelles construites à partir des lignes épipolaires. Elles décrivent le déplacement des points de la scène en fonction de la position de la caméra et donnent ainsi accès à la mesure de disparité. Une des hypothèses pour pouvoir utiliser cette méthode est que tous les sommets de prise de vue soient colinéaires. Or, en imagerie aéroportée, les conditions de vol font que l'avion peut légèrement dévier de sa trajectoire. Nous étudions donc l'impact de ces erreurs sur la mesure de disparité. Pour obtenir un modèle numérique de surface continu, nous proposons de densifier la carte éparse avec une minimisation d'énergie par *graphcut*. Nous reprenons un algorithme existant et l'adaptions au cas multi-vues et sous-pixellique.



*En noir et blanc, image infrarouge de la scène. En couleurs, la hauteur relative du sol (en mètres) estimée à l'aide des EPI. La carte des hauteurs a ensuite été densifiée par graph-cut*

## Concevoir de nouvelles architectures de caméras infrarouge présentant une fonction de vision 3D en utilisant des concepts d'optiques intégrées dans un bloc de détection

### Distinction

PhD Student Best  
Paper Award  
conférence OPTRO  
(2016)

### Kevin COSSU

Thèse soutenue le 23 novembre 2018

Ecole doctorale : ED 488 (SIS) - Sciences, Ingénierie, Santé - St Etienne

### Titre de la thèse

**Conception et réalisation de caméras plénoptiques pour l'apport d'une vision 3D à un imageur infrarouge mono plan focal**

### Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrants : Guillaume Druart - ONERA  
Eric Belhaire - THALES

Directeurs de thèse : Thierry Lépine - IOGS Saint-Etienne  
Frédéric Champagnat - ONERA

### Financement

CIFRE Thales

### Défi scientifique

Photonique  
et systèmes  
optroniques

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)

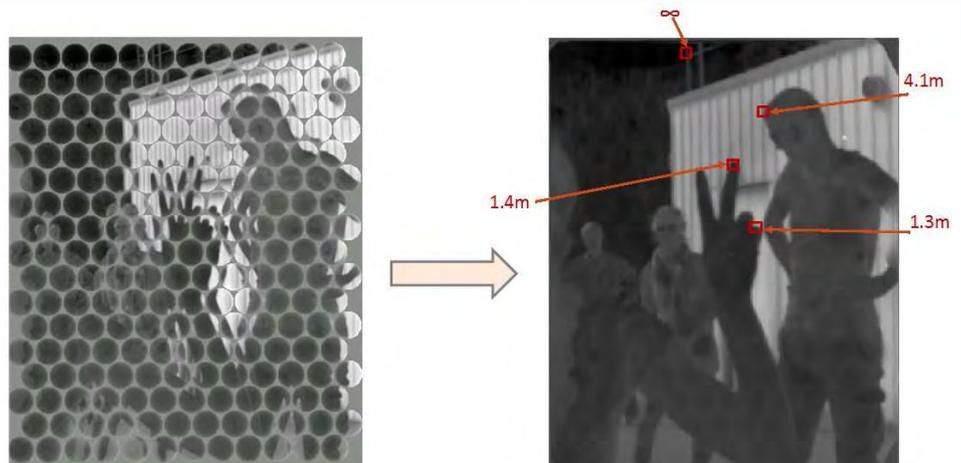


Contact : [Guillaume.Druart @ onera.fr](mailto:Guillaume.Druart@onera.fr)

## Résumé

Les systèmes d'imagerie infrarouge suivent depuis plusieurs années la même tendance de miniaturisation que les systèmes d'imagerie visible. Aujourd'hui cette miniaturisation se rapproche d'une limite physique qui amène la communauté à se tourner vers une nouvelle approche : la fonctionnalisation, c'est à dire l'apport de fonctions d'imagerie avancées aux systèmes telles que l'imagerie multispectrale, l'imagerie hyperspectrale ou l'imagerie 3D. En infrarouge, la fonction d'imagerie 3D est très recherchée car elle pourrait apporter à un fantassin un outil de télémétrie passive fonctionnant de nuit comme de jour, ou encore permettre l'autonomie dans un environnement complexe à des véhicules autonomes comme les drones. Cependant, le coût d'une caméra infrarouge hautes-performances utilisant un détecteur quantique refroidi est relativement élevé. Multiplier le nombre de caméras n'est donc pas une solution acceptable pour répondre à ce type de besoin, d'autant que la tendance pour les boules optroniques est l'intégration de nombreuses voies optiques dans un volume toujours plus restreint. C'est dans ce contexte que se situe ce travail qui consiste à apporter une fonction de vision 3D directement à des caméras infrarouges possédant un unique plan focal, évitant ainsi la duplication de voies optiques pour une seule fonction d'imagerie recherchée.

Au cours de cette thèse, dans un premier temps la technologie d'imagerie 3D la plus adaptée à ce besoin a été identifiée : la camera plénoptique. Il est montré que cette technologie appliquée aux détecteurs refroidis permet de proposer, par l'intégration d'une matrice de lentilles, un bloc de détection générique avec une fonction d'imagerie 3D. Le champ de vue de la caméra peut alors être classiquement adapté en fonction du besoin, soit par le développement d'une gamme d'objectifs placés en amont du bloc de détection, soit par l'implémentation d'une fonction de zoom. L'environnement scellé du bloc de détection a amené à développer un modèle de dimensionnement rigoureux pour ce type de camera qui a été appliqué pour concevoir et réaliser une camera plénoptique infrarouge refroidie. Une méthode de caractérisation originale dédiée aux caméras plénoptiques infrarouges a été mise au point, et les mesures ont été intégrées dans une série d'algorithmes de traitement d'image pour reconstituer une image de la scène et remonter à la distance des objets observés.



À gauche : Image plénoptique  
À droite : Image de la scène +  
information de distance

# Développer de nouvelles sources optiques pour la détection à distance d'espèces chimiques dans l'atmosphère

## Julie ARMOUGOM

Thèse soutenue le 26 octobre 2018

Ecole doctorale : ED 220 (EEATS) - Electronique, Electrotechnique, Automatique, Traitement du Signal - Grenoble

### Titre de la thèse

## Nouvelles sources optiques pour la détection d'espèces chimiques dans la bande III

### Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrant : Jean-Michel Melkonian - ONERA

Directeur de thèse : Benoît Boulanger - Institut Néel

### Financement

ONERA

### Défi scientifique

Photonique  
et systèmes  
optroniques

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)

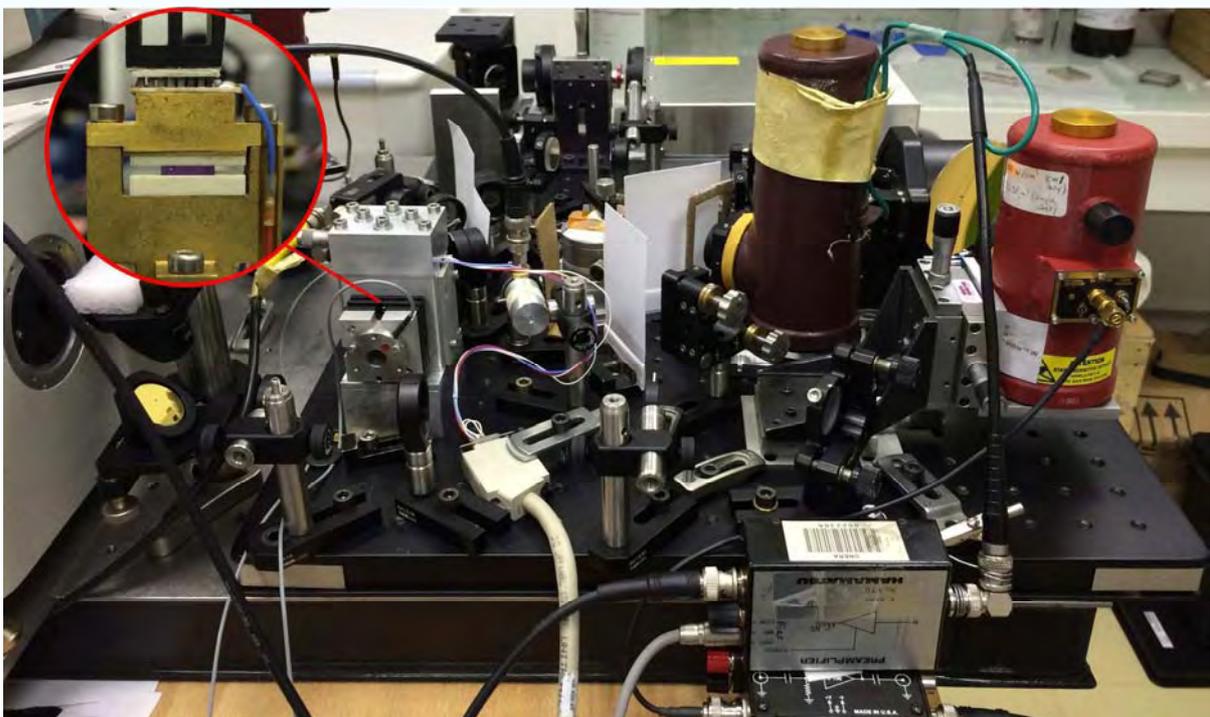


Contact : Jean-Michel.Melkonian @ onera.fr

## Nouvelles sources optiques pour la détection d'espèces chimiques dans la bande III

### Résumé

La spectrométrie laser d'absorption différentielle est une technique bien connue pour la détection à distance d'espèces chimiques dans l'atmosphère. À ce titre, la bande III qui s'étend entre 8 et 12  $\mu\text{m}$  est une région particulièrement intéressante, car les bandes d'absorption de nombreuses espèces chimiques y sont intenses et se recouvrent peu entre elles. Afin de détecter ces espèces à distance dans la bande III, il est nécessaire de disposer de sources dont le rayonnement est fin spectralement, largement accordable, et énergétique. Les sources basées sur l'optique non linéaire du second ordre constituent aujourd'hui la seule technologie capable de répondre à ces besoins. Dans ce travail de thèse, nous présentons des résultats expérimentaux portant sur deux architectures de sources paramétriques permettant d'émettre un rayonnement en bande III adapté à la spectrométrie différentielle en configuration lidar. La première architecture consiste à émettre un faisceau directement dans la bande III grâce au pompage de cristaux non linéaire par des sources laser à 2  $\mu\text{m}$ . La seconde architecture consiste à amplifier les ondes signal et complémentaire issues d'un OPO à 2  $\mu\text{m}$ , avant de les convertir dans la bande III par différence de fréquences. Ces deux sources sont basées sur l'association de technologies émergentes et sont susceptibles d'offrir des solutions viables à la rareté des sources émettant dans la bande III.



*Banc de détection à distance (LIDAR) intégrant un oscillateur paramétrique optique émettant en bande III (collab. Teem Photonics). Insert : cristal de OP-GaAs permettant la conversion de fréquence de 2  $\mu\text{m}$  vers la bande III (collab. TRT)*

## Mieux modéliser les perturbations électromagnétiques et les échauffements dans les câblages pour les besoins de l'avion plus électrique

### Distinction

John McCarthy  
Student Award  
ICAS (2016)

### Florian MAHIDDINI

Thèse soutenue le 24 mai 2018

Ecole doctorale : ED 467 (AA) - Aéronautique Astronautique - Toulouse

### Titre de la thèse

**Modélisation couplée CEM-Thermique d'architectures de câblages électriques embarqués.**

### Encadrement

Département Electromagnétique et Radar (DEMR)

Encadrants : Michaël Ridel, Philippe Reulet & David Donjat - ONERA

Directeur de thèse : Pierre Millan - ONERA

### Financement

Région Occitanie & ONERA

### Défi scientifique

Electromagnétisme  
et radar

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



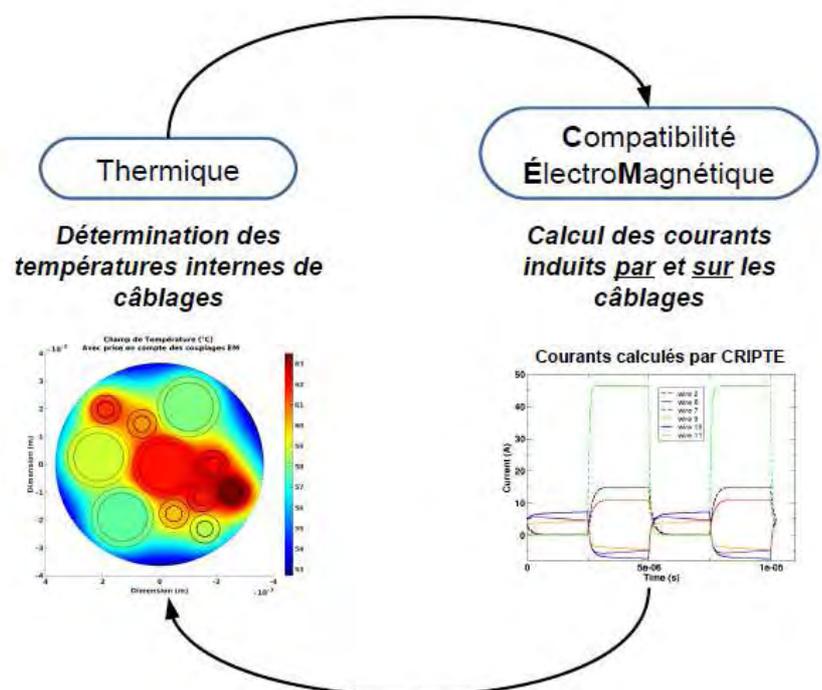
Université  
de Toulouse



**Contact :** Michael.Ridel @ onera.fr

## Résumé

Le développement d'aéronefs « plus » voire « tout » électriques a pour conséquence la conception d'architectures électriques embarquées de plus en plus complexes entraînant une très nette augmentation du nombre de câbles électriques à déployer au sein des véhicules. Parmi les contraintes rencontrées lors des phases de définition et d'intégration des réseaux de câblages, les aspects de compatibilité électromagnétique et de gestion des échauffements thermiques deviennent de plus en plus critiques. Ainsi, ces travaux de thèse sont dédiés au développement d'une méthodologie permettant la prédiction d'une part, des courants induits par et sur les réseaux de câblages et d'autre part, de leur niveaux d'échauffement. En particulier, l'analyse bibliographique effectuée à cette occasion montre que les phénomènes électrostatiques (à la base de la théorie des lignes de transmission) et de conduction stationnaire de la chaleur sont strictement analogues, ce qui autorise une résolution simultanée de ces deux problèmes pour les réseaux de câblages considérés. Les présents travaux démontrent que le calcul des paramètres électriques primaires (p.u.l) du réseau et de la distribution de température dans le plan transverse peut se faire de manière totalement couplée à l'aide d'un schéma numérique basé sur la Méthode des Moments (MoM). Le choix de l'utilisation des équations intégrales pour la résolution de ce problème de potentiel se fonde sur plusieurs avantages tels qu'une utilisation optimisée des ressources de calcul et l'utilisation d'algorithmes efficaces de résolution, de surcroît naturellement parallélisables pour de futurs développements. Les outils de calculs thermiques développés dans le cadre de cette thèse, et qui ont vocation à être intégrés dans la suite logicielle CRIPTE de l'ONERA, ont fait l'objet d'une validation expérimentale pour plusieurs configurations de harnais électriques. Les comparaisons simulations-mesures présentent de bons accords bien que les expérimentations menées aient montré la difficulté d'obtenir précisément des valeurs du coefficient d'échange thermique, même dans des conditions parfaitement maîtrisées. Les travaux ouvrent enfin des perspectives nouvelles sur l'optimisation en termes de masse des réseaux de câblage (EWIS).



# Modéliser la diffusion radar de la végétation et l'influence du relief pour améliorer le suivi des forêts tropicales par télédétection radar

## Jean-Pascal MONVOISIN

Thèse soutenue le 22 mai 2018

Ecole doctorale : ED 323 (GEET) - Génie Electrique, Electronique, Télécommunications - Toulouse

### Titre de la thèse

**Modélisation de la diffraction électromagnétique des surfaces végétalisées avec prise en compte de la topographie. Application à l'étude des forêts tropicales et à la présence d'hydrocarbures sur le sol**

### Encadrement

Département Electromagnétique et Radar (DEMR)

Directeur de thèse : Pierre Borderies - ONERA

### Financement

TOTAL & ONERA

### Défi scientifique

Electromagnétisme et radar

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



Université de Toulouse



Contact : Pierre.Borderies @ onera.fr

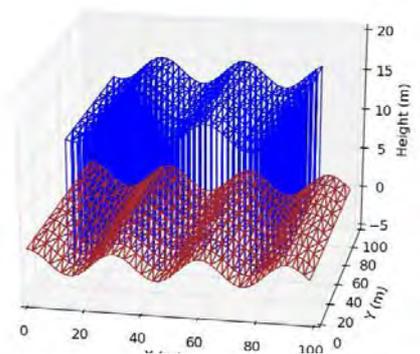
# Modélisation de la diffraction électromagnétique des surfaces végétalisées avec prise en compte de la topographie.

## Application à l'étude des forêts tropicales et à la présence d'hydrocarbures sur le sol

Jean-Pascal  
MONVOISIN

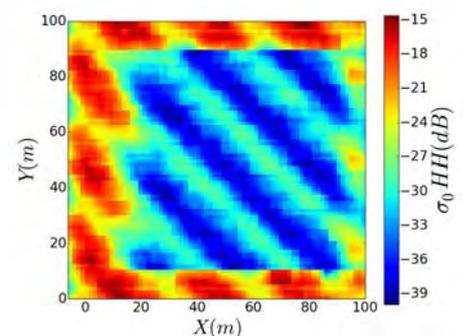
### Résumé

La caractérisation et le suivi des propriétés des forêts constituent un enjeu majeur pour les applications environnementales, militaires, économiques et écologiques. Un outil particulièrement adapté est sans conteste la télédétection optique ou radar. En effet, elle offre une capacité unique de couverture planétaire et permet d'atteindre des zones difficiles d'accès. De plus, elle permet d'imager de manière non destructive et non intrusive avec potentiellement une bonne résolution spatiale et temporelle. La télédétection radar possède l'avantage par rapport à l'optique de permettre l'acquisition d'images par tout temps, même lorsque des nuages sont présents au-dessus de la zone à imager, de jour comme de nuit. Cela est particulièrement intéressant pour l'étude des zones tropicales et équatoriales qui sont inexploitable par les capteurs optiques durant une grande partie de l'année du fait de la présence de nuages. Par ailleurs, les ondes radar basses fréquences présentent un potentiel de pénétration sous le couvert végétal et permettent d'atteindre le sol avec une atténuation relativement faible. Elles apparaissent ainsi comme l'outil privilégié pour l'étude et la surveillance des forêts tropicales où se concentre l'essentiel de la biomasse mondiale. Par ailleurs, la société TOTAL s'intéresse à la détection d'hydrocarbures (HC) dans les forêts tropicales africaines pour la surveillance de l'environnement ainsi qu'à des fins prospectives. C'est dans ce contexte qu'a été lancé le projet New Advanced Observation Method Integration (NAOMI) en partenariat entre l'ONERA et TOTAL. Il a pour but d'utiliser la télédétection avec ces deux objectifs pour ces deux applications. Dans ce contexte, il est essentiel d'être capable de modéliser la diffusion radar de la forêt, et plus généralement de la végétation, en prenant en compte la topologie du terrain, non seulement pour interpréter les images radar des futures missions spatiales et aéroportées, mais aussi à des fins prédictives. L'objet de cette thèse a été de mettre au point un modèle électromagnétique prenant en compte le relief de la scène et le caractère hétérogène de la végétation dans une approche très générale basée sur une discrétisation de la scène en triangles et pentagones. Ce modèle a été ensuite appliqué à des scènes canoniques à des fins de validation et illustration. Il a été ensuite appliqué à des forêts tropicales africaines et à une zone végétalisée dont le sol contient des HC, en confrontation avec des mesures terrain abondantes et des mesures radar de proximité, aéroportées et satellitaires. Enfin, ce modèle est inclus dans une stratégie d'inversion des propriétés de la scène à partir des mesures radar polarimétriques.



*En haut, représentation géométrique de la scène avec prise en compte du relief. En bleu, voxels pentaédriques qui s'adaptent au maillage du sol. Ils sont remplis de diffuseurs élémentaire qui représentent la végétation. En marron, sol maillé sur lequel reposent les voxels.*

*En bas, image SAR correspondante pour la composante sol, en polarisation HH*



# Développer de nouvelles techniques pour améliorer la détection de cibles de faibles dimensions

## Ahmad BITAR

Thèse soutenue le 6 juin 2018

Ecole doctorale : ED 580 (STIC) - Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication - Paris-Saclay

### Titre de la thèse

**Exploitation of Sparsity for Hyperspectral Target Detection**

### Encadrement

Département Electromagnétisme et Radar (DEMR)

Encadrant : Loong-Fah CHEONG - National University of Singapore

Directeur de thèse : Jean-Philippe OVARLEZ - ONERA

### Financement

CentraleSupélec

### Défi scientifique

Electromagnétisme  
et radar

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)

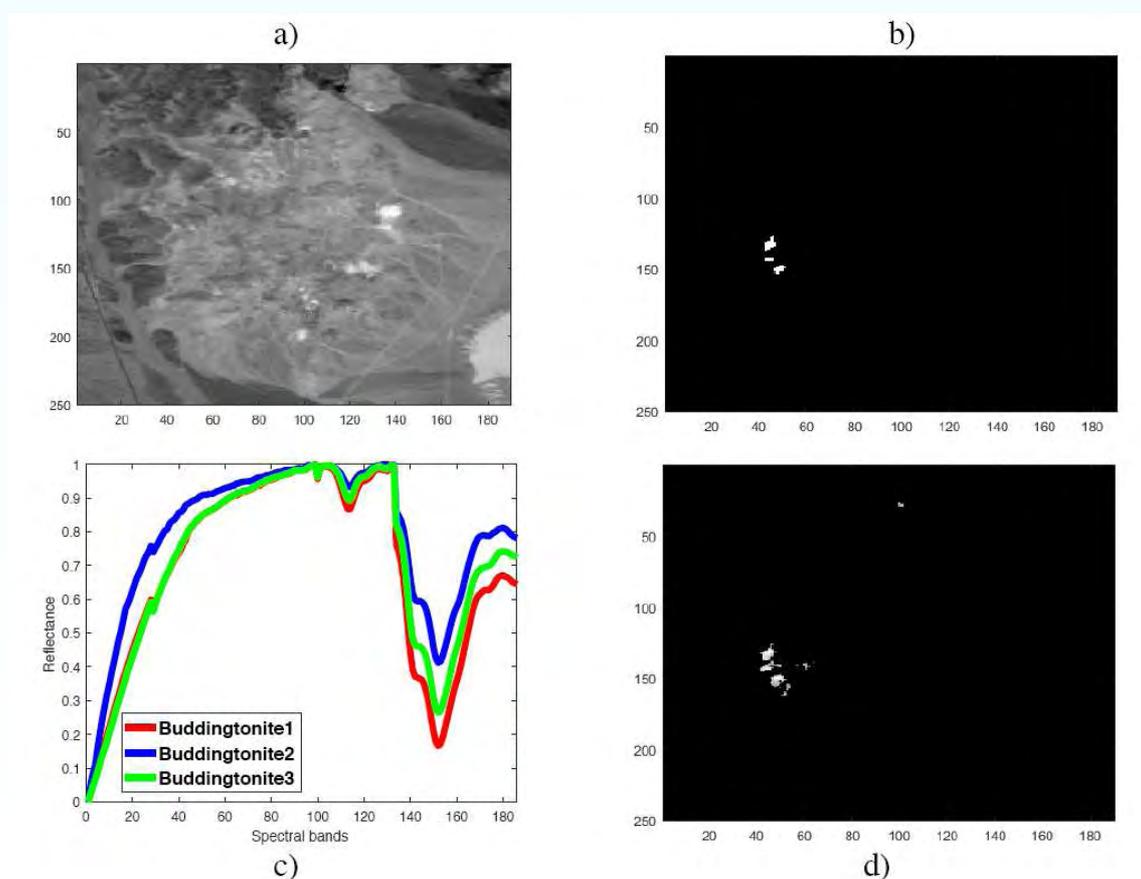


**Contact :** Jean-Philippe.Ovarlez @ onera.fr

## Exploitation of Sparsity for Hyperspectral Target Detection

### Résumé

The title of this PhD thesis contains three keywords: sparsity, hyperspectral image, and target detection. Sparsity is a word that is used everywhere and in everyday life. It generally means “small in number or amount, often spread over a large area”. A hyperspectral image is a three dimensional data cube consisting of a series of images of the same spatial scene in a contiguous and multiple narrow spectral wavelength (color) bands. With the rich information afforded by the high spectral dimensionality, target detection is not surprisingly one of the most important applications in hyperspectral imagery. The main objective of this PhD thesis is to answer the question “How and Why can sparsity be exploited for hyperspectral target detection?”. Answering this question has allowed us to develop different target detection contributions that mainly take into consideration 1) the heterogeneity of the environment, 2) the fact that the total image area of all the targets is very small relative to the whole image, 3) and the estimation challenge of the covariance matrix (surrounding the test pixel) in large dimensions. The proposed contributions are evaluated on both synthetic and real experiments, the results of which demonstrate their effectiveness for hyperspectral target detection.



a) The experimental hyperspectral dataset, b) The groundtruth of the Buddingtonite target pixels, c) Buddingtonite spectra in ASTER library, d) Detected targets by the proposed method

## Développer de nouvelles méthodes pour le traitement de données de grandes dimensions

### Distinction

Prix doctorant ONERA  
(2018)

### Eugénie TERREAUX

Thèse soutenue le 23 novembre 2018

Ecole doctorale : ED 575 (EOBE) - Electrical, Optical, Bio-physics and Engineering - Paris-Saclay

### Titre de la thèse

**Théorie des matrices aléatoires pour l'imagerie hyperspectrale**

### Encadrement

Département Electromagnétisme et Radar (DEMR)

Directeurs de thèse : Jean-Philippe OVARLEZ - ONERA  
Frédéric PASCAL - CentraleSupélec

### Financement

CentraleSupélec

### Défi scientifique

Electromagnétisme  
et radar

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



CentraleSupélec

université  
PARIS-SACLAY



ONERA

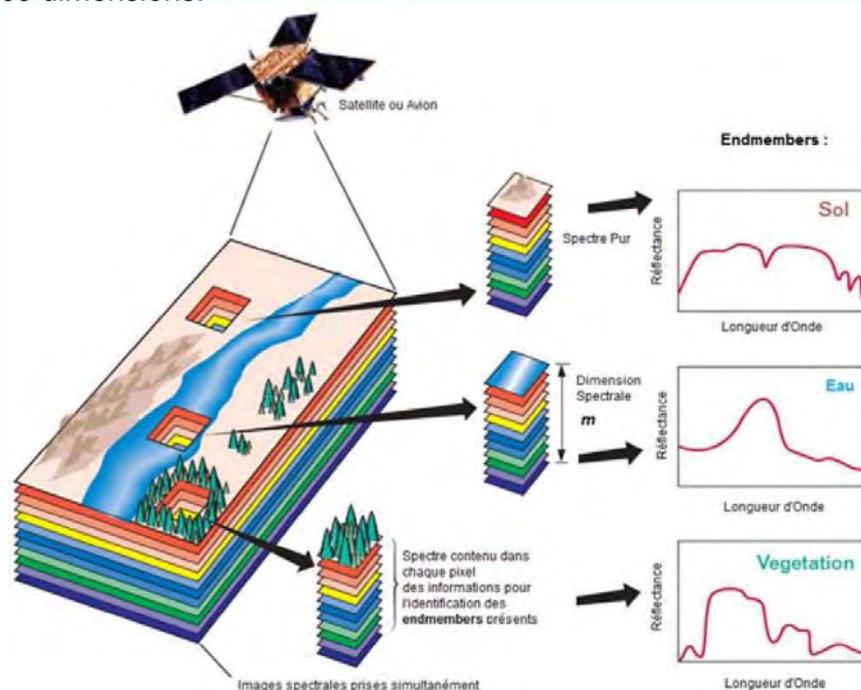
THE FRENCH AEROSPACE LAB

**Contact :** Eugenie.Terreux @ onera.fr

## Résumé

La finesse de la résolution spectrale et spatiale des images hyperspectrales en font des données de très grande dimension. C'est également le cas d'autres types de données, où leur taille tend à augmenter pour de plus en plus d'applications. La complexité des données provenant de l'hétérogénéité spectrale et spatiale, de la non gaussianité du bruit et des processus physiques sous-jacents, renforcent la richesse des informations présentes sur une image hyperspectrale. Exploiter ces informations demande alors des outils statistiques adaptés aux grandes données mais aussi à leur nature non gaussienne. Des méthodes reposant sur la théorie des matrices aléatoires, théorie adaptée aux données de grande dimension, et reposant sur la robustesse, adaptée aux données non gaussiennes, sont ainsi proposées dans cette thèse, pour des applications à l'imagerie hyperspectrale.

Cette thèse propose d'améliorer deux aspects du traitement des images hyperspectrales : l'estimation du nombre d'endmembers ou de l'ordre du modèle et le problème du démélange spectral. En ce qui concerne l'estimation du nombre d'endmembers, trois nouveaux algorithmes adaptés au modèle choisi sont proposés, le dernier présentant de meilleures performances que les deux autres, en raison de sa plus grande robustesse. Une application au domaine de la finance est également proposée. Pour le démélange spectral, trois méthodes sont proposées et tiennent compte des différentes particularités possibles des images hyperspectrales. Cette thèse a permis de montrer que la théorie des matrices aléatoires présente un grand intérêt pour le traitement des images hyperspectrales. Les méthodes développées peuvent également s'appliquer à d'autres domaines nécessitant le traitement de données de grandes dimensions.



Exemple d'une image hyperspectrale

# Développer des méthodes de traitement du signal permettant la détection et la localisation de cibles masquées en milieu urbain

## Khac Phuc Hung THAI

Thèse soutenue le 14 décembre 2018

Ecole doctorale : ED 373 (SICMA) - Santé, Information, Communications, Mathématiques, Matière

### Titre de la thèse

**Radar « Around the Corner » : détection et localisation de cibles masquées en milieu urbain**

### Encadrement

Département Electromagnétisme et Radar (DEMR)

Encadrants : Olivier Rabaste & Jonathan Bosse - ONERA

Directeur de thèse : Thierry Chonavel - IMT Atlantique

### Financement

ONERA

### Défi scientifique

Electromagnétisme  
et radar

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



**IMT Atlantique**  
Bretagne-Pays de la Loire  
École Mines-Télécom

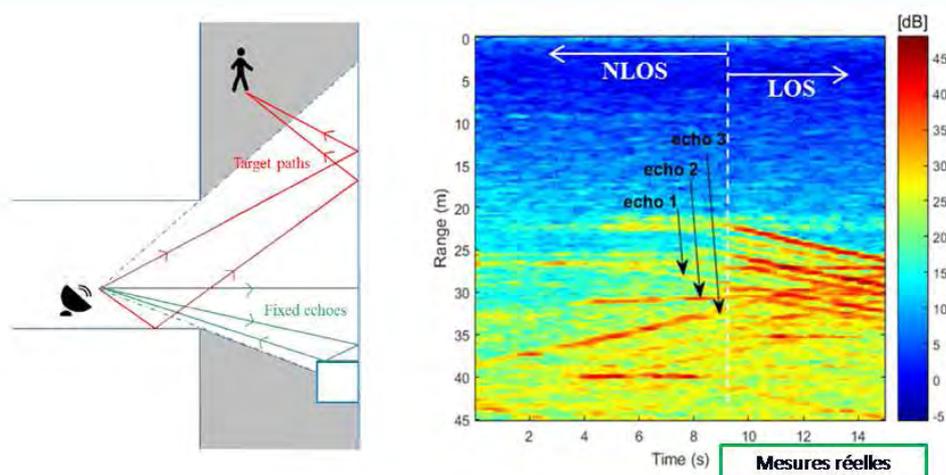


**Contact :** Olivier.Rabaste @ onera.fr

## Radar « Around the Corner » : détection et localisation de cibles masquées en milieu urbain

### Résumé

Les applications des techniques radar au milieu urbain constituent un domaine émergent. Une des difficultés principale est liée à la complexité du milieu de propagation induit par les bâtiments présents dans la scène. En effet, contrairement aux applications radar classiques où la cible est en ligne de vue du radar, la présence de ces bâtiments génère d'une part des zones d'ombre à l'intérieur desquelles une cible n'est pas en visibilité directe, et d'autre part de nombreux multi-trajets produits par les possibles réflexions et diffractions sur les surfaces environnantes. Ces multi-trajets sont souvent vus comme une gêne, limitant les capacités de détection en radar. Or ils peuvent aussi être exploités à l'avantage du radar afin de détecter et localiser des cibles situées dans les zones d'ombre (cible en NLOS). L'objectif de ce travail de thèse est donc la mise en place de méthodes de traitement du signal permettant la détection et la localisation d'une cible en NLOS en milieu urbain et l'application de ces techniques pour détecter et localiser une cible en NLOS à partir de signaux réalistes voire réels. Pour cela, nous avons proposé dans un premier temps deux solutions pour la détection et la localisation de la cible en exploitant les multi-trajets : l'algorithme FMU qui est basé sur une projection du signal reçu sur le sous-espace défini par les retards des multi-trajets et l'algorithme SLC qui est basé sur une intégration non cohérente de l'énergie des multi-trajets. Nous avons également affiné d'une part notre solution de détection en proposant une méthode de sélection du nombre de trajets fondée sur l'optimisation de la probabilité de détection, et d'autre part notre solution de localisation en proposant d'utiliser des critères de pénalisation permettant de limiter dans une certaine mesure le problème d'ambiguïté inhérent à la problématique « around-the-corner ». Dans un deuxième temps, nous avons développé deux filtres particuliers pour pister une cible en milieu urbain en présence de multi-trajets. Ces algorithmes ont été appliqués aux données réelles issues d'une expérimentation et ont montré des résultats prometteurs : même avec une connaissance approximative de la géométrie de la scène, il a été possible de détecter, localiser et suivre une cible en exploitant uniquement l'information fournie par les retards des multi-trajets.



*Problématique du radar around-the-corner et exemple de multi-trajets mesurés*

## Développer un système expérimental pour étudier les signaux reçus par un radar passif aéroporté et tester des traitements adaptés à cette configuration

### Clément BERTHILLOT

Thèse soutenue le 20 décembre 2018

Ecole doctorale : ED 580 (STIC) - Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication - Paris-Saclay

#### Titre de la thèse

**Radar Passif Aéroporté : analyse de l'impact de la propagation sur le traitement des signaux DVB-T**

#### Encadrement

Département Electromagnétisme et Radar (DEMR)

Encadrants : Dominique Poullin & Olivier Rabaste - ONERA  
Agnès Santori - CRéA

Directeur de thèse : Marc Lesturgie - ONERA

#### Financement

Ministère des Armées



Contact : Dominique.Poullin @ onera.fr

Défi scientifique

Electromagnétisme  
et radar

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)

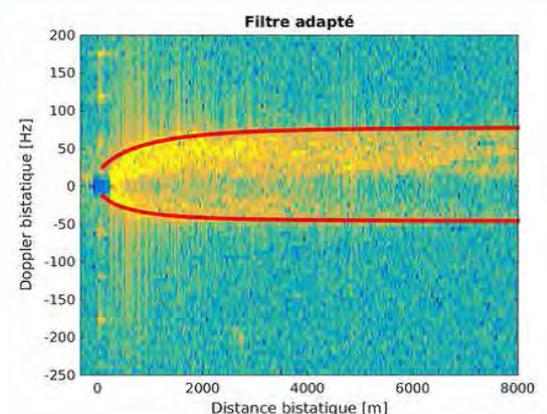
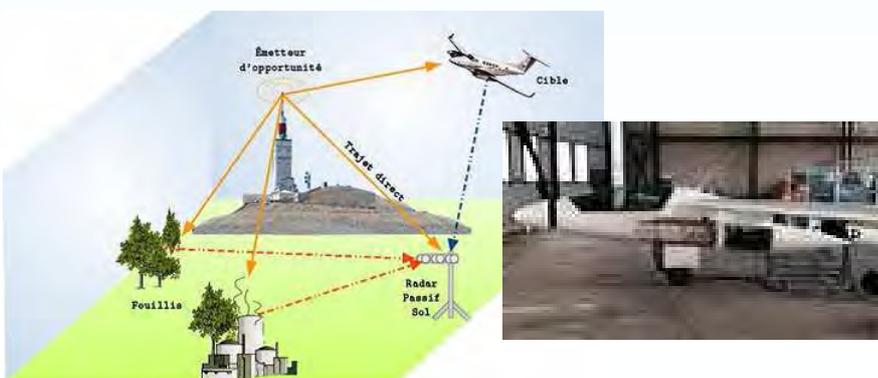
## Radar Passif Aéroporté : analyse de l'impact de la propagation sur le traitement des signaux DVB-T

### Résumé

L'accroissement constant des besoins notamment, de communications en termes de débit, de largeur de bande et de nombre d'utilisateurs va imposer une obligation de partage de la ressource fréquentielle entre les différents utilisateurs. Cette contrainte a été à l'origine de nombreux travaux en radar dit passif (Passive Coherent Location) dont l'objectif était d'exploiter les émetteurs civils de radio-télédiffusion terrestres existants comme source radar d'opportunité. Cet engouement a permis d'apporter à un niveau de maturité satisfaisant les systèmes passifs terrestres exploitant les émissions de type FM, DAB et DVB-T et de bénéficier ainsi d'avantages liés à ce concept tels que l'accès aux fréquences basses et une totale discrétion « radar ».

L'objectif de cette thèse est d'étendre ces avantages de portée basse altitude et de discrétion dans un contexte de récepteur mobile dont le mouvement induit de nouveaux défis en termes de traitement. De même que pour un radar classique, il est nécessaire de disposer d'une référence de signal émis. En passif, ce signal étant inconnu a priori, il convient de le restituer à partir du signal reçu. La modulation exploitée en communication numérique de type DVB-T n'étant pas robuste à l'effet Doppler caractéristique des réceptions mobiles, il devient indispensable d'adapter le traitement de restitution du signal émis en considérant un modèle d'évolution temporelle. De plus, le traitement radar passif impose de supprimer l'essentiel des composantes fortes du signal (trajet direct et fouillis) afin de permettre la détection de cibles d'intérêt. Dans un contexte de réception terrestre, l'ensemble des contributeurs à rejeter étant caractérisé par un effet Doppler nul, cette réjection peut être effectuée à partir d'une opération globale ayant un impact (négatif) limité sur les cibles. En contexte aéroporté, ces différents contributeurs de fouillis et de trajet direct sont étalés en Doppler et il devient alors beaucoup plus délicat de les éliminer efficacement tout en préservant au maximum la cible.

Pour mieux cerner ces différentes problématiques liées à la mobilité du récepteur, ce travail de thèse a débuté par un important volet expérimental avec la spécification et la réalisation d'un moyen de mesure embarqué. Les campagnes de mesures ensuite effectuées ont permis de spécifier les modèles d'évolutions des signaux reçus ainsi qu'un modèle d'étalement du fouillis avant d'être exploitées pour permettre l'évaluation des solutions envisagées.



*Les contributeurs en radar passif, le porteur utilisé, et exemple d'étalement du fouillis mesuré avec son modèle*

# Mieux modéliser et mesurer l'interaction entre un signal radar et la surface des océans pour améliorer l'identification des films d'hydrocarbures détectés

## Aymeric MAINVIS

Thèse soutenue le 5 décembre 2018

Ecole doctorale : ED 475 (MITT) - Mathématiques Informatique  
Télécommunications de Toulouse

### Titre de la thèse

**Modélisation et mesure de l'interaction d'une onde électromagnétique avec une surface océanique. Application à la détection et à la caractérisation radar de films d'hydrocarbures.**

### Encadrement

Département Electromagnétisme et Radar (DEMR)

Encadrant : Vincent Fabbro - ONERA

Directeurs de thèse : Henri-José Mametsa - ONERA  
Christophe Bourlier - IETR

### Financement

TOTAL & ONERA

### Défi scientifique

Electromagnétisme  
et radar

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



Université  
de Toulouse

Contact : [Vincent.Fabbro @ onera.fr](mailto:Vincent.Fabbro@onera.fr)

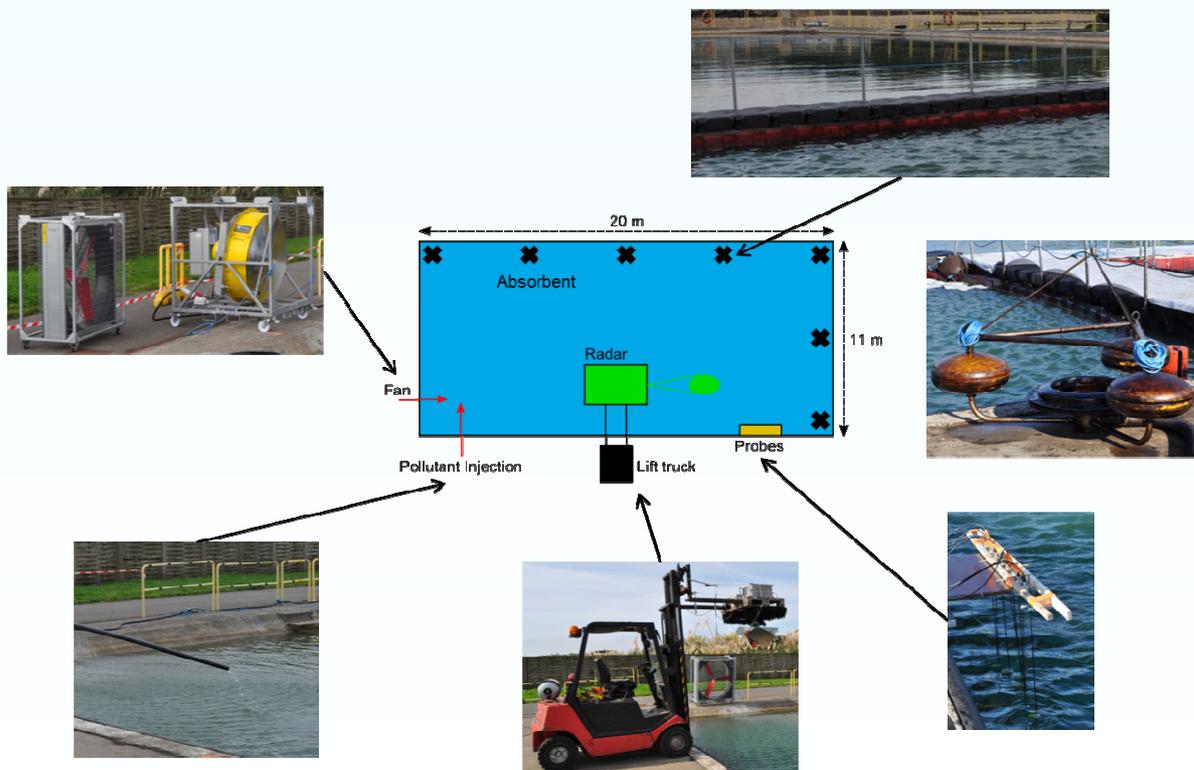
# Modélisation et mesure de l'interaction d'une onde électromagnétique avec une surface océanique.

## Application à la détection et à la caractérisation radar de films d'hydrocarbures.

### Résumé

La thèse s'est attachée à proposer deux méthodes, une méthode de détection d'un film surfacique (algues, phytoplancton, hydrocarbures etc...) sur une surface océanique, une seconde méthode pour caractériser un tel film. Ces deux méthodes utilisent la signature mesurée depuis un système d'imagerie radar. La problématique adressée dans le cadre de cette thèse est donc la modélisation et la mesure de l'interaction entre une onde électromagnétique et une surface océanique.

La modélisation se décline en deux étapes, la génération de l'environnement, c'est à dire la surface océanique contaminée par un film surfacique ou non, puis la modélisation de la diffusion électromagnétique de la scène. L'expérimentation (cf. figure) menée au CEDRE (Centre de Documentation, de Recherche et d'Expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux) à Brest, associée à la modélisation, a permis de montrer que la nature d'un film surfacique est identifiable à l'aide de signaux radar multifréquences et que le film surfacique est détectable à l'aide de la fonction de répartition du champ électromagnétique diffusé par la surface. Aussi, le simulateur développé permet de calculer le champ électromagnétique diffusé par une surface océanique, contaminée ou non, en considérant des surfaces de grande superficie ayant une résolution très fine.



*Illustration de la configuration expérimentale. Expérimentation menée au CEDRE du 25 au 29 septembre et du 9 au 13 octobre 2017. Mise en œuvre d'un système radar associé à des sondes à houles mesurant la hauteur des vagues créées par un ventilateur*

## Mieux modéliser l'interaction entre le plasma et les parois dans un propulseur plasma pour optimiser son fonctionnement

### Distinctions

Best student poster award - SCTC (2018)

Prix de la meilleure communication orale ingénierie des plasmas Journée annuelle de l'ED GEET (2018)

### Marc VILLEMANT

Thèse soutenue le 12 décembre 2018

Ecole doctorale : ED 323 (GEET) - Génie Electrique, Electronique, Télécommunications - Toulouse

### Titre de la thèse

**Modélisation et caractérisation expérimentale de l'influence de l'émission électronique sur le fonctionnement des propulseurs à courant de Hall**

### Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrants : Mohamed Belhaj & Christophe Inguibert - ONERA

Directeurs de thèse : Laurent Garrigues - LAPLACE  
Pierre Sarrailh - ONERA

### Financement

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) & ONERA

### Défi scientifique

Capteurs et environnement spatial

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)

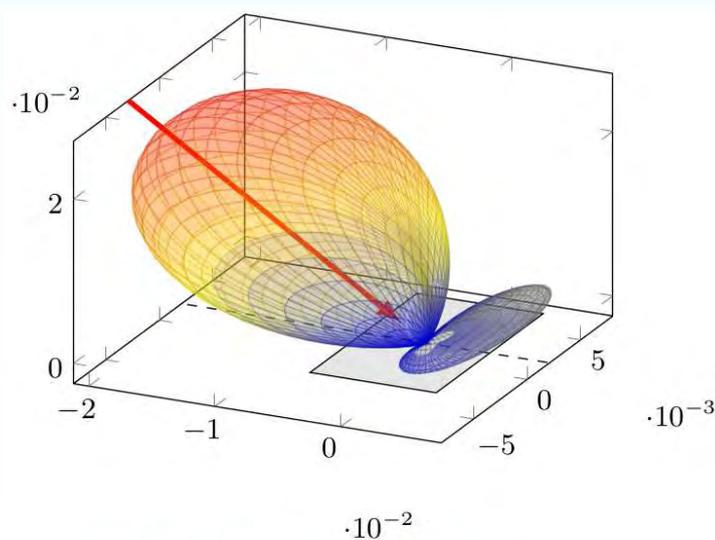


Université de Toulouse

Contact : Pierre.Sarrailh @ onera.fr

## Résumé

L'interaction entre le plasma et les parois dans les moteurs à courant de Hall est aujourd'hui un important sujet de recherche pour la communauté scientifique de la physique des plasmas et pour l'industrie spatiale. Jusqu'à peu, l'interaction entre le plasma et les parois du propulseur a été considérée de façon simple dans les modèles, bien que nous sachions expérimentalement que le type de paroi utilisée change le fonctionnement du propulseur. En particulier, le phénomène d'émission électronique (i.e. l'émission d'électrons par les parois sous l'impact d'un faisceau incident d'électrons) qui, jusqu'à présent, a été considéré de manière simpliste dans les modélisations, pourrait jouer un rôle déterminant dans le transport électronique. Afin de mettre en évidence l'influence de l'émission électronique sur le comportement global du plasma de propulseur à courant de Hall, un modèle détaillé d'émission électronique, qui s'appuie sur une étude bibliographique approfondie, a été réalisé dans un premier temps. Dans un second temps, ce modèle a été validé par comparaison à des données issues de la littérature et à des données expérimentales réalisées au cours de la thèse sur des matériaux caractéristiques des parois de propulseur à courant de Hall. Dans une troisième et dernière partie, ce modèle d'émission électronique a été introduit dans une simulation particulière de plasma de propulseur afin d'évaluer son influence sur les caractéristiques globales du plasma. Cette thèse a permis de mettre en évidence une influence non négligeable de l'émission électronique sur le comportement du plasma de propulseur. En particulier, des propriétés de l'émission électronique qui n'avaient été considérées que de manière simplifiée jusqu'à présent, telles que la distribution angulaire et la distribution en énergie des électrons émis, ont une influence majeure sur le plasma du propulseur.



→ : Faisceau incident d'électrons

*Modélisation de la distribution angulaire des électrons rétrodiffusés  
élastiques pour un angle d'incidence de 45°*

# Simuler l'influence du plasma ionosphérique sur le satellite TARANIS pour améliorer la précision de mesure des instruments embarqués

## Oriol JORBA-FERRO

Thèse soutenue le 17 décembre 2018

Ecole doctorale : ED 323 (GEET) - Génie Electrique, Electronique, Télécommunications - Toulouse

### Titre de la thèse

**Etude de l'influence de la propreté électrostatique du satellite sur les mesures du champ électrique basse fréquence de TARANIS**

### Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrant : Sébastien Hess - ONERA

Directrice de thèse : Elena Seran - LATMOS

### Financement

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) & ONERA

### Défi scientifique

Capteurs et environnement spatial

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



Université de Toulouse

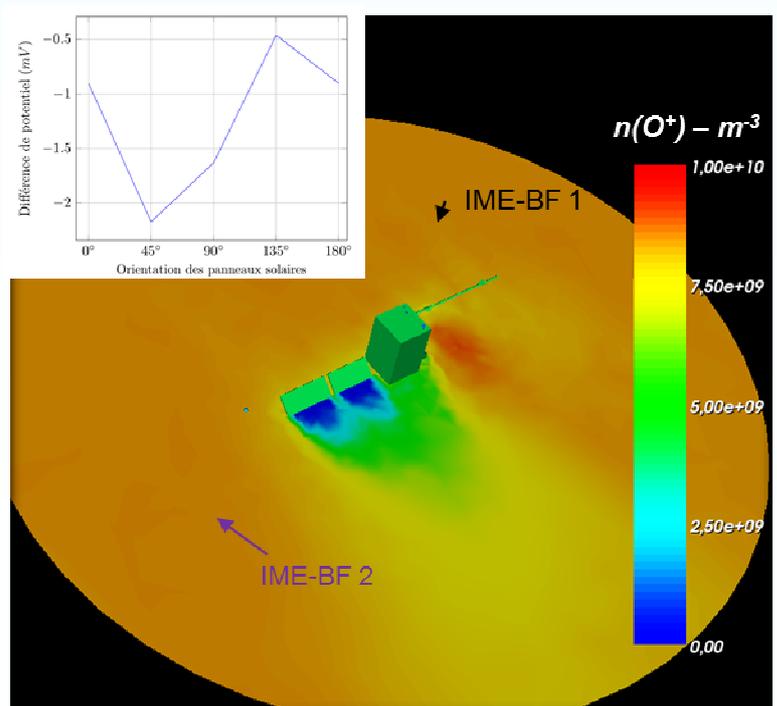
Contact : [Sebastien.Hess @ onera.fr](mailto:Sebastien.Hess@onera.fr)

## Résumé

Les missions spatiales scientifiques embarquent des instruments très performants et précis pouvant être affectés par l'interaction du satellite avec son environnement plasma, menant le satellite et ses divers constituants à se charger électriquement. Le satellite TARANIS du CNES embarquera en 2020 des instruments qui mesureront des phénomènes encore méconnus de la haute atmosphère dont la signature électromagnétique à l'orbite de TARANIS (700km) est du même ordre de grandeur que les perturbations des mesures dues à la charge du satellite.

Cette thèse a eu pour objectif de caractériser ces perturbations instrumentales au travers de la simulation numérique de la charge de TARANIS. La précision attendue sur les mesures est telle que les algorithmes habituellement utilisés auraient demandé des années de calcul pour obtenir un résultat exploitable. De nouvelles méthodes numériques (couplages d'algorithmes particuliers, analytiques et de méthodes particulières perturbatives originales) ont été développées au cours de cette thèse. Cela a permis de réaliser des simulations précises du comportement en orbite de deux instruments particulièrement sensibles à la charge : IME-BF et la sonde ionique, deux instruments français conçus au LATMOS mesurant respectivement le champ électrique basse fréquence et les caractéristiques de l'environnement plasma. La réalisation et l'analyse de plusieurs centaines de simulations ont permis de définir des lois d'étalonnage pour ces instruments, en fonction de leur environnement, de la configuration du satellite (orientation des panneaux solaires) et des modes instrumentaux. Les travaux de cette thèse seront pérennisés au travers de la mise à disposition des méthodes développées dans le logiciel open-source SPIS, développé par l'ONERA, et de la création d'une base de donnée de simulations mise à disposition des équipes scientifiques de TARANIS.

*Les simulations de l'écoulement  
du plasma ionosphérique autour  
de TARANIS (image principale)  
ont permis de mettre en évi-  
dence la variation du biais de  
mesure du champ électrique en  
fonction de l'orientation des  
panneaux solaires (encart)*



# Modéliser l'effet combiné du vieillissement et du rayonnement cosmique sur les composants électroniques embarqués pour mieux comprendre leur évolution en service

**Thomas ROUSSELIN**

Thèse soutenue le 19 décembre 2018

Ecole doctorale : ED 323 (GEET) - Génie Electrique, Electronique, Télécommunications - Toulouse

## Titre de la thèse

**Modélisation et interprétation des effets combinés vieillissement/SEE dans les technologies d'échelles nanométriques appliquées au domaine avionique**

## Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrants : Didier Régis & Marc Gatti - Thales Avionics

Directeur de thèse : Guillaume Hubert - ONERA

## Financement

CIFRE Thales Avionics

## Défi scientifique

Capteurs et environnement spatial

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



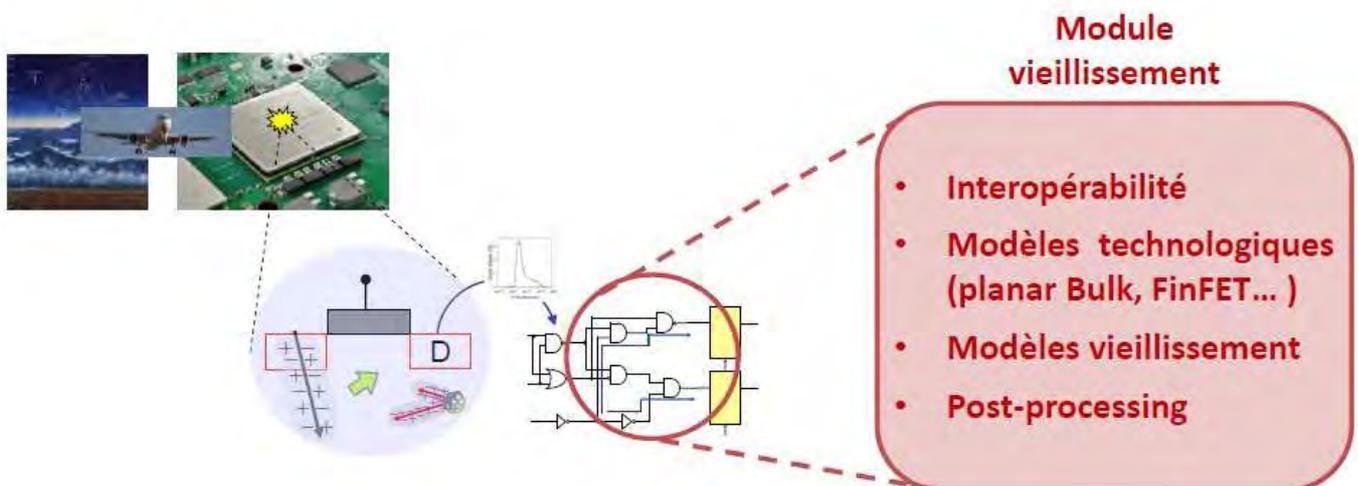
Université de Toulouse



**Contact :** [Guillaume.Hubert @ onera.fr](mailto:Guillaume.Hubert@onera.fr)

## Résumé

L'électronique embarquée dans l'aéronautique, couramment appelée avionique, est chargée d'effectuer des tâches critiques et doit présenter une fiabilité élevée. La technologie Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS) est couramment utilisée pour réaliser des composants critiques, comme des mémoires. Les composants CMOS sont susceptibles à deux types d'erreurs : les dégradations liées au vieillissement et les événements singuliers causés par les particules cosmiques. Or, les conditions d'utilisation de l'avionique renforcent la fréquence d'occurrence de ces deux types d'erreurs. Le vieillissement consiste, pour les composants CMOS, en la dégradation des interfaces métal/oxyde et oxyde/semi-conducteur au cours de leur durée de vie. Les composants avioniques subissent un vieillissement accéléré de par leur condition d'utilisation intensive. Le rayonnement cosmique est composé de particules énergétiques d'origine extrasolaire. Certaines de ces particules sont susceptibles d'interagir avec un composant électronique et d'y déposer de l'énergie, cela peut causer une erreur appelée événement singulier. L'avionique est particulièrement concernée par cette problématique car ces événements peuvent être critiques lorsqu'elle rencontre un flux élevé de particules. Auparavant, la sensibilité aux radiations était considérée comme indépendante du vieillissement. Seulement, les évolutions des technologies CMOS nous amènent à remettre en cause cette hypothèse. Afin d'étudier ce nouveau phénomène, une méthode de modélisation a été développée. Celle-ci couple la modélisation des événements singuliers à une modélisation électrique du circuit du vieillissement. Elle permet d'effectuer des simulations sur un circuit mémoire spécifique dans des environnements radiatifs variés. De ces simulations ressort l'influence de certains paramètres électriques, qui permettent de proposer une simulation opérationnelle appliquée à l'avionique.



*Prise en compte des effets de vieillissement dans la plateforme MUSCA SEP3  
au niveau de la description électrique*

## Modéliser l'effet des radiations sur les matériaux des satellites pour mieux prédire leur comportement électrique en environnement spatial

### Rémi PACAUD

Thèse soutenue le 13 décembre 2018

Ecole doctorale : ED 323 (GEET) - Génie Electrique, Electronique, Télécommunications - Toulouse

#### Titre de la thèse

**Etude et modélisation numérique de l'effet des radiations spatiales sur l'évolution des propriétés physiques et électriques des matériaux embarqués**

#### Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Directeurs de thèse : Thierry Paulmier & Pierre Sarailh - ONERA

#### Financement

Région Occitanie & ONERA

#### Défi scientifique

Capteurs et environnement spatial

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



Université de Toulouse



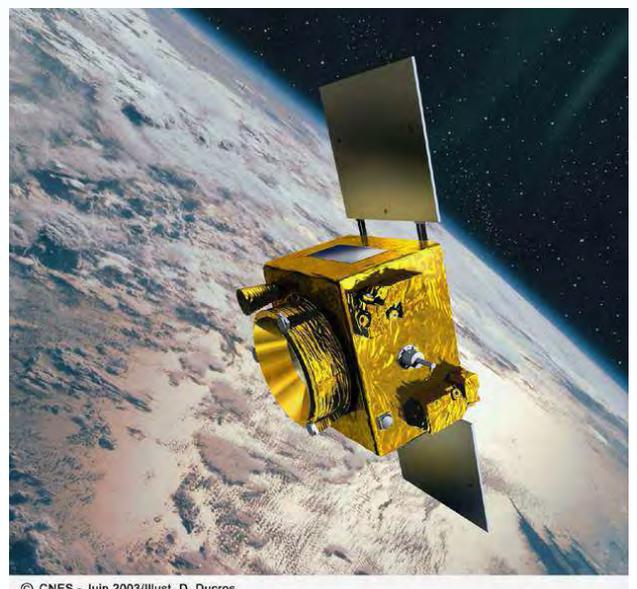
**Contact :** Thierry.Paulmier @ onera.fr

## Résumé

Les diélectriques, et plus particulièrement les polymères, sont fréquemment utilisés à bord des satellites pour leurs bonnes propriétés physiques, optiques et mécaniques. Ces matériaux, tels le Téflon® FEP ou le Kapton® HN, sont soumis à d'importants flux radiatifs, d'électrons et de protons, aux énergies variées. Ces particules s'implantent dans les matériaux et génèrent des potentiels électriques élevés. Les électrons de haute énergie participent à l'ionisation du matériau, à la modification de sa conductivité électrique et de l'écoulement des charges dans le matériau. On parle de conductivité induite sous irradiation. De par leurs différences de propriétés électriques, le transport de charges change d'un matériau à l'autre. Cela conduit à de fortes différences de potentiel entre matériaux (diélectrique-métal), pouvant générer des arcs électriques et des décharges électrostatiques. Ces décharges sont potentiellement dangereuses et peuvent détruire certains sous-systèmes embarqués dans les satellites ou générer des perturbations sur l'électronique du satellite. Une bonne maîtrise de ces risques passe par une bonne prédiction du comportement en charge des polymères sous irradiation spatiale. Ceci nécessite de comprendre, d'un point de vue microscopique, les interactions particules chargées – polymères (dépôt d'énergie, ionisation...) et les processus de transport de charges (piégeage, dé-piégeage, convection, recombinaison...). Ces phénomènes dépendent des propriétés électriques du matériau, de la température et du champ électrique. Ils régulent la conductivité du matériau et ses niveaux de potentiels.

Un modèle physique et numérique 1D, nommé THEMIS (Transport of Holes and Electrons Model under Irradiation in Space), a été développé et décrit ces différents mécanismes. Il prend en compte les profils de distribution de charges implantées et de dépôt de dose dans la profondeur du matériau. Il considère la diffusion-conduction des charges dans le volume du matériau et prend en compte l'historique radiatif du matériau en calculant les densités de charges positives et négatives. THEMIS a été validé lors d'expériences dédiées à l'étude des effets de la charge de surface et de la charge interne sur les satellites. Les enceintes SIRENE et GEODUR de l'ONERA ont été utilisées pour réaliser ces irradiations. Une étape de validation plus poussée consiste à simuler le cas réaliste d'un satellite en vol, lors d'une mise en orbite, avec un agencement de plusieurs matériaux, soumis à des spectres changeants dans le temps. Les niveaux de potentiels des matériaux sont simulés par THEMIS et les risques de déclenchement de décharges étudiés.

*Vue d'artiste d'un satellite en orbite autour de la Terre évoluant dans les ceintures de radiation*



# Etudier de nouvelles technologies pour la miniaturisation de capteurs dans les systèmes embarqués

## Adrien PIOT

Thèse soutenue le 4 avril 2018

Ecole doctorale : ED 575 (OEBE) - Electrical, Optical, Bio-physics and Engineering - Paris-Saclay

### Titre de la thèse

Etude de la fabrication et de la transduction d'un microgyromètre piézoélectrique tri-axial en GaAs

### Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrant : Olivier Le Traon - ONERA

Directeur de thèse : Alain Bosseboeuf - C2N

### Financement

Délégation Générale de l'Armement (DGA) & ONERA

### Défi scientifique

Capteurs  
et environnement  
spatial

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)

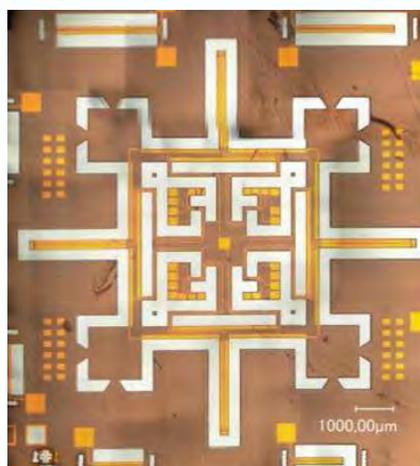


Contact : [Olivier.Le\\_Traon @ onera.fr](mailto:Olivier.Le_Traon@onera.fr)

## Résumé

Un microgyromètre 3 axes permet avec une structure unique de mesurer la vitesse de rotation d'un objet autour des trois axes de l'espace. Les microgyromètres 3 axes existants sont peu nombreux et typiquement résonants, fabriqués en technologie silicium par micro-usinage de surface, à transductions électrostatiques, et conçus pour des applications de fort volume où la taille et le coût sont des critères majeurs.

Dans cette thèse, nous avons étudié la transduction et le procédé de fabrication d'un gyromètre résonant 3 axes à actionnement et détection piézoélectriques, fabriqué par micro-usinage de volume dans du GaAs semi-isolant, et dont les performances sont potentiellement très supérieures à l'état de l'art tout en conservant une taille et un coût limité. Ce microgyromètre nécessite une transduction piézoélectrique 3D et un routage des connexions électriques qui ont été modélisés et optimisés pour réduire les couplages parasites entre les modes de détection. Un procédé original de fabrication collective du microgyromètre a été développé, modélisé et caractérisé. Ce procédé utilise notamment une gravure ionique réactive très profonde et traversante du GaAs dans un plasma  $\text{BCl}_3\text{-Cl}_2$ . Il est démontré pour la première fois qu'une gravure anisotrope traversante de tranchées de  $450\ \mu\text{m}$  de profondeur peut être réalisée grâce à une optimisation des paramètres de gravure et à l'utilisation d'un masque en résine. Un procédé original de dépôt et de délimitation d'électrodes Au/Cr sur les flancs verticaux d'une structure gravée par évaporation sous incidence oblique avec rotation du substrat et à travers un masque pochoir en film sec photosensible a aussi été étudié en détail. Une caractérisation fine de la structure cristalline, de la résistivité et des contraintes mécaniques avant, pendant et après recuit des couches Au/Cr poreuses évaporées sous incidence oblique a été menée. Des microgyromètres complets avec tout le système de transduction 3D ont été réalisés. Des premières caractérisations par vibrométrie optique hors du plan et dans le plan des gyromètres réalisés démontrent des résultats encourageants. Enfin, différentes voies d'amélioration de la conception et du procédé sont proposées.



*Microgyromètre résonant 3 axes à actionnement et détection piézoélectriques*

# Etudier les flux de particules autour de Jupiter pour mieux prédire l'environnement rencontré par les missions d'exploration

## Quentin NÉNON

Thèse soutenue le 12 septembre 2018

Ecole doctorale : ED 173 (SDU2E) - Science de l'Univers,  
de l'Environnement et de l'Espace - Toulouse

### Titre de la thèse

**Etude et modélisation des ceintures de radiations de Jupiter**

### Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Directrice de thèse : Angelica Sicard - ONERA

### Financement

ONERA

### Défi scientifique

Capteurs  
et environnement  
spatial

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



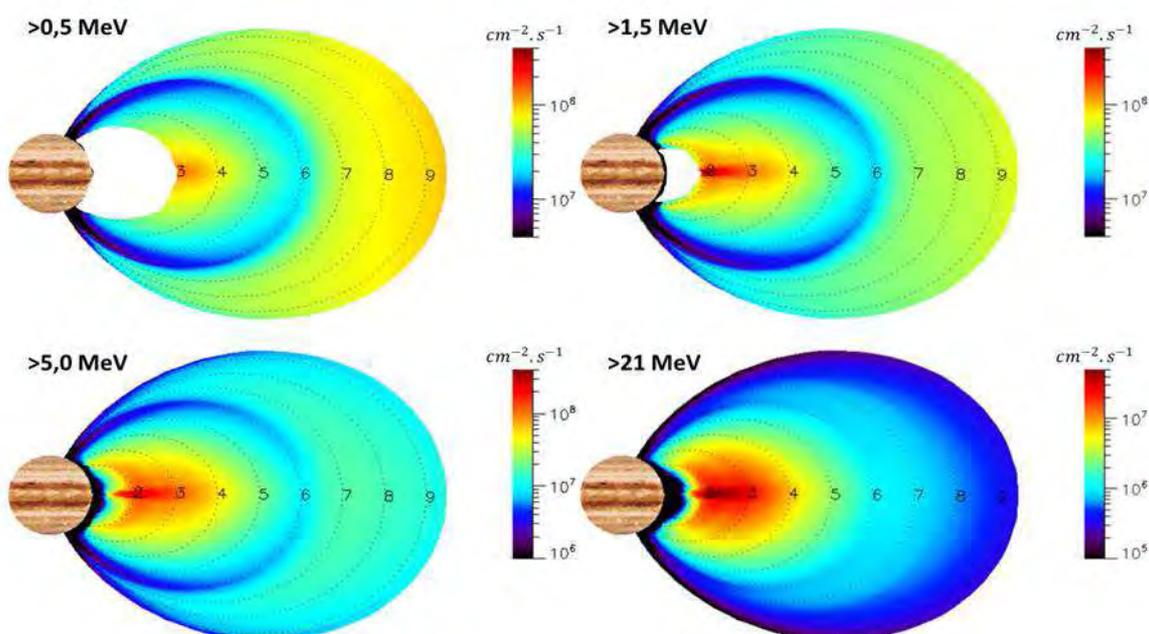
Université  
de Toulouse



**Contact :** [Angelica.Sicard @ onera.fr](mailto:Angelica.Sicard@onera.fr)

## Résumé

Les ceintures de radiation de la planète géante Jupiter sont constituées d'électrons, de protons et d'ions lourds de très haute énergie. Ces particules chargées représentent un risque majeur pour les satellites artificiels cherchant à explorer Jupiter. Dans le même temps, comprendre l'origine et la répartition de ces particules est une problématique fondamentale du domaine de la Physique de l'Espace. Le modèle physique Salammbô de l'ONERA répond aux deux enjeux précédents. Il a été développé pour le cas de la planète géante au cours de deux thèses successives qui se sont terminées en 2004 [Santos-Costa, 2001 ; Sicard, 2004]. Les travaux précédents ont permis de mettre en place un modèle d'électron qui s'étend de l'atmosphère de Jupiter jusqu'à l'orbite d'Europe (9 R<sub>J</sub>) et un modèle de proton jusqu'à l'orbite de la lune volcanique Io (6 R<sub>J</sub>). Depuis cette date, la mission américaine Galileo, qui fut en orbite autour de Jupiter jusqu'en 2003, a livré de nombreuses informations sur les ceintures de radiation et sur l'environnement qui influence celles-ci. Cette thèse revisite le modèle électron et étend le modèle proton jusqu'à l'orbite d'Europe. Cela permet, en particulier, de montrer que les ondes électromagnétiques se propageant entre les orbites des lunes Io et Europe induisent des pertes significatives de particules, celles-ci étant précipitées dans l'atmosphère de Jupiter. Les modèles proposés au cours de cette thèse sont également mieux à même de prédire l'environnement extrême et limitant des ceintures de radiation que les précédents travaux.



*Coupes méridiennes des flux omnidirectionnels intégrés en énergie prédits par le modèle Salammbô-électron. Les zones blanches près de la planète à 0,5 MeV et 1 MeV rappellent que Salammbô ne peut pas prédire ces flux pour respectivement  $L < 3$  et  $L < 1.8$*

## Développer des modèles d'Intelligence artificielle pour prévoir l'impact de l'activité solaire sur l'environnement magnétique terrestre

### Distinction

Prix jeune chercheur  
CNES (2017)

### Marina GRUET

Thèse soutenue le 28 septembre 2018

Ecole doctorale : ED 173 (SDU2E) - Science de l'Univers,  
de l'Environnement et de l'Espace - Toulouse

### Titre de la thèse

**Intelligence artificielle et prévision de l'impact de l'activité solaire sur l'environnement magnétique terrestre**

### Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrants : Nathalie Bartoli & Sandrine Rochel - ONERA  
Denis Standarovski - CNES

Directrice de thèse : Angelica Sicard - ONERA

### Financement

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) & ONERA

### Défi scientifique

Capteurs  
et environnement  
spatial

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



Université  
de Toulouse

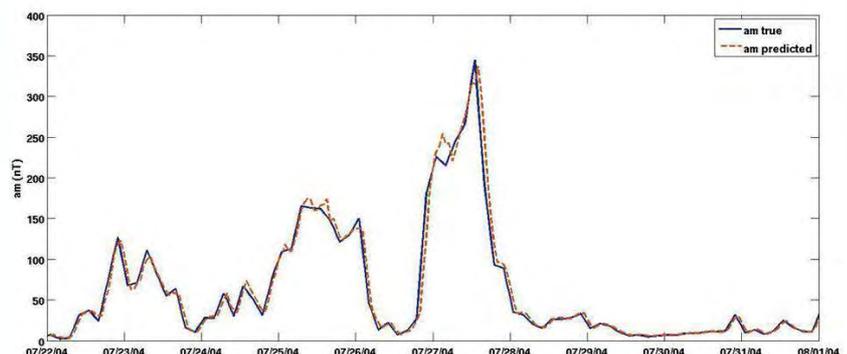


**Contact :** [Angelica.Sicard @ onera.fr](mailto:Angelica.Sicard@onera.fr)

## Résumé

Dans cette thèse, nous présentons des modèles appartenant au domaine de l'intelligence artificielle afin de prédire l'indice magnétique global  $am$  à partir des paramètres du vent solaire. Ceci est fait dans l'optique de fournir des modèles opérationnels basés sur les données enregistrées par le satellite ACE situé au point de Lagrange L1. L'indice  $am$  ne possède pas à l'heure actuelle de modèles de prédiction. Pour prédire cet indice, nous avons fait appel à des modèles non-linéaires que sont les réseaux de neurones, permettant de modéliser le comportement complexe et non-linéaire de la magnétosphère terrestre. Nous avons dans un premier temps travaillé sur le développement et l'optimisation des modèles de réseaux classiques comme le perceptron multi-couche. Ces modèles ont fait leurs preuves en météorologie de l'espace pour prédire aussi bien des indices magnétiques spécifiques à des systèmes de courant comme l'indice  $Dst$ , caractéristique du courant annulaire, que des indices globaux comme l'indice  $Kp$ . Nous avons en particulier étudié un réseau temporel appelé Time Delay Neural Network (TDNN) et évalué sa capacité à prédire l'indice magnétique  $am$  à une heure, uniquement à partir des paramètres du vent solaire. Nous avons analysé la sensibilité des performances des réseaux de neurones en considérant d'une part les données fournies par la base OMNI au niveau de l'onde de choc, et d'autre part des données obtenues par le satellite ACE en L1. Après avoir étudié la capacité de ces réseaux à prédire  $am$ , nous avons développé un réseau de neurones encore jamais utilisé en météorologie de l'espace, le réseau Long Short Term Memory ou LSTM. Ce réseau possède une mémoire à court et à long terme, et comme le TDNN, fournit des prédictions de l'indice  $am$  uniquement à partir des paramètres du vent solaire. Nous l'avons optimisé afin de modéliser au mieux le comportement de la magnétosphère et avons ainsi obtenu de meilleures performances de prédiction de l'indice  $am$  par rapport à celles obtenues avec le TDNN. Nous avons souhaité continuer le développement et l'optimisation du LSTM en travaillant sur l'utilisation de fonctions de couplage en entrée de ce réseau de neurones, et sur le développement de réseaux multi-sorties pour prédire les indices magnétiques  $am$  sectoriels ou spécifiques à chaque secteur Temps Magnétique Local. Enfin, nous avons développé une nouvelle technique combinant réseau LSTM et processus gaussiens, afin de fournir une prédiction probabiliste jusqu'à six heures des indices magnétiques  $Dst$  et  $am$ . Cette méthode a été dans un premier temps développée pour l'indice magnétique  $Dst$  afin de pouvoir comparer les performances du modèle hybride à des modèles de référence, puis appliquée à l'indice magnétique  $am$ .

*Prédiction de l'indice magnétique  $am$  pendant l'événement de juillet 2004 avec l'équation de [Wang et al., 2014] à partir des données ACE en utilisant le réseau LSTM. Les données réelles sont en bleu, les données prédites en orange pointillé*





# Simulation Numérique Avancée

## Défi 1 - Optimisation pluridisciplinaire et évaluation

**MERCIER Quentin** - Optimisation multicritère sous incertitudes : un algorithme de descente stochastique ..... 140

## Défi 5 - CFD 2030

**PETROPOULOS Ilias** - Study of high-order vorticity confinement schemes ..... 142

**HORSTMANN Tobias** - Méthodes numériques hybrides basées sur une approche Boltzmann sur réseau en vue de l'application aux maillages non-uniformes..... 144

## Défi 11 - Perception artificielle multimodale

**BONNIER Florent** - Algorithmes parallèles pour le suivi de particules..... 146

**Distinction**

Prix doctorant ONERA  
(2018)

**Quentin MERCIER**

Thèse soutenue le 10 octobre 2018

Ecole doctorale : ED 364 (EDSFA) - Sciences Fondamentales et Appliquées  
- Sophia Antipolis

**Titre de la thèse**

**Optimisation multicritère sous incertitudes :  
un algorithme de descente stochastique**

**Encadrement**

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Directeurs de thèse : Jean-Antoine Désidéri - INRIA  
Fabrice Poirion - ONERA

**Financement**

ONERA

**Défi scientifique**

Optimisation  
pluridisciplinaire  
et évaluation

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)

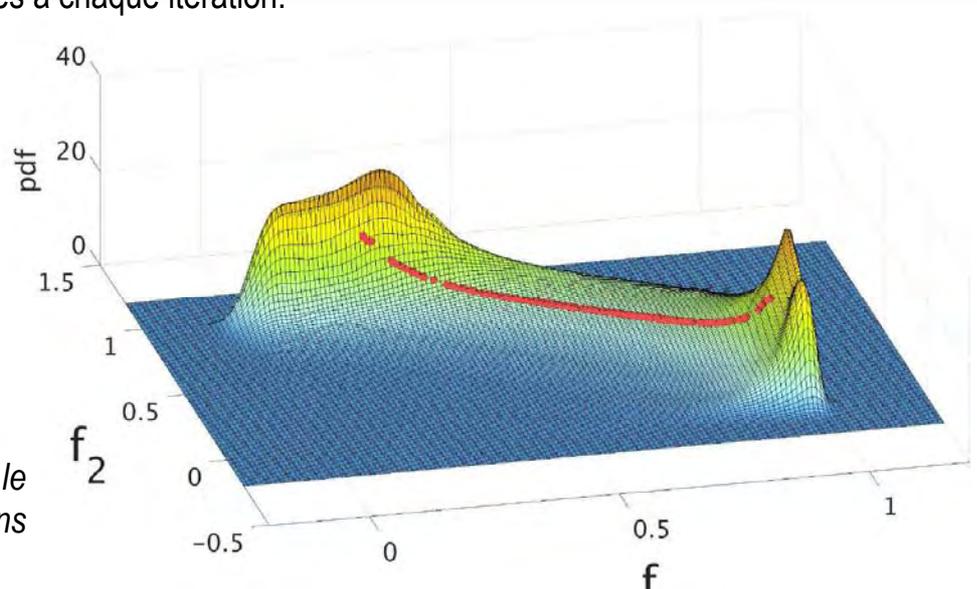


**Contact : Fabrice.Poirion @ onera.fr**

## Optimisation multicritère sous incertitudes : un algorithme de descente stochastique

### Résumé

Cette thèse s'intéresse à l'optimisation multiobjectif sans contrainte lorsque les objectifs sont exprimés comme des espérances de fonctions aléatoires. L'aléa est modélisé par l'intermédiaire de variables aléatoires et on considère qu'il n'impacte pas les variables d'optimisation du problème. La thèse consiste à proposer un algorithme de descente qui permet l'obtention des solutions de Pareto du problème d'optimisation ainsi écrit. En utilisant des résultats d'analyse convexe, il est possible de construire un vecteur de descente commun à l'ensemble des objectifs du problème d'optimisation pour un tirage des variables aléatoires donné. Une suite itérative consistant à descendre dans la direction du vecteur de descente commun calculé au point courant et pour un tirage aléatoire unique et indépendant des variables aléatoires est alors construite. De cette manière, l'estimation coûteuse des espérances à chaque étape du processus d'optimisation n'est pas nécessaire. Il est possible de prouver les convergences en norme L2 et presque sûre de cette suite vers les solutions de Pareto du problème d'optimisation en espérance et d'obtenir un résultat de vitesse de convergence lorsque la suite de pas de descente est bien choisie. Après avoir proposé diverses méthodes numériques d'amélioration de l'algorithme, un ensemble d'essais numériques est mené et les résultats de l'algorithme proposé sont comparés à ceux obtenus par deux autres algorithmes classiques de la littérature. Les résultats obtenus sont comparés par l'intermédiaire de mesures adaptées à l'optimisation multiobjectif et sont analysés par le biais de profils de performance. Des méthodes sont alors proposées pour prendre en compte deux types de contrainte et sont illustrées sur des problèmes d'optimisation de structures mécaniques. Une première méthode consiste à pénaliser les objectifs par l'intermédiaire de fonctions de pénalisation exacte lorsque la contrainte est décrite par une fonction déterministe. Pour les contraintes probabilistes, on propose de remplacer les contraintes par des objectifs supplémentaires, ces contraintes probabilistes étant alors reformulées comme des espérances de fonctions indicatrices, le problème étant résolu à l'aide de l'algorithme proposé dans la thèse sans avoir à estimer les probabilités des contraintes à chaque itération.



*Impact des incertitudes sur le front de Pareto des solutions*

**Distinction**

Young CFD  
Investigator Award -  
9th International  
Conference on  
Computational Fluid  
Dynamics (2016)

**Ilias PETROPOULOS**

Thèse soutenue le 22 janvier 2018  
Ecole doctorale : ED 432 (SMI) - Sciences des métiers de l'ingénieur -  
ENSAM ParisTech

**Titre de la thèse**

**Study of high-order vorticity confinement schemes**

**Encadrement**

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Directeurs de thèse : Paola Cinnella - ENSAM ParisTech  
Michel Costes - ONERA

**Financement**

Délégation Générale de l'Armement (DGA) & ONERA

**Défi scientifique**

CFD 2030

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)

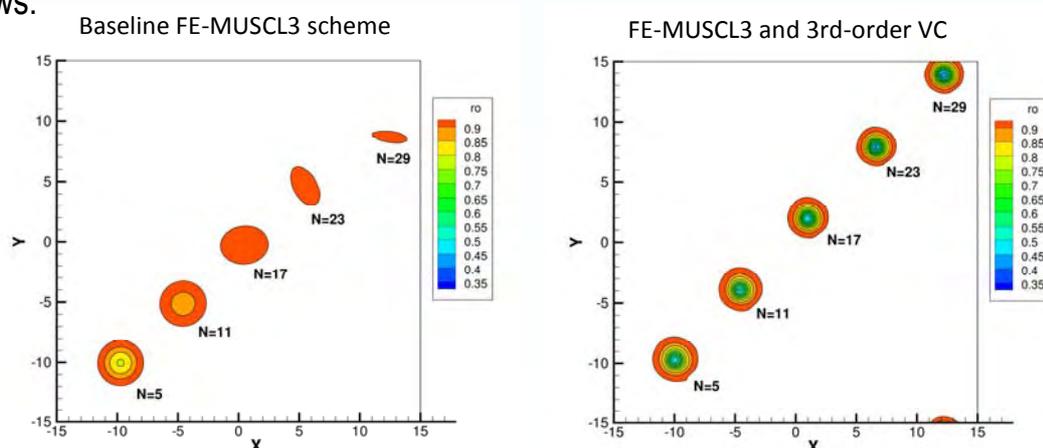


**Contact : Michel.Costes @ onera.fr**

## Study of high-order vorticity confinement schemes

## Résumé

Vortices are flow structures of primary interest in a wide range of fluid dynamics applications including wakes, fluid-structure interaction, flow separation and turbulence. Albeit their importance, standard Computational Fluid Dynamics (CFD) methods very often fail to provide an accurate representation of vortices. This is primarily related to the schemes' numerical dissipation which, if inadequately tuned for the calculation of vortical flows, results in the artificial spreading and diffusion of vortices in numerical simulations. Among other approaches, the Vorticity Confinement (VC) method of J. Steinhoff allows balancing the baseline dissipation within vortices by introducing non-linear anti-dissipation in the discretization of the flow equations, but remains at most first-order accurate. At the same time, remarkable progress has recently been made on the development of high-order numerical methods. These allow reducing the problem of excess dissipation, but the diffusion of vortices remains important for many applications. The present study aims at developing high-order extensions of the VC method to reduce the excess dissipation of vortices, while preserving the accuracy of high-order methods. First, the schemes are analyzed in the case of the linear transport equation, based on time-space coupled and uncoupled formulations. A spectral analysis of nonlinear schemes with VC is performed analytically and numerically, due to their nonlinear character. These schemes exhibit improved dispersive and dissipative properties compared to their linear counterparts at all orders of accuracy. In a second step, third- and fifth-order accurate VC schemes are developed for the compressible Navier-Stokes equations. These remain conservative, rotationally invariant and independent of the baseline scheme, as the original VC2 formulation. Numerical tests validate the increased order of accuracy and the capability of high-order VC extensions to balance dissipation within vortices. Finally, schemes with VC are applied to the calculation of turbulent flows, in an implicit Large Eddy Simulation (ILES) approach. In these applications, numerical schemes with VC exhibit improved resolvability compared to their baseline linear version, while they are capable of producing consistent results even in complex vortical flows.



*Iso-density snapshots during the diagonal vortex advection computed with the 3rd-order FE-MUSCL scheme with and without VC on the 100x100 mesh. The approximate number of completed passages at each snapshot is indicated next to the corresponding contour*

# Développer de nouvelles méthodes numériques pour améliorer l'exploitation des simulations à finalités aéroacoustiques

**Tobias HORSTMANN**

Thèse soutenue le 12 octobre 2018

Ecole doctorale : ED 162 (MEGA) - Mécanique, Energétique, Génie civil,  
Acoustique - Lyon

Titre de la thèse

**Méthodes numériques hybrides basées sur  
une approche Boltzmann sur réseau en vue  
de l'application aux maillages non-uniformes**

Encadrement

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Encadrants : Daniel-Ciprian Mincu & Thomas Le Garrec - ONERA

Directeur de thèse : Emmanuel Lévêque - Centrale Lyon

Financement

Banque Publique d'Investissement (BPI France) - convention CLIMB  
(Computational methods with Intensive Multiphysics Boltzmann solver)

Défi scientifique

CFD 2030

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)

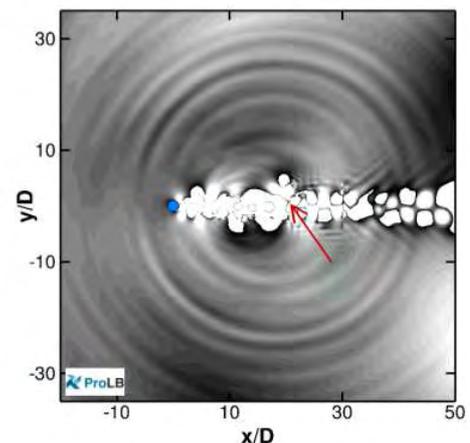
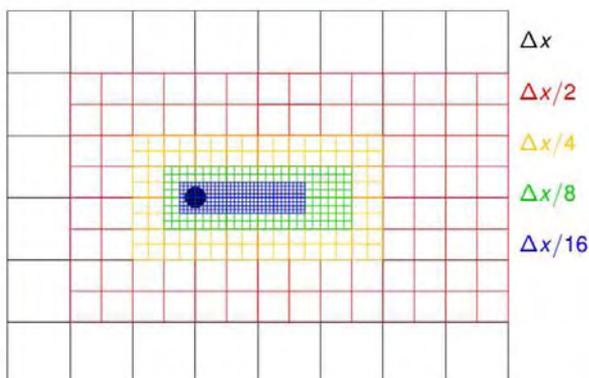


Contact : [Thomas.Le\\_Garrec @ onera.fr](mailto:Thomas.Le_Garrec@onera.fr)

## Résumé

Malgré l'efficacité informatique et la faible dissipation numérique de la méthode de Boltzmann sur réseau (LBM) classique reposant sur un algorithme de *propagation-collision*, cette méthode est limitée aux maillages cartésiens uniformes. L'adaptation de l'étape de discrétisation à différentes échelles de la mécanique des fluides est généralement réalisée par des schémas LBM à échelles multiples, dans lesquels le domaine est décomposé en sous-domaines uniformes avec différentes résolutions spatiales-temporelles. Pour des raisons de connectivité, la résolution spatiale des sous-domaines adjacents est un multiple de deux, introduisant un changement abrupt des échelles spatio-temporelles aux interfaces. Cette spécificité peut déclencher des instabilités numériques et produire des sources de bruit parasite rendant l'exploitation de simulations aéroacoustiques impossible.

Dans la présente thèse, le sujet du raffinement de maillage en LBM classique est d'abord abordé en soulignant les défis et les sources potentielles d'erreur. Puis, une méthode de Boltzmann sur réseau hybride (HLBM) est proposée, combinant l'algorithme de *propagation-collision* avec un algorithme de flux au sens eulérien obtenu à partir d'une discrétisation en volumes finis des équations de Boltzmann à vitesse discrète. La HLBM combine les avantages de la LBM classique et une flexibilité géométrique accrue, permettant d'utiliser des maillages cartésiens non-uniformes. La validation de la HLBM sur des cas tests 2D à finalité aéroacoustique montre qu'une telle approche constitue une alternative viable à la LBM à échelles multiples, permettant de réaliser des raffinements locaux en H. Enfin, un couplage original, basé sur l'algorithme de *propagation-collision* et une formulation isotherme des équations de Navier-Stokes en volumes finis, est proposé. Ce couplage permet de réduire le nombre d'équations du solveur volumes finis tout en augmentant sa stabilité numérique (augmentation du nombre de CFL). Les deux solveurs sont couplés dans l'espace des moments, où la solution macroscopique du solveur Navier-Stokes est injectée dans l'algorithme de *propagation-collision* à l'aide de la collision des moments centrés. La faisabilité d'un tel couplage est démontrée sur des cas tests 2D, et les résultats obtenus sont comparés avec la HLBM.



Gauche : domaine de calcul autour d'un cylindre 2D.

Droite : fluctuations de pression  $-5 \text{ Pa} < p < 5 \text{ Pa}$  autour d'un cylindre 2D.

L'origine de la génération de bruits parasites à l'interface de raffinement est indiquée par la flèche

# Développer de nouveaux algorithmes de suivi de particules pour en réduire le temps de calcul

## Florent BONNIER

Thèse soutenue le 12 décembre 2018

Ecole doctorale : ED 539 (STV) - Sciences et Technologies de Versailles

Titre de la thèse

**Algorithmes parallèles pour le suivi de particules**

### Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Directeurs de thèse : Nahid Emad - Université de Versailles Saint-Quentin  
Xavier Juvigny - ONERA

### Financement

ONERA

### Défi scientifique

Perception  
artificielle  
multimodale

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



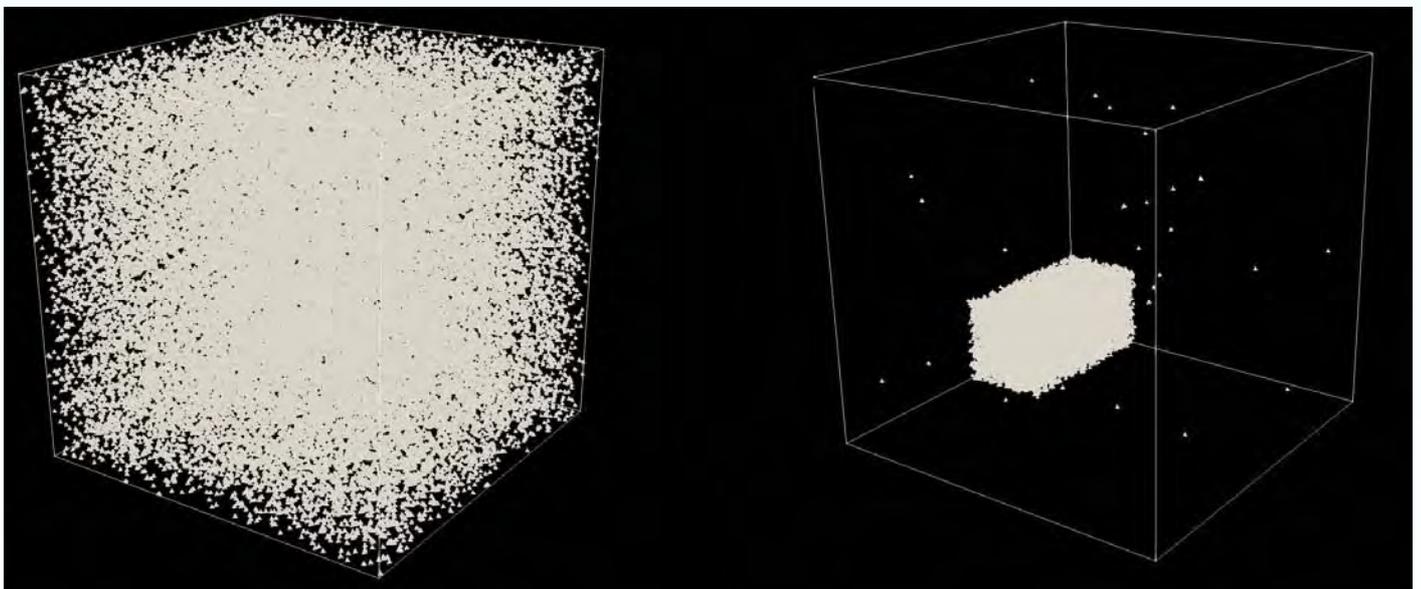
Contact : [Xavier.Juvigny @ onera.fr](mailto:Xavier.Juvigny@onera.fr)

## Résumé

Particle tracking is often used in the domain of fluid dynamics because it ables the reconstruction of long trajectories with high spatial and temporal accuracy. Thus, lots of applications in the industry related to gasparticles as in aeronautic engines, use the Euler-Lagrange method. The increase of the computation power of high massively parallel machines and the arrival of petaflop systems begin a new approach for simulations that were prohibited a decade ago.

The implementation of an efficient parallel code to keep high performances on a large number of processors is studied. This study particularly focuses on a good task-balancing on processes. As the targeted machine can be a set of very heterogeneous computing nodes, the final computation tool used to track particles must be as modular as possible in order to be called either in sequential and parallel modes. In this dissertation, a component-based parallel library for particle tracking is designed and the different algorithms of particule tracking are studied. We propose also special structures in the design of the library in order to make it interoperational.

The developed library is auto-tuned allowing to adapt itself for the exploitation of a large number of cores in shared and distributed memory and also accelerating the computation time while minimizing the memory occupancy.



*Static and localized distribution of particles comparison*



# Traitement de l'Information et Systèmes

## Défi 1 - Optimisation pluridisciplinaire et évaluation

- SCHMOLLGRUBER Peter** - Amélioration du processus de conception avion en prenant en compte les contraintes de certification et des simulations de mission complètes ..... 152
- MAS COLOMER Joan** - Similitude aéroélastique d'un démonstrateur en vol via l'optimisation multidisciplinaire ..... 154
- ROYNETTE Elliot** - Optimisation de la conception du design du harnais de commande des satellites ..... 156
- ROBINSON Elinirina** - Filtering and uncertainty propagation methods for model-based prognosis ..... 158
- CHABRIDON Vincent** - Analyse de sensibilité fiabiliste avec prise en compte d'incertitudes sur le modèle probabiliste ..... 160
- DA SILVA DE AGUIAR Raquel Stella** - Optimization-based design of structured LTI controllers for uncertain and infinite-dimensional systems ..... 162

## Défi 2 - Systèmes intelligents

- TRUONG Quang Huy** - Méthodes d'asservissement visuel pour l'appontage d'hélicoptères ..... 164
- BONALLI Riccardo** - Contrôle Optimal de Systèmes Aérospatiaux avec Contraintes sur le Contrôle et sur l'Etat et avec Retards ..... 166
- ALCALAY Guillaume** - Développement de capteurs virtuels pour l'estimation et la surveillance des paramètres de vol d'un avion ..... 168
- MERLINGE Nicolas** - State estimation and Trajectory planning using Box Particle Kernels ..... 170
- COHEN Raphaël** - Vérification formelle et validation des algorithmes d'optimisation convexe appliqués à la commande prédictive ..... 172
- GOURAUD Jonas** - Dynamique de la divagation attentionnelle dans des environnements automatisés et son influence sur les situations de sortie de boucle ..... 174
- SOMON Bertille** - Corrélats neuro-fonctionnels du phénomène de sortie de boucle: impacts sur le monitoring des performances ..... 176

<b>SOLATGES Thomas</b> - Modélisation, conception et commande de robots manipulateurs flexibles. Application au lancement et à la récupération de drones à voilure fixe depuis un navire faisant route .....	178
<b>DAVY Guillaume</b> - Génération de codes et d'annotations prouvables d'algorithmes de points intérieurs à destination de systèmes embarqués critiques.....	180
<b>RINCÉ Romain</b> - Reconnaissance de comportements sur flux de données bruités enrichie par des observations structurées.....	182
<b>BOCHE Adèle</b> - Méthodes indirectes d'adaptation et de prise de décision pour la sécurisation du vol des drones à voilure fixe .....	184

## Défi 11 - Perception artificielle multimodale

<b>AUDEBERT Nicolas</b> - Classification de données massives de télédétection.....	186
<b>BUCHER Maxime</b> - Apprentissage et exploitation de représentations sémantiques pour la classification et la recherche d'images .....	188
<b>BURNS Calum</b> - Super Résolution de texture pour la reconstruction 3D fine.....	190
<b>CARUSO David</b> - Amélioration des méthodes de navigation vision-inertiel par exploitation des perturbations magnétiques stationnaires de l'environnement.....	192



# Etendre le processus de conception avion avant-projet pour prendre en compte les contraintes de certifications et simuler les trajectoires régulées par l'ATM

**Peter SCHMOLLGRUBER**

Thèse soutenue le 7 décembre 2018

Ecole doctorale : ED 467 (AA) - Aéronautique Astronautique - Toulouse

## Titre de la thèse

**Amélioration du processus de conception avion  
en prenant en compte les contraintes de certification  
et des simulations de mission complètes**

## Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Directeurs de thèse : Yves Gourinat - ISAE-SUPAERO

Nathalie Bartoli - ONERA

## Financement

ONERA

## Défi scientifique

Optimisation  
pluridisciplinaire  
et évaluation

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



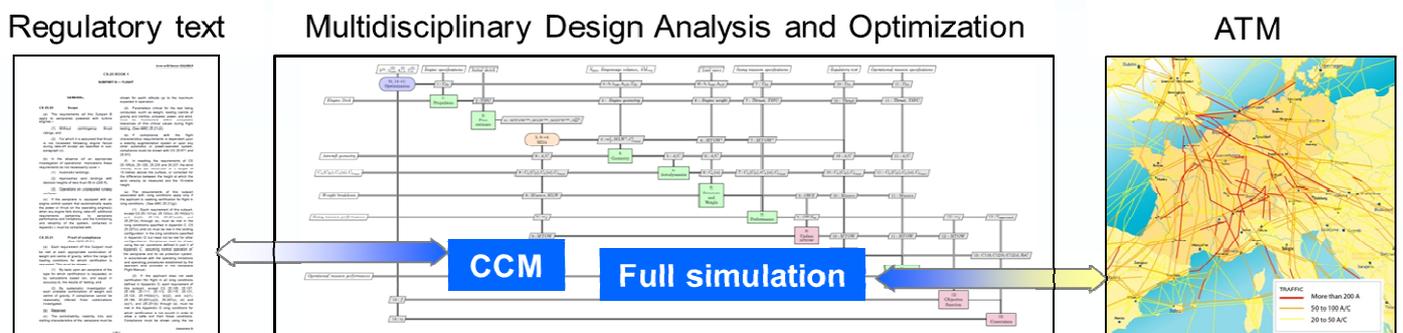
Contact : Peter.Schmollgruber @ onera.fr

# Amélioration du processus de conception avion en prenant en compte les contraintes de certification et des simulations de mission complètes

## Résumé

In the field of civil transport aircraft, environmental constraints set challenging goals in terms of fuel consumption for the next generations of airplanes. With the “tube and wing” configuration offering low expectations on further improvements, disruptive vehicle concepts including new technologies are investigated. However, little information on such architectures is available in the early phases of the design process. Thus, research in Aircraft Design aims at adding knowledge in the Multidisciplinary Design Analysis. This objective is currently achieved with different approaches: implementation of Multidisciplinary Design Optimization, addition of accuracy through high fidelity analyses, introduction of new disciplines or systems and uncertainty management. In a preliminary study, the optimization of transport aircraft featuring ground based assistance based on a monolithic architecture and advanced structural models has been completed. The subsequent analysis of the outcomes highlighted specific needs towards the design of a viable concept. This research proposes then to add knowledge through an expansion of the Multidisciplinary Design Analysis and Optimization with a new Certification Constraint Module and full simulation capabilities.

Following the development of the Certification Constraint Module (CCM), its capabilities have been used to perform four optimization problems associated to a conventional civil transport aircraft based on the ONERA / ISAE-SUPAERO sizing tool called FAST. Facilitated by the Graphical User Interface of the CCM, the setup time of these optimizations has been reduced and the results clearly confirmed the necessity to consider certification constraints very early in the design process in order to select the most promising concepts. To achieve full simulation capabilities, the multidisciplinary analysis within FAST had to be enhanced. First, the aerodynamics analysis tool has been modified so that necessary coefficients for a 6 Degrees-of-Freedom model could be generated. Second, a new module computing inertia properties has been added. Last, the open source simulator JSBSim has been used including different control laws for stability augmentation and automated navigation. The comparisons between flight trajectories obtained with FAST and real aircraft data recorded with ADS-B antenna confirmed the validity of the approach.



*Extension of the preliminary design process to take into account certification constraints  
and simulate ATM-regulated trajectories*

# Développer de nouvelles approches pour concevoir des démonstrateurs capables de reproduire le comportement en vol d'un avion

## Joan MAS COLOMER

Thèse soutenue le 20 décembre 2018

Ecole doctorale : ED 467 (AA) - Aéronautique Astronautique - Toulouse

### Titre de la thèse

**Similitude aéroélastique d'un démonstrateur en vol  
via l'optimisation multidisciplinaire**

### Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Directeurs de thèse : Joseph Morlier - ISAE-SUPAERO

Nathalie Bartoli - ONERA

### Financement

Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation  
(MESRI) & ONERA

### Défi scientifique

Optimisation  
pluridisciplinaire  
et évaluation

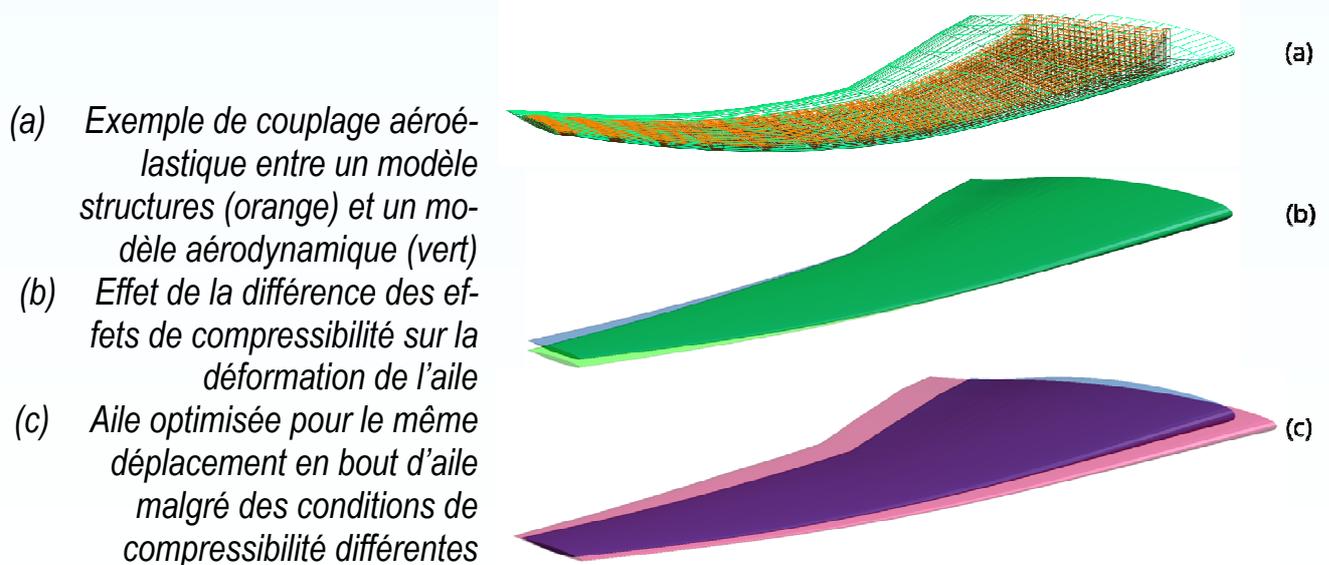
[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



Contact : [Nathalie.Bartoli @ onera.fr](mailto:Nathalie.Bartoli@onera.fr)

## Résumé

La recherche de configurations d'aéronefs plus efficaces mène les ingénieurs à explorer de nouveaux concepts tels que l'aile volante, l'aile haubanée ou l'aile jointive. Contrairement à la configuration classique aile-fuselage, qui est bien connue et étudiée, le comportement en vol de ces nouveaux concepts d'avions est peu connu. Dans ce contexte, la conception, la construction et les essais de modèles à l'échelle aéroélastiquement semblables se présentent comme un moyen peu risqué d'acquérir des connaissances expérimentales sur ces nouveaux concepts. Un modèle aéroélastiquement semblable présente le même comportement aéroélastique (mis à l'échelle) que l'avion de référence à échelle réelle. En général, le même comportement aéroélastique implique de reproduire les mêmes déplacements pour des conditions de flux d'air données, ainsi que les mêmes vitesses de flottement ou de divergence statique mises à l'échelle. Pour résoudre le problème de similitude, l'approche est divisée en trois parties. Dans le premier cas, nous traitons le problème de similitude aéroélastique lorsque les paramètres de similitude du flux aérodynamique peuvent être complètement préservés. Dans cette situation, le problème consiste simplement à reproduire la réponse dynamique modale de l'aile mise à l'échelle en optimisant les propriétés de la structure et de la masse. Dans la deuxième partie, nous nous concentrons sur l'optimisation du design de la forme de l'aile pour reproduire la réponse du flottement lorsque les paramètres de remise à l'échelle du flux aérodynamique ne peuvent pas être atteints. Finalement, nous abordons la similitude des déflexions aéroélastiques statiques, même lorsque la similitude de flux d'air ne peut pas être atteinte, grâce à l'optimisation simultanée des propriétés de la structure et de la forme aérodynamique.



## Optimiser la conception du câblage des satellites pour en réduire le coût

**Elliot ROYNETTE**

Thèse soutenue le 2 juillet 2018

Ecole doctorale : ED 309 (EDSYS) - Systèmes - Toulouse

Titre de la thèse

**Optimisation de la conception du design  
du harnais de commande des satellites**

**Encadrement**

Département Traitement de l'information et Systèmes (DTIS)

Encadrant : Bertrand Cabon - Airbus Defence and Space

Directeurs de thèse : Cédric Pralet & Vincent Vidal - ONERA

**Financement**

CIFRE Airbus Defence and Space

**Défi scientifique**

Optimisation  
pluridisciplinaire  
et évaluation

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)

**AIRBUS**

**anrt**  
association nationale  
recherche technologie



Université  
de Toulouse

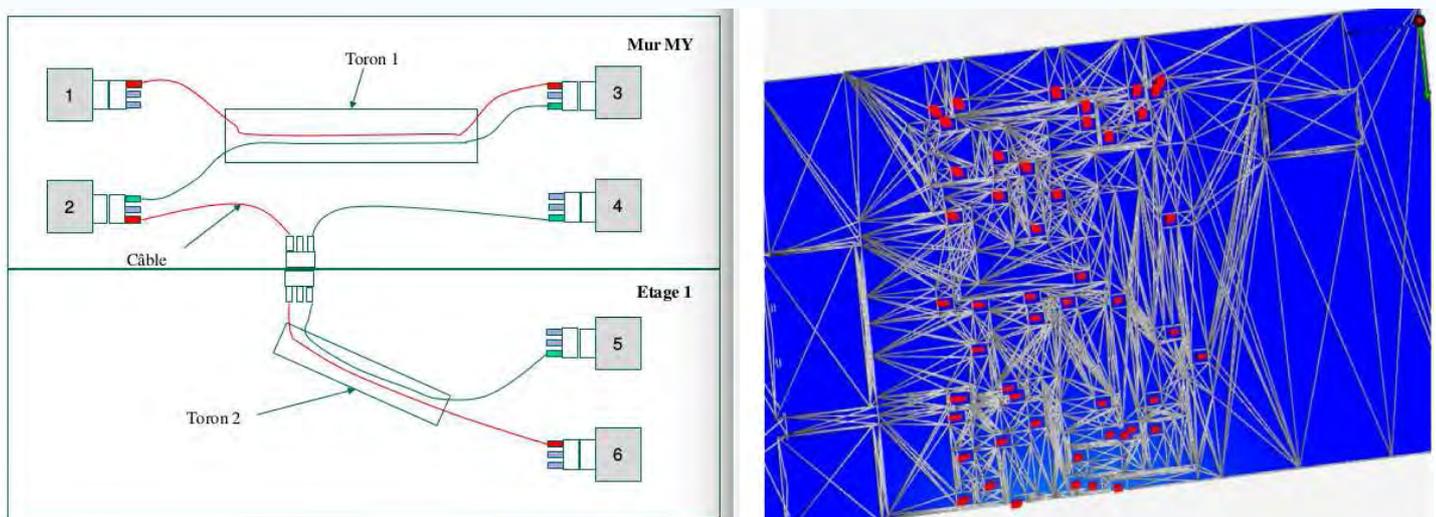
**ONERA**  
THE FRENCH AEROSPACE LAB

**Contact :** Cedric.Pralet @ onera.fr

## Optimisation de la conception du design du harnais de commande des satellites

### Résumé

L'industrie aérospatiale a pour but aujourd'hui de construire plus vite des satellites plus puissants et plus efficaces. Cela a comme impact une complexification des satellites et de leur conception, notamment concernant la conception du harnais électrique, qui regroupe l'ensemble des câbles présents à bord d'un satellite. C'est dans ce cadre que s'inscrit cette thèse. Plus précisément, nous abordons la problématique de l'optimisation de la conception du harnais électrique de commande, une des trois parties composant le harnais. Cette conception étant d'une grande complexité, nous avons choisi de la traiter en plusieurs étapes : la définition d'un réseau de routes utilisables pour faire passer des câbles électriques, la définition du routage de ces câbles pour parcourir un ensemble d'équipements à partir de contrôleurs, et le dimensionnement de ces câbles. Ces étapes sont traitées indépendamment en utilisant différentes méthodes comprenant des algorithmes de recherche locale, des algorithmes génétiques, des solveurs de problèmes linéaires en nombres entiers et des solveurs SAT et OPB. Sur cette base, nous étudions l'impact des différentes caractéristiques des problèmes et les différences entre les résultats des différents solveurs. Mises bout à bout, les solutions conçues lors de cette thèse permettent des économies de plusieurs centaines de milliers d'euros sur la conception des câblages de satellites.



*Conception du câblage d'un satellite de télécommunications : exemple simplifié de connexions à réaliser entre équipements du satellite (gauche) et vue de l'espace des connexions possibles sur un panneau du satellite pour un scénario plus complexe (droite)*

## Développer des méthodes de pronostic à base de modèles pour mieux estimer le temps restant avant défaillance d'un système

### Distinction

Young Author Award -  
IFAC Symposium on  
Fault Detection,  
Supervision and Safety  
for Technical Processes  
(2018)

### Elinirina ROBINSON

Thèse soutenue le 10 octobre 2018

Ecole doctorale : ED 130 (EDITE) - Informatique, télécommunications  
et électronique - Paris

### Titre de la thèse

**Filtering and uncertainty propagation methods  
for model-based prognosis**

### Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Encadrant : Julien Marzat - ONERA

Directeur de thèse : Tarek Raïssi - CNAM

### Financement

ONERA

### Défi scientifique

Optimisation  
pluridisciplinaire  
et évaluation

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)

le cnam



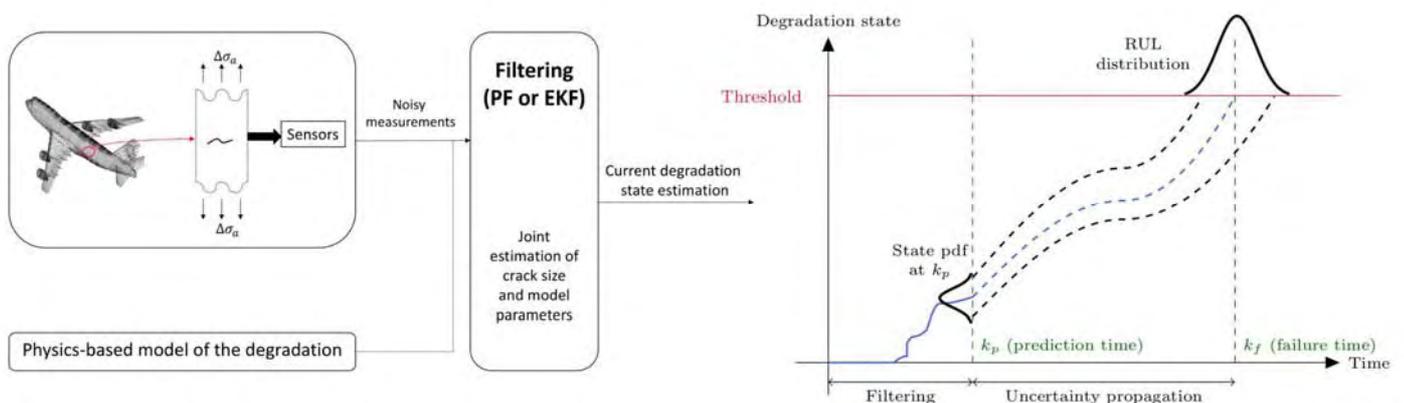
Contact : [Julien.Marzat@onera.fr](mailto:Julien.Marzat@onera.fr)

## Filtering and uncertainty propagation methods for model-based prognosis

### Résumé

Les travaux présentés dans ce mémoire concernent le développement de méthodes de pronostic à base de modèles. Le pronostic à base de modèles a pour but d'estimer le temps qu'il reste avant qu'un système ne soit défaillant, à partir d'un modèle physique de la dégradation du système. Ce temps de vie restant est appelé durée de vie résiduelle (RUL) du système. Le pronostic à base de modèle est composé de deux étapes principales : (i) estimation de l'état actuel de la dégradation et (ii) prédiction de l'état futur de la dégradation. La première étape, qui est une étape de filtrage, est réalisée à partir du modèle et des mesures disponibles. La seconde étape consiste à faire de la propagation d'incertitudes. Le principal enjeu du pronostic concerne la prise en compte des différentes sources d'incertitude pour obtenir une mesure de l'incertitude associée à la RUL prédite. Les principales sources d'incertitude sont les incertitudes de modèle, les incertitudes de mesures et les incertitudes liées aux futures conditions d'opération du système.

Afin de gérer ces incertitudes et les intégrer au pronostic, des méthodes probabilistes ainsi que des méthodes ensemblistes ont été développées dans cette thèse. Dans un premier temps, un filtre de Kalman étendu ainsi qu'un filtre particulaire sont appliqués au pronostic de propagation de fissure, en utilisant la loi de Paris et des données synthétiques. Puis, une méthode combinant un filtre particulaire et un algorithme de détection (algorithme des sommes cumulatives) a été développée puis appliquée au pronostic de propagation de fissure dans un matériau composite soumis à un chargement variable. Cette fois, en plus des incertitudes de modèle et de mesures, les incertitudes liées aux futures conditions d'opération du système ont aussi été considérées. De plus, des données réelles ont été utilisées. Ensuite, deux méthodes de pronostic sont développées dans un cadre ensembliste où les erreurs sont considérées comme étant bornées. Elles utilisent notamment des méthodes d'inversion ensembliste et un observateur par intervalles pour des systèmes linéaires à temps discret. Enfin, l'application d'une méthode issue du domaine de l'analyse de fiabilité des systèmes au pronostic à base de modèles est présentée. Il s'agit de la méthode Inverse First-Order Reliability Method (Inverse FORM). Pour chaque méthode développée, des métriques d'évaluation de performance sont calculées dans le but de comparer leur efficacité. Il s'agit de l'exactitude, la précision et l'opportunité.



*Etapes d'estimation et de propagation du pronostic à base de modèles*

## Développer de nouvelles méthodes pour améliorer la prévision de la fiabilité des systèmes aérospatiaux

### Vincent CHABRIDON

Thèse soutenue le 26 novembre 2018

Ecole doctorale : ED 070 (SPI) - Sciences pour l'ingénieur - Université  
Clermont Auvergne

#### Titre de la thèse

**Analyse de sensibilité fiabiliste avec prise en compte  
d'incertitudes sur le modèle probabiliste**

#### Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Encadrants : Mathieu Balesdent - ONERA

Jean-Marc Bourinet - SIGMA Clermont

Directeurs de thèse : Nicolas Gayton - SIGMA Clermont

Jérôme Morio - ONERA

#### Financement

Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation  
(MESRI) & ONERA

#### Défi scientifique

Optimisation  
pluridisciplinaire  
et évaluation

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



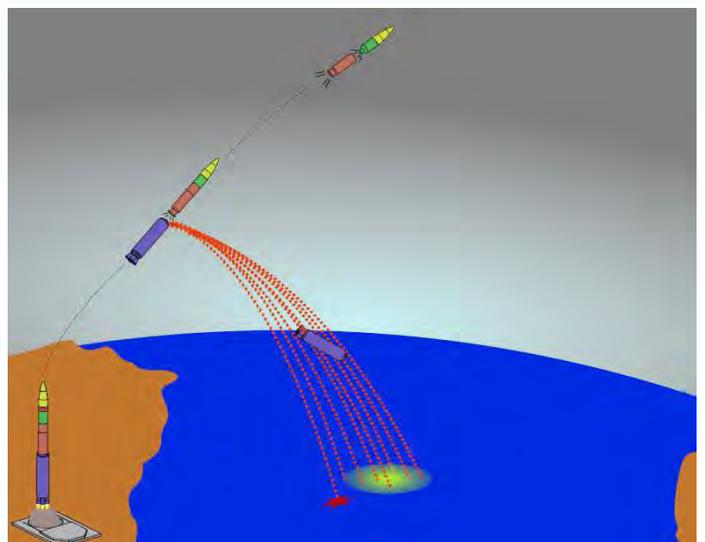
Contact : [Mathieu.Balesdent @ onera.fr](mailto:Mathieu.Balesdent@onera.fr)

## Analyse de sensibilité fiabiliste avec prise en compte d'incertitudes sur le modèle probabiliste

### Résumé

Les systèmes aérospatiaux sont des systèmes complexes dont la fiabilité doit être garantie dès la phase de conception au regard des coûts liés aux dégâts gravissimes qu'engendrerait la moindre défaillance. En outre, la prise en compte des incertitudes influant sur le comportement (incertitudes dites « *aléatoires* » car liées à la variabilité naturelle de certains phénomènes) et la modélisation de ces systèmes (incertitudes dites « *épistémiques* » car liées au manque de connaissance et aux choix de modélisation) permet d'estimer la fiabilité de tels systèmes et demeure un enjeu crucial en ingénierie. Ainsi, la *quantification des incertitudes* et sa méthodologie associée consiste, dans un premier temps, à modéliser puis propager ces incertitudes à travers le modèle numérique considéré comme une « *boîte-noire* ». Dès lors, le but est d'estimer une *quantité d'intérêt* (QoI) fiabiliste telle qu'une probabilité de défaillance. Pour les systèmes hautement fiables, la probabilité de défaillance recherchée est très faible, et peut être très coûteuse à obtenir. D'autre part, une analyse de sensibilité de la QoI vis-à-vis des incertitudes en entrée peut être réalisée afin de mieux identifier et hiérarchiser l'influence des différentes sources d'incertitudes. Ainsi, la modélisation probabiliste des variables d'entrées (incertitude épistémique) peut jouer un rôle prépondérant dans la valeur de la probabilité obtenue. Une analyse plus profonde de l'impact de ce type d'incertitude doit être menée afin de donner une plus grande confiance dans la fiabilité estimée. Cette thèse traite de la prise en compte de la méconnaissance du modèle probabiliste des entrées incertaines du modèle. Dans ce cadre, un « *double niveau* » d'incertitudes (aléatoires/épistémiques) doit être modélisé puis propagé à travers l'ensemble des étapes de la méthodologie de quantification des incertitudes. Dans cette thèse, le traitement des incertitudes est effectué dans un cadre bayésien où la méconnaissance sur les paramètres de distribution des variables d'entrée est caractérisée par une densité a priori. Dans un premier temps, après propagation du double niveau d'incertitudes, la *probabilité de défaillance prédictive* (PDP) est utilisée comme mesure de substitution à la probabilité de défaillance classique. Dans un deuxième temps, une analyse de sensibilité locale à base de *score functions* de cette PDP vis-à-vis des hyper-paramètres de loi de probabilité des variables d'entrée est proposée. Enfin, une analyse de sensibilité globale à base d'*indices de Sobol* appliqués à la variable binaire qu'est l'indicatrice de défaillance est réalisée. L'ensemble des méthodes proposées est appliqué à un cas industriel de retombée d'un étage de lanceur.

*Propagation d'incertitudes dans le cadre de la retombée d'étage de lanceur*



## Développer de nouvelles méthodes de conception de contrôleurs pour les systèmes complexes

### Raquel Stella DA SILVA DE AGUIAR

Thèse soutenue le 16 octobre 2018

Ecole doctorale : ED 309 (EDSYS) - Systèmes - Toulouse

#### Titre de la thèse

Optimization-based design of structured LTI controllers  
for uncertain and infinite-dimensional systems

#### Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Directeurs de thèse : Dominikus Noll - IMT

Pierre Apkarian - ONERA

#### Financement

République fédérative du Brésil

#### Défi scientifique

Optimisation  
pluridisciplinaire  
et évaluation

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



Université  
de Toulouse



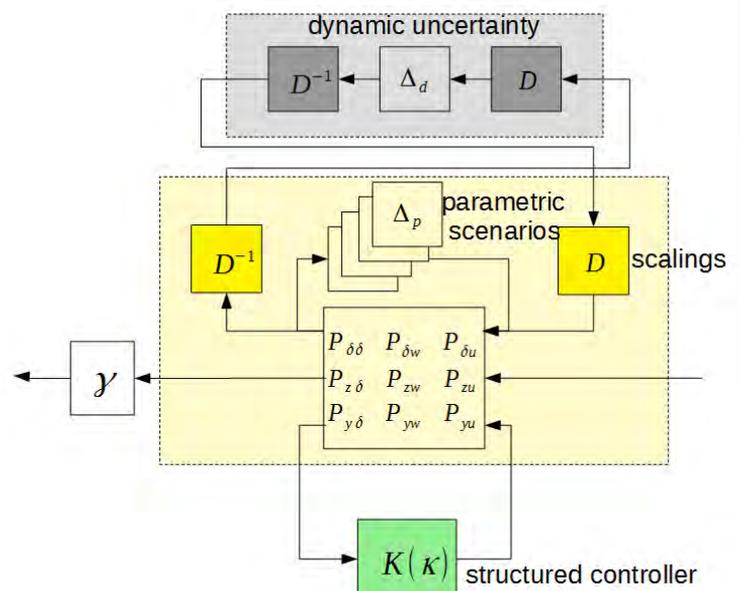
Contact : [Pierre.Apkarian@onera.fr](mailto:Pierre.Apkarian@onera.fr)

Optimization-based design of structured LTI controllers  
for uncertain and infinite-dimensional systems

Résumé

The control of complex systems often requires model approximation amenable to available theory and computational tools. Parametric Robust Control synthesis is a NP-hard problem, where relaxations have to be used. These relaxations come with a degree of conservatism and with adverse effect on closed-loop performance. A main objective of this thesis is therefore to develop novel relaxations for robust structured controller synthesis for systems subject to parametric and complex dynamic uncertainty, which allow to avoid or reduce conservatism.

The first proposed strategy is an outer relaxation technique based on scalings or multipliers in tandem with small gain constraints leading to a single augmented model where scalings and controller are tuned simultaneously. The second approach is an inner relaxation method using worst-case scenarios for performance and stability, based computationally on specialized nonsmooth optimization techniques. This leads to an iterative multi-model synthesis, where all models have the state-space order of the nominal model. Finally, a third method combines the power of inner and outer relaxations in a hybrid technique. In the data-driven control framework, frequency response based synthesis has already proved its versatility for performance optimization, but is restricted to open-loop stable systems or pre-stabilized systems. This precludes dealing with unstable infinite-dimensional systems, whose response may be obtained for example from physical laws. Therefore, the second objective of this thesis is to dispense with open-loop stability and develop new methods for frequency response design of structured control laws for unstable or stable infinite dimensional systems. To accomplish this goal, firstly a bisection method based on Nyquist stability criteria was produced to estimate the spectral abscissa of such systems. A method to estimate impulse response energy over a finite horizon was also developed. Three techniques for designing stabilizing controllers are introduced based on minimization of the spectral abscissa, the impulse response energy, and of the shifted  $H^\infty$ -norm of the closed-loop system. The novel robust control techniques were tested on a bench of challenging examples and compared among others to the  $\mu$ -synthesis method. The results indicate that while outer relaxations excel on pure dynamic uncertainty cases, the inner relaxation proposed achieves the best certified robust performance in general, followed by the hybrid approach. Similarly, the data-driven control techniques were tested on a variety of unstable and stable systems of finite and infinite dimensions with the three data-driven techniques reaching equivalent stabilization success rates.



Structured robust controller design  
using hybrid outer relaxation

# Développer des automatismes pour améliorer la sécurité des appontages d'hélicoptères

**Quang Huy TRUONG**

Thèse soutenue le 31 mai 2018

Ecole doctorale : ED 309 (EDSYS) - Systèmes - Toulouse

Titre de la thèse

**Méthodes d'asservissement visuel  
pour l'appontage d'hélicoptères**

**Encadrement**

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Directeurs de thèse : Jean-Marc Biannic & Thomas Rakotomamonjy  
ONERA

**Financement**

ONERA

**Défi scientifique**

Systèmes  
intelligents

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



Université  
de Toulouse



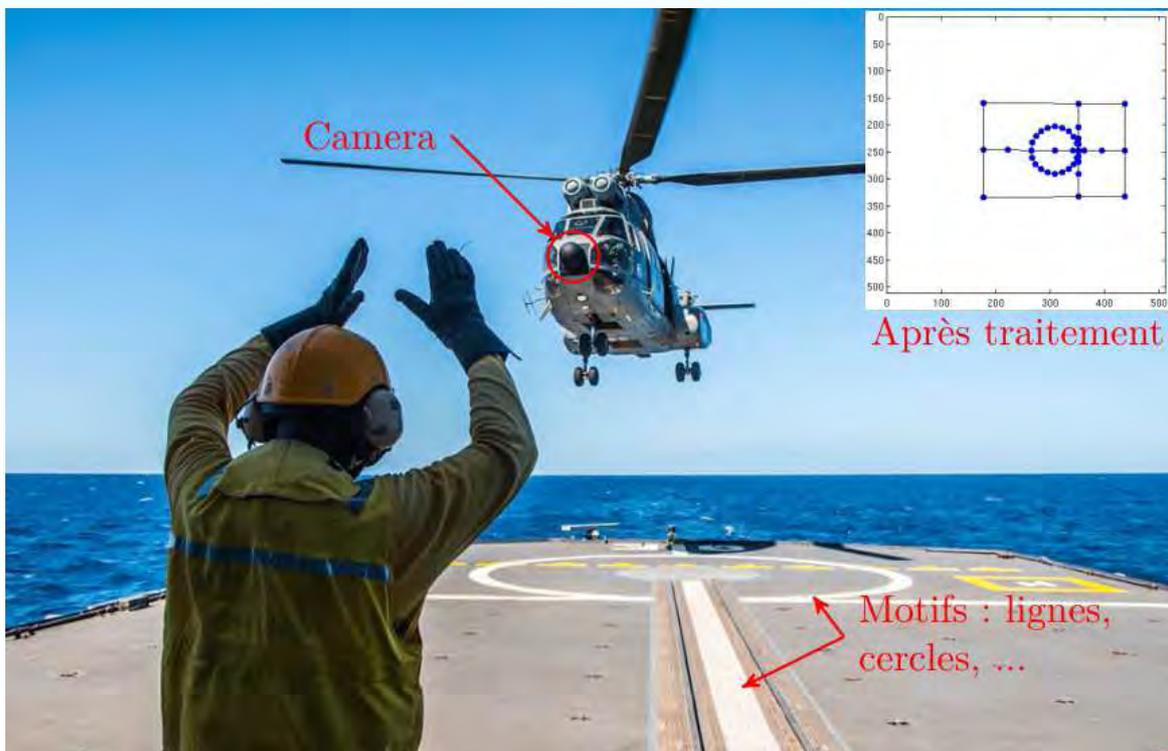
**Contact :** Jean-Marc.Biannic @ onera.fr

## Méthodes d'asservissement visuel pour l'appontage d'hélicoptères

### Résumé

Cette thèse s'inscrit dans le domaine de l'automatique, et a pour but de fournir des outils utiles à l'atterrissage en mer d'hélicoptères (sur navire ou plateforme) et employés dans le cadre d'un potentiel pilotage automatique.

L'objectif a donc été de développer une série de lois de commande pilotées manuellement, puis commandées de façon autonome à l'aide d'informations caméra. Les lois ainsi développées à l'aide de modèles dynamiques d'hélicoptères, limitations mécaniques incluses, se basent sur les critères de Qualité de Vol issus de la norme ADS-33. L'ensemble a fait appel à une approche anti-windup pour améliorer la robustesse face aux situations d'actionneurs en saturation. Enfin les lois issues de ces travaux ont été testées en temps-réel sur le banc de pilotage d'hélicoptères de l'ONERA à Salon-de-Provence.



*Appontage d'un hélicoptère Puma, avec les informations utiles pour un asservissement visuel (source image originale : état-major des armées)*

## Développer de nouvelles techniques numériques pour améliorer le guidage autonome des lanceurs

### Distinction

Prix doctorant ONERA  
(2018)

### Riccardo BONALLI

Thèse soutenue le 13 juillet 2018

Ecole doctorale : ED 386 - Sciences Mathématiques - Paris Centre

### Titre de la thèse

**Contrôle optimal de systèmes aérospatiaux avec contraintes  
sur le contrôle et sur l'état et avec retards**

### Encadrement

Département Traitement de l'information et Systèmes (DTIS)

Encadrant : Bruno Hérissé - ONERA

Directeur de thèse : Emmanuel Trélat - Sorbonne Université

### Financement

ONERA

### Défi scientifique

Systèmes  
intelligents

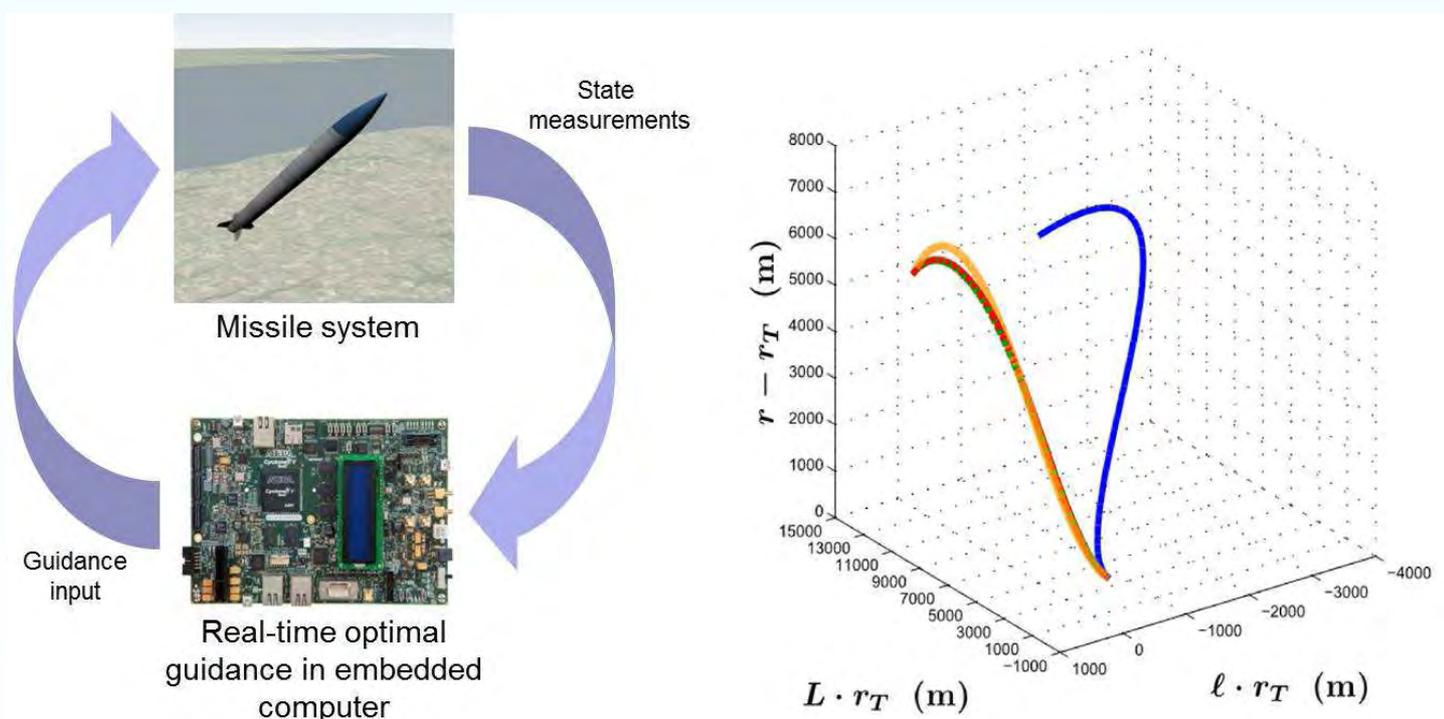
[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



Contact : Bruno.Herisse @ onera.fr

## Résumé

Dans ce travail, on s'est concentré sur le guidage optimal en temps réel de véhicules lanceurs, avec comme objectif de développer un algorithme autonome pour la prédiction de stratégies de contrôle optimal, basé sur les méthodes indirectes et capable de s'adapter à tout changement imprévu de scénario. Pour cela, tout d'abord nous fournissons une analyse géométrique précise dans le cas de contraintes mixtes, pour obtenir un cadre bien posé, et donc appliquer correctement les méthodes indirectes. L'intégration numérique du problème est proposée par une combinaison efficace des méthodes indirectes avec des procédures d'homotopie, en améliorant ainsi à la fois robustesse et vitesse de calculs. De plus, nous améliorons le modèle dynamique en considérant des retards. Plus précisément, nous introduisons un cadre rigoureux d'homotopie pour résoudre des problèmes de contrôle optimal avec retards, à l'aide des méthodes indirectes. Nos contributions ont rendu possible le développement d'un logiciel automatique, propriété de l'ONERA, pour des applications réalistes dans le cadre de véhicules lanceurs, focalisé en particulier sur des scénarii d'interception optimale.



*Algorithme temps réel de guidage optimal : adaptation automatique à des changements d'objectif en cours de vol*

# Développer des méthodes numériques d'estimation et de surveillance des paramètres de vol pour détecter des anomalies de mesures de ces paramètres

**Guillaume ALCALAY**

Thèse soutenue le 28 septembre 2018

Ecole doctorale : ED 309 (EDSYS) - Systèmes - Toulouse

## Titre de la thèse

**Développement de capteurs virtuels pour l'estimation  
et la surveillance des paramètres de vol d'un avion**

## Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Encadrant : Martin Delporte - Airbus

Directeurs de thèse : Cédric Seren & Georges Hardier - ONERA

## Financement

CIFRE Airbus

## Défi scientifique

Systèmes  
intelligents

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)

**AIRBUS**

**anrt**  
association nationale  
recherche technologie



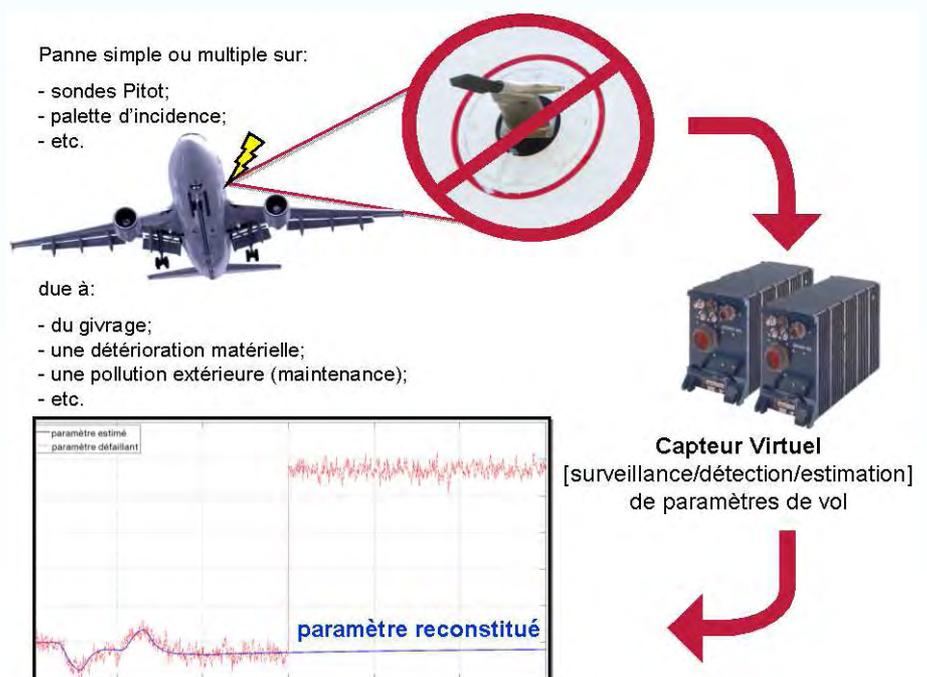
Université  
de Toulouse

**ONERA**  
THE FRENCH AEROSPACE LAB

**Contact :** Cedric.Seren @ onera.fr

## Résumé

L'amélioration des performances d'un avion ainsi que la diminution de la charge de travail des pilotes nécessitent une complexité accrue des systèmes avioniques qui équipent les nouveaux avions. Cette complexification génère de nouvelles contraintes, par exemple celle d'augmenter la disponibilité de certaines informations indispensables au pilotage (principalement la vitesse conventionnelle) et aux fonctionnalités les plus évoluées des systèmes de commande de vol (comme l'incidence, la masse et l'altitude-pression). Pour obtenir cette garantie, l'architecture des systèmes embarqués est fondée aujourd'hui sur une forte redondance matérielle (de type triplex pour l'aviation civile). Néanmoins cette approche a un coût important (poids, maintenance, etc.) et reste perfectible. Par exemple, les modes communs de panne, correspondant à une panne cohérente et simultanée d'au moins deux capteurs mesurant une même variable, ne sont pas détectés par ce dispositif. Une autre façon de procéder, abordée dans cette thèse, consiste à exploiter la redondance analytique existante au travers des mesures disponibles, et des équations de la cinématique et de la mécanique du vol. Par exemple, l'équation de portance permet de faire le lien entre un grand nombre de paramètres de vol. Son utilisation dans le processus de fusion de données nécessite néanmoins de disposer de modèles simplifiés embarquables (tables d'interpolation recalées sur données de vol, modèle neuronal, etc.) afin d'estimer le coefficient aérodynamique de portance. In fine, un filtre de Kalman étendu adaptatif a été développé pour estimer les paramètres de vol critiques longitudinaux. Des capacités de diagnostic de pannes capteur et d'erreur de masse au décollage, ainsi que de re-sélection de sources valides ont été implantées en exploitant la complémentarité existante entre cette méthode d'estimation basée modèle et d'autres approches issues du domaine du traitement du signal. La solution finalement proposée a été développée en respectant des contraintes industrielles importantes, notamment en termes de puissance de calcul disponible et de formalisme. Elle a pu être validée sur un ensemble de simulations et de données d'essais en vol, en particulier pour la détection et l'isolation des modes communs de panne correspondant à des dérives lentes, aujourd'hui indétectables.



*Utilisation de capteurs virtuels pour la détection de pannes capteurs et la reconstruction de paramètres de vol*

## Développer de nouvelles méthodes pour améliorer la navigation des avions autonomes et la planification de trajectoire

### Nicolas MERLINGE

Thèse soutenue le 29 octobre 2018

Ecole doctorale : ED 580 (STIC) - Sciences et Technologies de l'Information  
et de la Communication - Paris-Saclay

#### Titre de la thèse

**State estimation and trajectory planning using  
box particle kernels**

#### Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Encadrants : Karim Dahia - ONERA

Nadjim Horri - Université de Coventry

Directeurs de thèse : Hélène Piet-Lahanier - ONERA

James Brusey - Université de Coventry

#### Financement

Université de Coventry & ONERA

#### Défi scientifique

Systèmes  
intelligents

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



Contact : [Nicolas.Merlinge @ onera.fr](mailto:Nicolas.Merlinge@onera.fr)

## Résumé

State estimation and trajectory planning are two crucial functions for autonomous systems, and in particular for aerospace systems. Particle filters and sample-based trajectory planning approaches have been widely considered to tackle non-linear models and non-Gaussian noises. However, they may produce erratic results due to the sampled approximation of the state density and have a high computational cost, which limits their practical interest.

This thesis investigates the use of box kernel mixtures to describe multimodal probability density functions. A box kernel mixture is a weighted sum of basic functions (e.g. uniform kernels) that integrate to unity, and whose supports are bounded by boxes, i.e. vectors of intervals. This modelling approach yields a more extensive description of the state density function while requiring a lower computational load. New algorithms are developed, based on a derivation of the Box Particle Filter (BPF) for state estimation, and of a particle based Chance Constrained optimisation (equivalently, failure probability constraint) for trajectory planning under uncertainty.

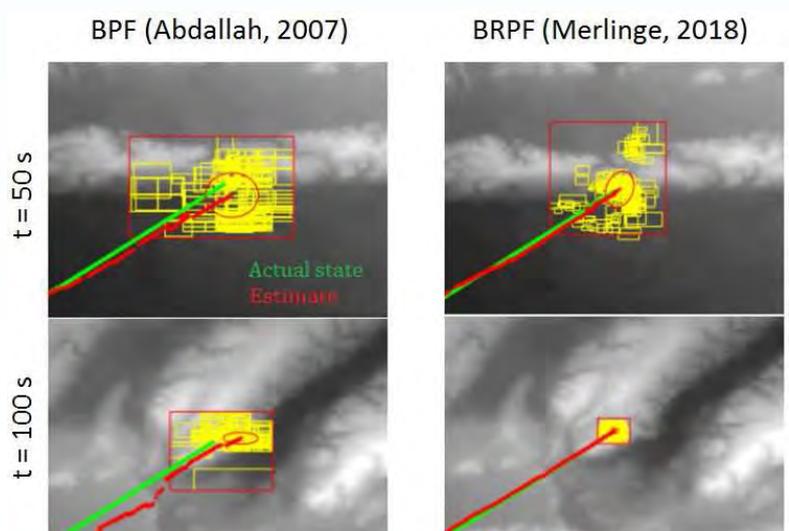
In order to tackle ambiguous state estimation problems, a Box Regularised Particle Filter (BRPF) is introduced. The BRPF consists of an improved BPF with a guaranteed resampling step, and a smoothing strategy based on kernel regularisation. The proposed strategy is theoretically and empirically shown to improve the estimation accuracy, in particular for very non-linear measurement such as in the Terrain Aided Navigation (TAN) application. BRPF is shown to be robust to measurement ambiguity and unknown-but-bounded measurement densities. BRPF is also integrated to federated and distributed architectures to demonstrate its efficiency in multi-sensor and multi-agent systems.

In order to tackle constrained trajectory planning under non-Gaussian uncertainty, a Box Particle Control (BPC) is introduced. BPC relies on an interval bounded kernel mixture trajectory propagation.

A chance constrained optimisation is performed, which consists of finding the sequence of future control inputs that minimises a cost function, while ensuring that the probability of constraint violation (failure probability) remains below a given threshold. For similar performance, BPC yields a significant computation load reduction with respect to previous approaches.

The algorithms developed in this thesis make it possible to run complex estimation and control operations in real time on computationally limited devices. The results are quite general and apply where measurements are ambiguous and where the computational load is constrained.

*Comparaison entre le BPF original et l'algorithme BRPF proposé pour l'application de navigation par corrélation de terrain*



# Développer des méthodes de vérification des algorithmes d'optimisation en ligne pour réduire le temps de développement des logiciels critiques pour la sécurité

## Raphaël COHEN

Thèse soutenue le 5 décembre 2018

Ecole doctorale : ED 475 (MITT) - Mathématiques Informatique

Télécommunications de Toulouse

En cotutelle avec Georgia Institute of Technology

### Titre de la thèse

**Vérification formelle et validation des algorithmes  
d'optimisation convexe appliqués à la commande prédictive**

### Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Directeurs de thèse : Eric Feron - Georgia Tech

Pierre-Loïc Garoche - ONERA

### Financement

Georgia Institute of Technology (Georgia Tech) & ONERA

### Défi scientifique

Systèmes  
intelligents

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)

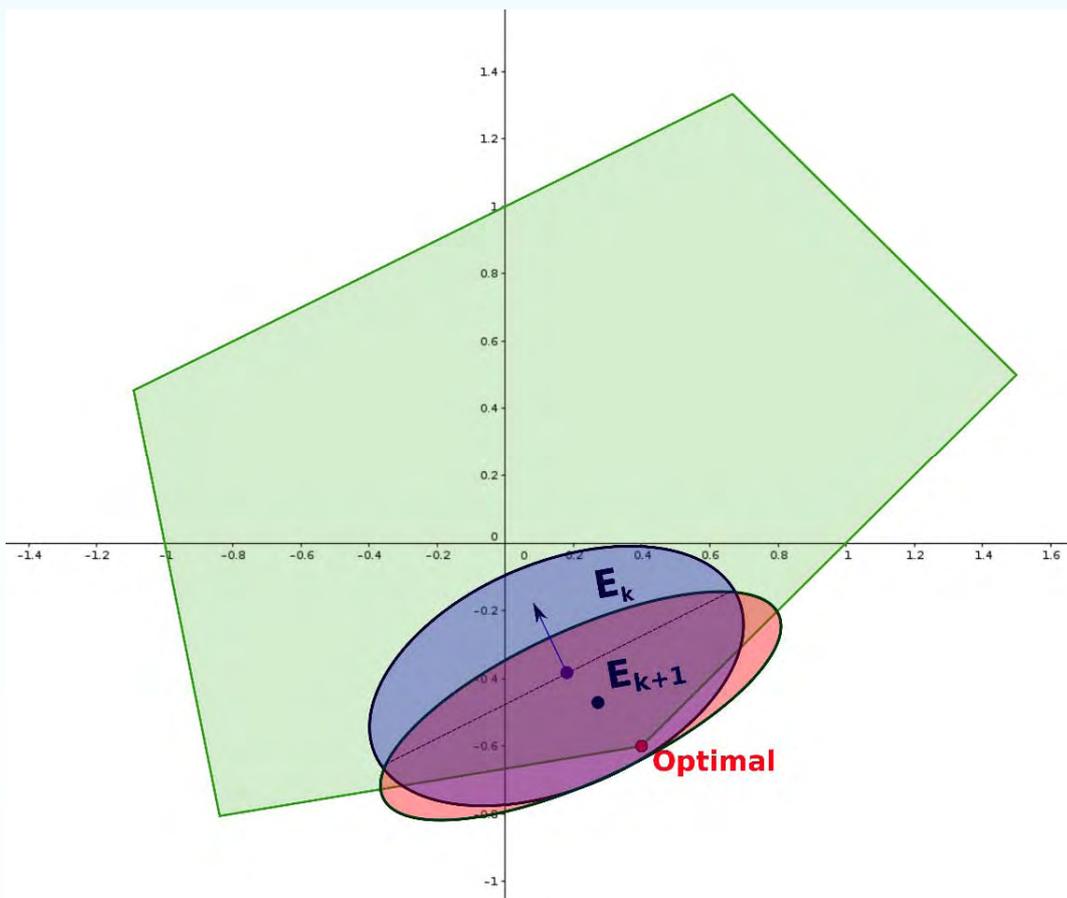


Université  
de Toulouse

**Contact** : Pierre-Loic.Garoche @ onera.fr

## Résumé

L'efficacité des méthodes d'optimisation modernes, associée à l'augmentation des ressources informatiques, a conduit à la possibilité d'utiliser ces algorithmes d'optimisation en temps réel agissant dans des rôles critiques. Cependant, cela ne peut se produire sans porter une certaine attention à la validité de ces algorithmes. Cette thèse traite de la vérification formelle des algorithmes d'optimisation convexe lorsqu'ils sont utilisés pour le guidage de systèmes dynamiques. En outre, nous démontrons comment les preuves théoriques des algorithmes d'optimisation en temps réel peuvent être utilisées pour décrire les propriétés fonctionnelles au niveau du code, les rendant ainsi accessibles à la communauté des méthodes formelles.



*Ellipsoides garanties lors de l'utilisation de la méthode de Nemirovskii,  
algorithme prouvé dans cette thèse*

## Détecter les signes de perte de vigilance des superviseurs pour améliorer la sûreté des systèmes automatisés

**Jonas GOURAUD**

Thèse soutenue le 27 novembre 2018

Ecole doctorale : ED 326 (CLESCO) - Comportement, Langage, Education,  
Socialisation, Cognition

**Titre de la thèse**

**Dynamique de la divagation attentionnelle dans  
des environnements automatisés et son influence  
sur les situations de sortie de boucle**

**Encadrement**

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Directeurs de thèse : Arnaud Delorme - CerCo  
Bruno Berberian - ONERA

**Financement**

Délégation Générale de l'Armement (DGA) & ONERA

**Défi scientifique**

Systemes  
intelligents

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



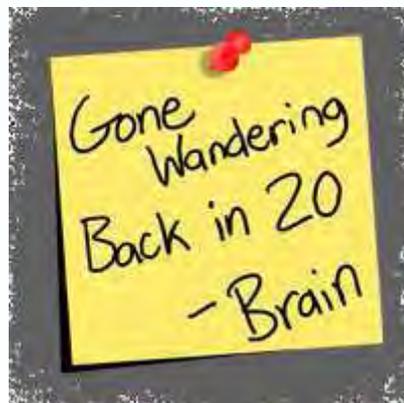
Université  
de Toulouse



**Contact :** Bruno.Berberian @ onera.fr

## Résumé

Des niveaux d'automatisation élevés sont intégrés dans les environnements critiques pour satisfaire la demande croissante de systèmes plus sûrs. Cette philosophie déplace les opérateurs vers un rôle de supervision et crée de nouveaux problèmes appelés problèmes de performance liés à la sortie de boucle (SDB). L'émergence de pensées sans lien avec ici et maintenant, nommé divagation attentionnelle (DA), pourrait affecter les opérateurs dans des situations de SDB par le biais du découplage perceptuel induit. Cette thèse a étudié la dynamique des DA dans les situations de SDB et son influence sur les opérateurs. Nous avons en premier lieu examiné les preuves dans la littérature pointant vers un lien entre le problème de performance lié à la SDB et la DA. Nous avons complété cette analyse théorique en rapportant la tendance des pilotes (collectée avec un questionnaire) à rencontrer plus de problèmes avec leur pilote automatique pour ceux ayant une plus grande propension à la DA non lié à la tâche. Nous avons ensuite mené trois expériences dans des conditions de SDB. Nous avons observé une augmentation significative des épisodes de DA dans les situations de SDB quelle que soit la fiabilité du système, par rapport aux conditions manuelles. Les épisodes de DA étaient également accompagnés d'un découplage perceptuel vis-à-vis de la tâche créée par la DA non lié à la tâche. Ce découplage était visible sur des rapports de demande mentale ainsi que les signaux oculométriques et encéphalographiques. Nos résultats démontrent la possibilité d'utiliser des marqueurs physiologiques de la DA dans des environnements de SDB complexes. Nous discutons de nouvelles perspectives d'utilisation des marqueurs de la DA pour caractériser les problèmes liés à la SDB. La DA pourrait être bénéfique pour les opérateurs. Les recherches futures devraient donc se concentrer sur la conception de systèmes capables de gérer la DA et d'identifier les informations nécessaires pour faciliter la rentrée dans la boucle de contrôle.



*La divagation attentionnelle peut être consciente ou non*

## Détecter les signes de perte de vigilance des superviseurs pour améliorer la sûreté des systèmes automatisés

### Distinction

Conference grant  
NEURONUS - IBRO  
Neuroscience Forum  
(2018)

### Bertille SOMON

Thèse soutenue le 4 décembre 2018

Ecole doctorale : ED 216 (EDISCE) - Ingénierie pour la Santé, la Cognition  
et l'Environnement

### Titre de la thèse

**Corrélat neuro-fonctionnels du phénomène de sortie  
de boucle : impacts sur le monitoring des performances**

### Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Encadrant : Bruno Berberian - ONERA

Directeurs de thèse : Aurélie Campagne - LPNC  
Arnaud Delorme - CerCo

### Financement

Région SUD-Provence-Alpes-Côte d'Azur & ONERA

### Défi scientifique

Systèmes  
intelligents

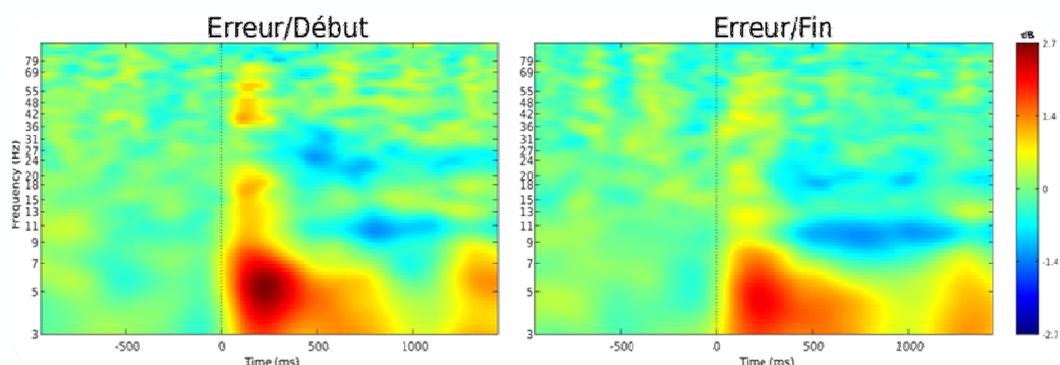
[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



Contact : Bruno.Berberian @ onera.fr

## Résumé

De nombreux changements technologiques ont eu lieu dans les dernières décennies, et nous ont poussés à interagir de plus en plus avec des systèmes automatisés. Bien que très fiables, ces systèmes sont souvent très complexes et opaques. Il est donc difficile pour les opérateurs d'interagir avec eux efficacement, comme démontré par plusieurs tragédies plus ou moins récentes. De nombreuses évidences semblent indiquer que l'automatisation exclut les opérateurs de la boucle de contrôle des systèmes, déclenchant un ensemble de difficultés opérationnelles regroupées sous le terme de « Phénomène de sortie de boucle ». Ce phénomène a été très étudié dans l'industrie aéronautique, mais aussi automobile ou nucléaire, mais reste extrêmement difficile à caractériser et encore plus à anticiper. Dans cette thèse, nous avons émis l'hypothèse que la caractérisation de ce phénomène au niveau de ses corrélats neuro-fonctionnels pourrait nous permettre de mieux l'appréhender. Notamment, nous avons utilisé des théories issues des neurosciences cognitives afin de définir des marqueurs de la dégradation des interactions entre les opérateurs et les systèmes automatisés. L'une des caractéristiques du phénomène de sortie de boucle est l'incapacité de la part de l'opérateur à détecter les erreurs commises par le système. Or le processus de détection de nos propres erreurs est défini au niveau électrophysiologique par une activité cérébrale bien connue et robuste. Nous avons donc lors de différentes expérimentations évalué le déclenchement de cette activité dans des conditions d'exécution d'une tâche plus ou moins complexe ; puis dans des conditions de supervision d'un autre agent, humain ou artificiel, effectuant la même tâche. Ces expérimentations ont mis en évidence une activité spécifiquement liée à la détection des erreurs commises par autrui dégradée : i) par la supervision d'un système, et ii) pour une tâche plus complexe. Une troisième étude a permis de mettre en évidence que l'activité effectivement mesurée pour la supervision de systèmes écologiques, plus complexes et plus automatisés, était : i) dans des bandes de fréquence similaires à celles des deux premières études, ii) dégradée par le temps passé sur la tâche, et iii) diminuée par l'observation spécifique d'erreurs du système. Au cours de ces trois études, nous avons utilisé plusieurs techniques de traitement et d'analyse des données, adaptées spécifiquement à chaque situation. Cette thèse ouvre sur de nombreuses perspectives, et notamment sur une dernière étude de l'évolution de l'activité de supervision lors de l'induction de la sortie de boucle de contrôle.



*Diminution de l'activité cérébrale liée à la détection d'erreur au cours du temps*

# Concevoir un bras robotisé pour maîtriser le lancement et la récupération de drones à voilure fixe depuis un navire en route

**Thomas SOLATGES**

Thèse soutenue le 12 juillet 2018

Ecole doctorale : ED 309 (EDSYS) - Systèmes - Toulouse

## Titre de la thèse

**Modélisation, conception et commande de robots  
manipulateurs flexibles.**

**Application au lancement et à la récupération  
de drones à voilure fixe depuis un navire faisant route**

## Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Encadrant : Sébastien Rubrecht - SITIA

Directeurs de thèse : Mathieu Rognant & Philippe Bidaud - ONERA

## Financement

CIFRE SITIA

## Défi scientifique

Systèmes  
intelligents

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



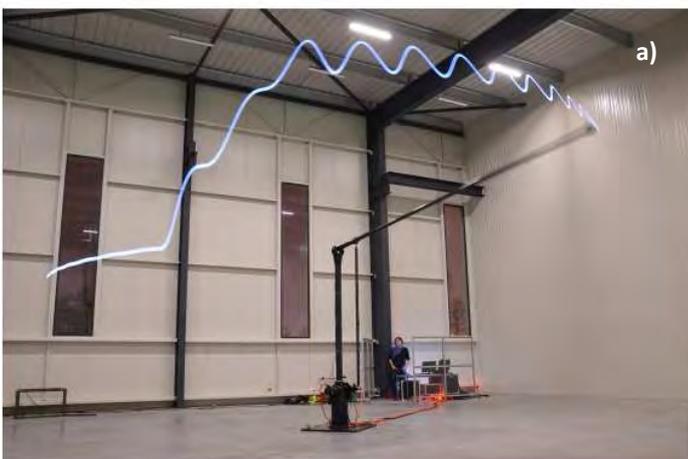
Université  
de Toulouse



**Contact :** Mathieu.Rognant @ onera.fr

### Résumé

Les robots manipulateurs sont généralement des machines rigides, conçues pour que leur flexibilité ne perturbe pas leurs mouvements. En effet, des flexibilités mécaniques importantes dans la structure d'un système introduisent des degrés de liberté supplémentaires dont le comportement est complexe et difficile à maîtriser. Cependant, la réduction de la masse d'un système est bénéfique du point de vue des coûts, de la performance énergétique, de la sécurité et des performances dynamiques. Afin de faciliter l'accès aux nombreux avantages d'une structure légère malgré la présence de fortes flexibilités, cette thèse porte sur la modélisation, la conception et la commande de robots manipulateurs flexibles. Elle est motivée par le projet YAKA, dont l'application est le lancement et la récupération de drones à voilure fixe depuis un navire faisant route. Cette application nécessite une importante dynamique sur un vaste espace de travail, bien au-delà des spécifications des robots rigides classiques. Les outils de modélisation, de conception et de commande proposés prennent en compte la flexibilité des segments et des articulations, pour un nombre quelconque de degrés de liberté et de segments flexibles. Le modèle dynamique flexible est obtenu par le formalisme de Lagrange, les poutres flexibles sont représentées par le modèle d'Euler-Bernoulli. Le schéma de commande proposé se décompose en une inversion de modèle dynamique rigide et un bloc de précommande par Input Shaping adapté aux robots manipulateurs flexibles. Les outils de conception proposés permettent de baser le processus de conception sur des performances prédites du système complet muni de ses actionneurs et de son contrôleur avec une simulation réaliste. Les validations expérimentales effectuées sur le robot YAKA permettent de valider la pertinence de la démarche suivie. Les résultats du projet YAKA confirment la faisabilité de la mise en œuvre d'un robot flexible de grande envergure et à forte dynamique dans un contexte industriel, en particulier pour le lancement et la récupération d'un drone à voilure fixe depuis un navire faisant route.



*Robot YAKA piloté par inversion de la dynamique rigide sans Input-Shaping (a) et avec Input-Shaping (b)*

# Développer de nouvelles méthodes pour garantir la sûreté des algorithmes implémentés dans les systèmes critiques embarqués

## Guillaume DAVY

Thèse soutenue le 6 décembre 2018

Ecole doctorale : ED 475 (MITT) - Mathématiques Informatique  
Télécommunications de Toulouse

### Titre de la thèse

**Génération de codes et d'annotations prouvables  
d'algorithmes de points intérieurs à destination  
de systèmes embarqués critiques**

### Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Directeurs de thèse : Didier Henrion - LAAS

Pierre-Loïc Garoche - ONERA

### Financement

Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation  
(MESRI)

### Défi scientifique

Systemes  
intelligents

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)

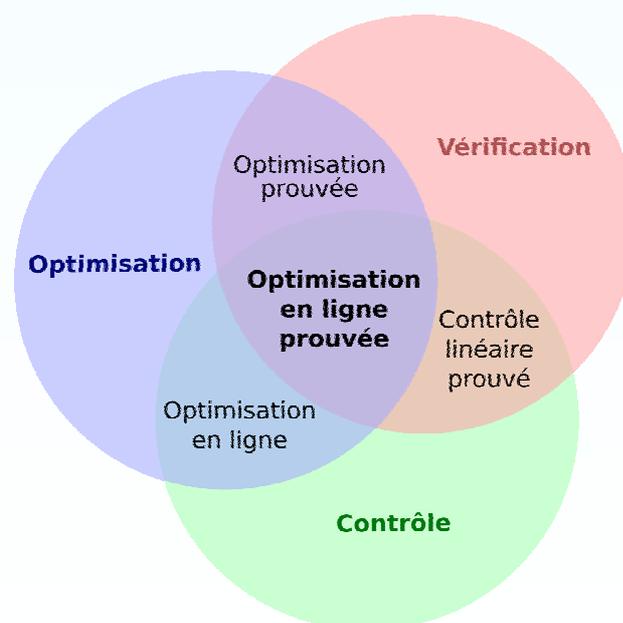


Contact : Pierre-Loïc.Garoche @ onera.fr

## Résumé

L'aéronautique a vu émerger ces dernières années l'utilisation d'optimisation convexe au sein de ses systèmes critiques. Les avantages apportés par l'optimisation peuvent aller de la réduction de la consommation de fioul à de nouvelles techniques de contrôle. Par exemple, l'atterrissage de fusée comme pratiqué par SpaceX se base sur la résolution en ligne de problème d'optimisation convexe grâce à des algorithmes de points intérieurs. Toutefois, ceux-ci sont coûteux en temps de calcul, mais la puissance grandissante des systèmes informatiques permet, désormais, leur utilisation en ligne. De plus, afin de réduire les temps de calcul au maximum, les industriels choisissent de développer des implémentations spécifiques aux problèmes à résoudre. L'optimisation reste cependant aujourd'hui limitée à des calculs secondaires, ou à des systèmes peu critiques.

Pour généraliser leur utilisation au sein de systèmes grand public, les industriels devront pouvoir certifier les implémentations de ces algorithmes. Cela consiste à vérifier : 1. l'absence d'erreur à l'exécution, 2. qu'elles répondent en temps fini, idéalement borné, 3. la correction de la solution retournée. Dans le cas de l'optimisation, ce dernier point correspond à vérifier que la solution respecte les contraintes et est optimale. Ce travail a consisté à développer des outils et des méthodes qui permettent de certifier formellement un code généré d'algorithme de points intérieurs. Pour cela, nous avons utilisé des méthodes et outils issus de la vérification formelle de programmes afin de générer un code embarquable, mais aussi prouvable à partir de la donnée d'un problème d'optimisation convexe.



*Contexte de la thèse*

# Développer des outils logiques pour permettre la reconnaissance de comportements complexes dans des flux de données

## Romain RINCÉ

Thèse soutenue le 7 novembre 2018

Ecole doctorale : ED 503 (STIM) - Sciences et Technologies de l'Information,  
Mathématiques - Nantes

### Titre de la thèse

**Reconnaissance de comportements sur flux de données  
bruités enrichie par des observations structurées**

### Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Encadrant : Romain Kervarc - ONERA

Directeur de thèse : Philippe Leray - Université de Nantes

### Financement

ONERA

### Défi scientifique

Systemes  
intelligents

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



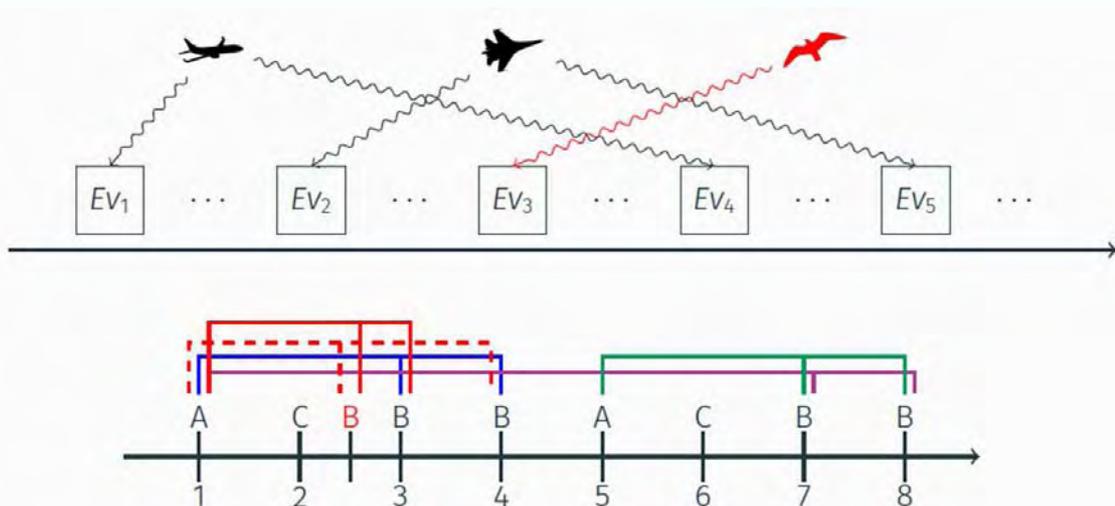
UNIVERSITÉ DE NANTES



**Contact :** Romain.Kervarc @ onera.fr

## Résumé

Le traitement d'événements complexes (Complex Event Processing - CEP) consiste en l'analyse de flux de données afin d'en extraire des motifs et comportements particuliers décrits, en général, dans un formalisme logique. Dans l'approche classique, les données d'un flux - ou événements - sont supposées être l'observation complète et parfaite du système produisant ces événements. Cependant, dans de nombreux cas, les moyens permettant la collecte de ces données, tels que des capteurs, ne sont pas pour autant infaillibles et peuvent manquer la détection d'un événement particulier ou au contraire en produire. Cette thèse s'emploie à étudier les modèles possibles de représentation de l'incertain et, ainsi, offrir au CEP une robustesse vis-à-vis de cette incertitude. L'objectif est donc de fournir des outils efficaces, tant en terme de précision que de temps de calcul, pour permettre la reconnaissance de comportements complexes de façon pertinente dans des flux d'événements en se basant sur le formalisme des chroniques. Dans cette optique, trois approches ont été considérées. La première se base sur les réseaux logiques de Markov pour représenter la structure des chroniques sous un ensemble de formules logiques adjointe d'une valeur de confiance. La seconde approche se base sur des techniques issues de la communauté SAT pour énumérer l'ensemble des solutions possibles d'un problème donné et ainsi produire une valeur de confiance pour la reconnaissance d'une chronique exprimée, encore une fois, sous une requête logique. Finalement, la dernière approche est basée sur les chaînes de Markov pour produire un ensemble d'échantillons expliquant l'évolution du modèle en accord avec les données observées. Ces échantillons sont ensuite analysés par un système de reconnaissance pour compter les occurrences d'une chronique particulière.



*Une erreur sur les données issues des senseurs a des répercussions  
sur les détections faites par le système au niveau symbolique*

## Développer des méthodes de commande tolérantes aux pannes pour sécuriser le vol des drones à voilure fixe

**Adèle BOCHE**

Thèse soutenue le 18 décembre 2018

Ecole doctorale : ED 309 (EDSYS) - Systèmes - Toulouse

Titre de la thèse

**Méthodes indirectes d'adaptation et de prise de décision  
pour la sécurisation du vol des drones à voilure fixe**

**Encadrement**

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Directeurs de thèse : Jean-Loup Farges & Henri de Plinval - ONERA

**Financement**

ONERA

**Défi scientifique**

Systèmes  
intelligents

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



Université  
de Toulouse



**Contact :** Jean-Loup.Farges @ onera.fr

### Résumé

De par l'augmentation de leur utilisation, la sécurisation du vol des drones devient de plus en plus importante. La commande tolérante aux fautes peut alors contribuer à l'obtention d'un niveau de sécurité acceptable. Le but de cette thèse est de développer et d'appliquer au vol des drones à voilure fixe une méthode de commande tolérante aux fautes basée d'une part sur une représentation de systèmes à l'aide de modèles décrivant des évolutions continues et d'autre part sur la représentation de systèmes à l'aide de modèles discrets ou logiques. Ainsi la première contribution de cette recherche est le développement d'une méthode générique de commande tolérante aux fautes utilisant les cadres de modélisation discret et continu. L'idée consiste à combiner une modélisation continue permettant d'estimer l'état et les paramètres de fautes et une modélisation discrète permettant de prendre une décision en ligne quant au contrôleur à utiliser. L'estimation continue permet d'avoir plus d'informations sur la faute qu'avec une modélisation discrète, alors que celle-ci prend en compte des probabilités de panne et des techniques d'optimisation qui sont plus adaptées à la tâche de décision. La seconde contribution concerne le développement et la validation d'une méthode active permettant de détecter et de diagnostiquer la faute. Un filtre de Kalman sensible aux sauts de panne pour l'estimation de l'état et des paramètres de fautes est développé. Pour la détection et le diagnostic de la panne, l'idée a été d'utiliser les données de l'estimation de façon probabiliste. Une fois la faute détectée et identifiée, le système de commande doit réagir pour pouvoir compenser cette faute. La troisième contribution porte donc sur l'amélioration du suivi de la trajectoire par reconfiguration du système de commande. Les méthodes de commutation et d'adaptation sont combinées, afin de limiter le nombre de contrôleurs en utilisant des contrôleurs adaptatifs pour les modes dégradés, tout en ayant des contrôleurs faciles à concevoir. Des techniques d'optimisation sont alors utilisées de façon à prendre une décision en ligne quant au choix du contrôleur. Finalement, la méthode développée doit être vérifiée avant de pouvoir être implémentée sur un drone. La dernière contribution est l'évaluation de la capacité de la méthode à faire suivre une trajectoire d'atterrissage en cas de pannes capteurs ou actionneurs grâce à un modèle de drone.

*Un modèle fin, représentatif de la dynamique de l'Avion Jaune Altimum 4, permet de poser concrètement les problèmes traités et d'évaluer les solutions apportées*



### Distinctions

Best Contribution to the  
ISPRS Semantic  
Labeling Benchmark  
Award - GEOBIA (2016)

2nd Best Student Paper  
Award - JURSE (2017)

## Nicolas AUDEBERT

Thèse soutenue le 17 octobre 2018

Ecole doctorale : ED 373 (SICMA) - Santé, Information, Communications,  
Mathématiques, Matière

### Titre de la thèse

## Classification de données massives de télédétection

### Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Encadrant : Bertrand Le Saux - ONERA

Directeur de thèse : Sébastien Lefèvre - Université Bretagne-Sud

### Financement

TOTAL & ONERA

### Défi scientifique

Perception  
artificielle  
multimodale

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



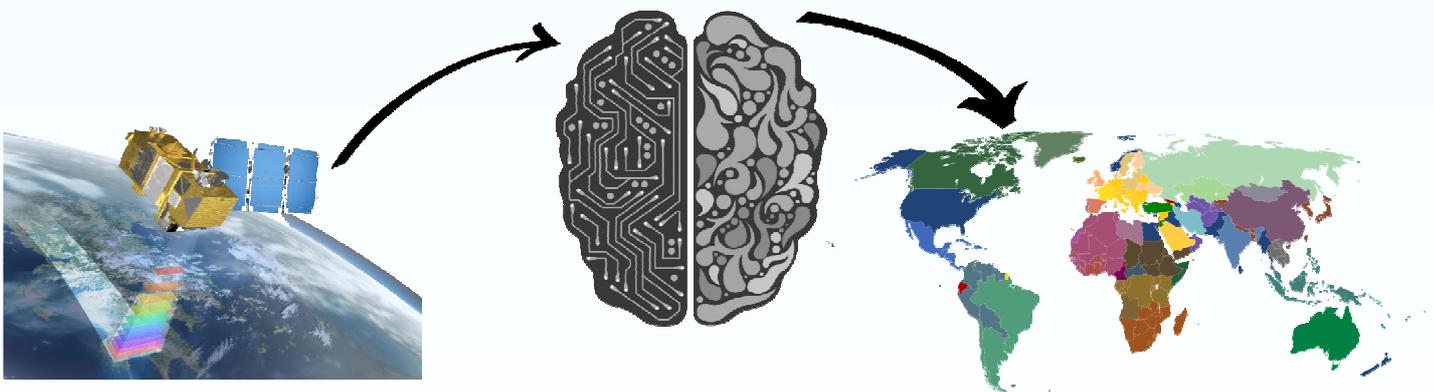
Contact : [Bertrand.Le\\_Saux@onera.fr](mailto:Bertrand.Le_Saux@onera.fr)

## Résumé

L'observation de la Terre permet de modéliser et de comprendre son évolution. L'abondance d'images de télédétection aériennes et satellitaires nécessite la mise en œuvre de moyens d'analyse automatiques, capables d'interpréter ces données et de cartographier la surface du globe.

Cette thèse traite de la conception, du déploiement et de la validation de stratégies d'apprentissage automatique, en particulier de réseaux de neurones convolutifs profonds, pour la compréhension d'images et la cartographie automatisée.

Nous proposons des modèles pour l'interprétation d'images couleur, multispectrales et hyperspectrales, capables de prendre en compte les interactions spatiales entre entités géométriques et produisant des cartes d'une précision permettant la détection d'objets. Nous introduisons des architectures de fusion de données par apprentissage multi-modal et correction résiduelle afin de tirer parti des données ancillaires, comme les modèles numériques de terrain et les connaissances géographiques disponibles a priori. Enfin, nous étudions les capacités de généralisation de ces modèles dans des cas extrêmes de jeux de données limités ou massifs. Nous validons tout au long de cette thèse nos contributions sur de multiples jeux de données aériens et satellitaires pour la classification des sols et de leurs usages, l'extraction de bâtiments et la détection de véhicules.



*L'intelligence artificielle au service de la cartographie de la Terre*

**Distinction**

Best Paper Award  
ICCV Workshop  
TASK-CV  
(2017)

**Maxime BUCHER**

Thèse soutenue le 27 novembre 2018

Ecole doctorale : ED 181 (SIMEM) - Structures, Information, Matières et  
Matériaux

**Titre de la thèse**

**Apprentissage et exploitation de représentations sémantiques  
pour la classification et la recherche d'images**

**Encadrement**

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Encadrant : Stéphane Herbin - ONERA

Directeur de thèse : Frédéric Jurie - Université de Caen

**Financement**

Région Normandie & ONERA

**Défi scientifique**

Perception  
artificielle  
multimodale

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



**Contact :** [Stephane.Herbin @ onera.fr](mailto:Stephane.Herbin@onera.fr)

## Résumé

Dans cette thèse nous étudions différentes questions relatives à la mise en pratique de modèles d'apprentissage profond. En effet malgré les avancées prometteuses de ces algorithmes en vision par ordinateur, leur emploi dans certains cas d'usage réels reste difficile. Une première difficulté est, pour des tâches de classification d'images, de rassembler pour des milliers de catégories suffisamment de données d'entraînement. C'est pourquoi nous proposons deux nouvelles approches adaptées à ce scénario d'apprentissage, appelé «classification zero-shot». L'utilisation d'information sémantique pour modéliser les classes permet de définir les modèles par description, par opposition à une modélisation à partir d'un ensemble d'exemples, et rend possible la modélisation sans donnée de référence. L'idée fondamentale du premier chapitre est d'obtenir une distribution d'attributs optimale grâce à l'apprentissage d'une métrique, capable à la fois de sélectionner et de transformer la distribution des données originales. Dans le chapitre suivant, contrairement aux approches standards de la littérature qui reposent sur l'apprentissage d'un espace d'intégration commun, nous proposons de générer des caractéristiques visuelles à partir d'un générateur conditionnel. Une fois générés ces exemples artificiels peuvent être utilisés conjointement avec des données réelles pour l'apprentissage d'un classifieur discriminant. Dans une seconde partie de ce manuscrit, nous abordons la question de l'intelligibilité des calculs pour les tâches de vision par ordinateur. En raison des nombreuses et complexes transformations des algorithmes profonds, il est difficile pour un utilisateur d'interpréter le résultat retourné. Notre proposition est d'introduire un «goulot d'étranglement sémantique» dans le processus de traitement. La représentation de l'image est exprimée entièrement en langage naturel, tout en conservant l'efficacité des représentations numériques. L'intelligibilité de la représentation permet à un utilisateur d'examiner sur quelle base l'inférence a été réalisée et ainsi d'accepter ou de rejeter la décision suivant sa connaissance et son expérience humaine.



*"Zero-shot learning" par génération conditionnelle de caractéristiques d'image*

# Développer de nouvelles techniques de reconstruction de modèles 3D de grande dimension pour les appliquer à des systèmes d'acquisitions vidéos embarqués sur drones

## Calum BURNS

Thèse soutenue le 23 mars 2018

Ecole doctorale : ED 580 (STIC) - Sciences et Technologies de l'Information  
et de la Communication - Paris-Saclay

### Titre de la thèse

## Super Résolution de texture pour la reconstruction 3D fine

### Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Encadrant : Aurélien Plyer - ONERA

Directeur de thèse : Frédéric Champagnat - ONERA

### Financement

ONERA

### Défi scientifique

Perception  
artificielle  
multimodale

[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



**Contact :** Frederic.Champagnat @ onera.fr

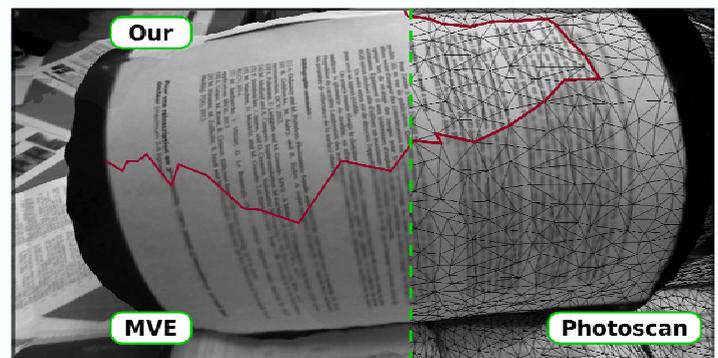
## Super Résolution de texture pour la reconstruction 3D fine

### Résumé

La reconstruction 3D multi-vue atteint désormais un niveau de maturité industriel : des utilisateurs non-experts peuvent produire des modèles 3D large-échelle de qualité à l'aide de logiciels commerciaux. Ces reconstructions utilisent des capteurs haut de gamme, LIDAR et DSLR, montés sur un trépied et déplacés autour de la scène. Ces protocoles d'acquisition sont mal adaptés à l'inspection d'infrastructures de grande taille. Avec l'évolution rapide des capacités des micro-drones, il devient envisageable de leur confier ce type de tâche. Un tel choix modifie les données d'acquisition : on passe d'un ensemble restreint de photos de qualité, soigneusement acquises, à une séquence d'images à cadence vidéo, sujette à des variations de qualité image dues, par exemple, au bougé et au défocus. Les données vidéo posent problème aux logiciels de photogrammétrie du fait de la combinatoire élevée engendrée par le grand nombre d'images. Nous proposons d'exploiter l'intégralité des images en deux étapes. Au cours de la première, la reconstruction 3D est obtenue en sous-échantillonnant temporellement la séquence. Lors de la seconde, la restitution haute résolution de texture est obtenue en exploitant l'ensemble des images. L'intérêt de la texture est de permettre de visualiser des détails fins du modèle numérisé qui ont été perdus dans le bruit géométrique de la reconstruction. Cette augmentation de qualité se fait via des techniques de Super Résolution (SR).

Pour atteindre cet objectif nous avons réalisé une chaîne algorithmique fournissant un modèle 3D de la scène avec une texture sur-résolue. Cette chaîne part d'un algorithme de reconstruction 3D multi-vues de l'état de l'art pour la partie géométrique. Notre contribution centrale est la méthode de recalage employée afin d'atteindre la précision sub-pixellique requise pour la SR. Contrairement aux données classiquement utilisées en SR, nos prises de vues sont affectées par un mouvement 3D, sur une scène à géométrie 3D, ce qui entraîne des mouvements image complexes. La précision des méthodes de reconstruction 3D est insuffisante pour la SR et nous appliquons un raffinement par flot optique. Cette restitution de texture SR est d'abord comparée qualitativement à une approche concurrente de l'état de l'art, complétée par une évaluation quantitative de qualité image. Nous avons élaboré une technique d'évaluation quantitative de techniques de SR appliquées sur des surfaces 3D fondée sur des mires fractales binaires dont nous étendons l'usage sur des surfaces courbes. Cette méthode s'applique à l'évaluation de toute texturation de modèle 3D.

Enfin, les surfaces spéculaires induisent des artefacts au niveau des résultats de SR dus à la perte de photoconsistance des pixels au travers des images à fusionner. Nous avons proposé deux méthodes correctives permettant de recalibrer photométriquement nos images et restaurer la photoconsistance et montrons leur capacité à éliminer ces artefacts.



*Patch de texture SR 3D obtenu à partir du maillage Photoscan.  
En dehors du trait rouge, texture obtenue par MVE*

# Améliorer la performance des systèmes de navigation pour piétons par fusion d'informations visuelles et de mesures du champ magnétique

**David CARUSO**

Thèse soutenue le 1er juin 2018

Ecole doctorale : ED 580 (STIC) - Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication - Paris-Saclay

**Titre de la thèse**

**Amélioration des méthodes de navigation vision-inertiel par exploitation des perturbations magnétiques stationnaires de l'environnement**

**Encadrement**

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Encadrants : Alexandre Eudes & Martial Sanfourche - ONERA  
David Vissière - Sysnav

Directeur de thèse : Guy Le Besnerais - ONERA

**Financement**

CIFRE Sysnav

**Défi scientifique**

Perception  
artificielle  
multimodale

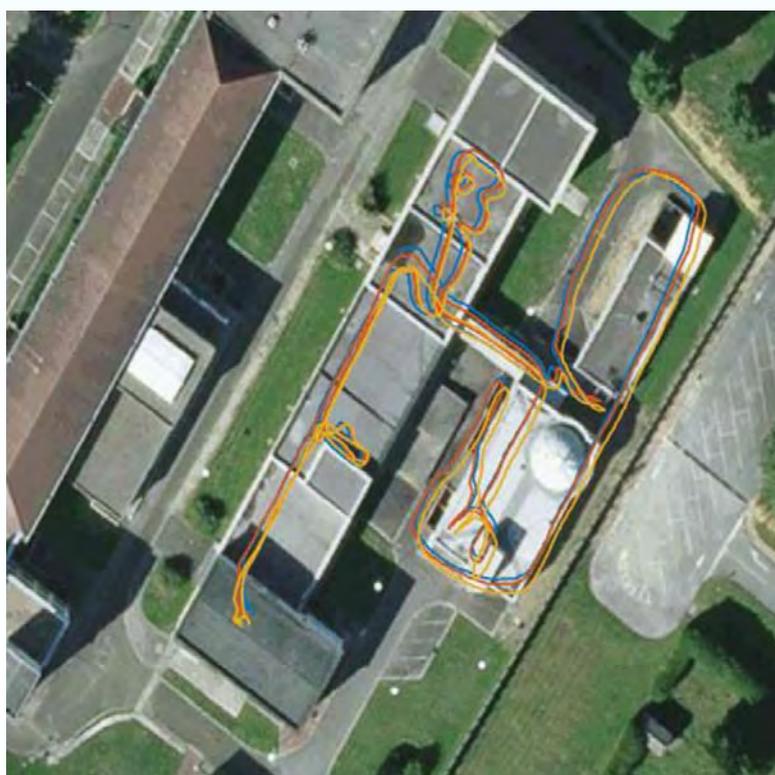
[www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)



**Contact :** [Guy.Le\\_Besnerais @ onera.fr](mailto:Guy.Le_Besnerais@onera.fr)

## Résumé

Cette thèse s'intéresse à l'estimation de la position et de l'orientation d'un piéton dans un contexte de réalité augmentée et aborde spécifiquement les solutions à base de capteurs embarqués. Aujourd'hui, les systèmes de navigation vision-inertiel commencent à combler les besoins spécifiques de cette application. Ces systèmes requièrent la disponibilité d'informations visuelles à cadence élevée pour pallier la rapide dérive des capteurs inertiels bas-coûts. Ils sont donc mis en défaut lorsque l'environnement visuel est défavorable (zones obscures, fumées). Parallèlement, des travaux récents ont démontré qu'il était possible de réduire la dérive de l'intégration inertielle en exploitant le champ magnétique, grâce à un nouveau type de centrale inertielle bas-coût composée – en plus des accéléromètres et gyromètres traditionnels – d'un réseau de magnétomètres. Néanmoins, ce capteur est mis en défaut si le champ magnétique autour du capteur est trop uniforme ou temporellement instationnaire. Ces travaux portent sur le développement d'une solution de navigation à l'estime robuste combinant toutes ces sources d'information : magnétiques, visuelles et inertielles. Plusieurs approches pour la fusion de ces données, basées sur des méthodes de filtrage ou d'optimisation, sont présentées. Un modèle de prédiction du champ magnétique inspiré d'approximation proposées en inertiel et permettant d'intégrer efficacement des termes magnétiques dans les méthodes d'ajustement de faisceaux est développé. Les performances de ces différentes approches sont évaluées sur des données réelles et le bénéfice de la fusion de données comparées aux solutions vision-inertielles ou magnéto-inertielles est démontré. Des propriétés théoriques de ces méthodes liées à la théorie de l'invariance des estimateurs sont également étudiées.



*Exemples de trajectoires piétons estimées par les méthodes développées dans la thèse (traits rouge et bleu) et par une méthode de fusion vision-inertiel de l'état de l'art (trait jaune). La dérive en position est de moins de 0,4% de la distance totale parcourue*



# Habilitations à Diriger des Recherches soutenues en 2018

<b>MEIMON Serge</b> - Haute Résolution Angulaire, de l'astronomie au corps humain .....	196
<b>ROOS Clément</b> - Advanced control laws design and validation - A set of methods and tools to bridge the gap between theory and practice .....	198
<b>ORIoT Hélène</b> - Imagerie SAR haute-résolution aéroportée .....	200
<b>CASSAING Frédéric</b> - Conception et cophasage de systèmes optiques multi-pupilles.....	202
<b>INGUIMBERT Christophe</b> - Les effets des radiations de l'environnement spatial sur les matériaux et systèmes spatiaux.....	204

**Serge MEIMON**

HDR soutenue le 8 mars 2018

Université Paris-Diderot

Spécialité : Physique

**Haute Résolution Angulaire, de l'astronomie  
au corps humain**

**Composition du jury**

Claude BOCCARA

Professeur, ESPCI, Paris

Marc FERRARI

Astronome, Laboratoire d'Astrophysique de Marseille

Gérard ROUSSET

Professeur, Université Paris Diderot - Paris 7

Rémi CARMINATI

Professeur, ESPCI, Paris

Delphine DÉBARRE

Chargée de Recherche, LiPHY

## Résumé

Les travaux exposés portent sur des techniques de haute résolution angulaire appliquées à l'astronomie et à l'ophtalmologie.

La première partie, correspondant à la thèse et l'après thèse immédiat, concernent le traitement de données et la conception de systèmes interférométriques.

La deuxième partie de ces travaux porte sur l'optimisation des différents ingrédients d'une boucle d'optique adaptative pour l'astronomie. Ils incluent le développement d'une stratégie d'étalonnage de la matrice d'interaction, d'une technique d'identification en ligne de la statistique des vibrations présentes sur le télescope permettant d'en maximiser la réjection, et la proposition de concepts d'analyse de front d'onde.

La troisième partie de ces recherches est orientée vers l'imagerie à haute résolution de la rétine humaine. En particulier, elle décrit la construction d'un modèle statistique inédit des mouvements et aberrations oculaires, établi à partir d'une campagne de mesure sur plus de 50 yeux. Ce modèle permet en particulier de prédire les performances d'imagerie atteintes en fonction des paramètres clé du système : nombre d'actionneurs et cadence de la boucle d'optique adaptative. Sur la base de ces connaissances, la plateforme d'optique adaptative ECUROeil a été bâtie, et livre aujourd'hui des images de haute qualité de la rétine de sujets sains comme de patients.

Enfin, une dernière partie présente des perspectives de recherches, vers la chirurgie laser de la rétine et l'exploration du réseau neuro-vasculaire rétinien.

**The development of enhanced computational tools for control systems analysis and design is a key step in reducing the time and cost required for control laws validation and certification**

## **Clément ROOS**

HDR soutenue le 16 avril 2018  
Université Toulouse III - Paul Sabatier  
Spécialité : Automatique

**Advanced control laws design and validation -  
A set of methods and tools to bridge the gap  
between theory and practice**

### **Composition du jury**

Michel BASSET	Professeur, Université de Haute-Alsace
Jean-Marc BIANNIC	Directeur de recherche, ONERA
Patrick DANES	Professeur, Université de Toulouse
Andrés MARCOS	Professeur, Université de Bristol
Isabelle QUEINNEC	Directrice de recherche, LAAS-CNRS
Gérard SCORLETTI	Professeur, Ecole Centrale de Lyon
Peter SEILER	Professeur, Université du Minnesota
Matthew TURNER	Professeur, Université de Leicester



**Université  
de Toulouse**



## **Résumé**

Many real-world applications suffer from strong cost constraints or weight limitations, which dictate the use of potentially low performance hardware (actuators, sensors, onboard computers). For example, the access to space is becoming significantly easier and cheaper with the advent of nanosats, and low-cost launchers must be developed to promote this new economic model. In the military domain, one of the most topical issues is to improve the precision and to enhance the range of traditional artillery shells in the modern battlefield, while significantly reducing costs. And UAV are now widely used to perform a large number of demanding missions.

So there is a real need to control various kinds of systems on extended operational domains in the presence of hardware limitations, uncertainties, varying parameters as well as actuator saturations. In this context, our contribution lies at the frontier between research and engineering. Based on known theories and results in the fields of LFR modeling,  $\mu$ /IQC/Lyapunov-based analysis, as well as analysis of saturated systems, we first try to develop validation methods that can be applied to real-world issues with a reasonable computational cost.

Heuristics sometimes replace rigorous mathematical proofs, but we believe this is the price to pay for bridging the gap between theory and practice. Many efforts are also invested in the development of generic computational tools designed for control engineers. Then, we show how these methods and tools can be directly integrated into the control laws design process, so as to reduce a little bit the number of iterations between design and validation in an industrial context. The next step will be to face the implementation constraints.

Thanks to our growing involvement in ONERA's UAV lab, the proposed control architectures will be implemented and validated first by hardware-in-the-loop simulations and then by flight tests.

The feedback will allow us to take a fresh look at our design and validation methodologies, and to further improve them.

**Hélène ORIOT**

HDR soutenue le 16 mai 2018

Université Paris-Saclay

Spécialité : Physique

**Imagerie SAR haute-résolution aéroportée**

**Composition du jury**

Mihai DATCU	German Aerospace Center
Eric POTTIER	IETR, Université de Rennes I
Emmanuel TROUVÉ	Polytech'Annecy-Chambéry
Sylvie MARCOS	L2S, CNRS
Jean-Marie NICOLAS	Telecom ParisTech
Hubert CANTALLOUBE	ONERA

## Résumé

Avec la multiplication des systèmes spatiaux, l'imagerie radar fait l'objet de nombreux travaux de recherche. En France, la majorité des travaux se concentre sur l'exploitation des images radar spatiales, de résolution de plus en plus fine. Le domaine aéroporté concerne une communauté plus restreinte étant donnée la moindre disponibilité de tels vecteurs. Ce mémoire a pour vocation de présenter les spécificités de l'imagerie radar aéroportée haute résolution et d'en comprendre les impacts sur les applications multi-voies.

Une première partie est consacrée à l'analyse théorique du traitement SAR aéroporté dans ses différentes modalités. Les diverses approches de traitement SAR adaptées à la haute résolution sont présentées selon un point de vue géométrique plutôt que fréquentiel. Puis, toujours sous ce même angle, les principes des traitements multivoies sont abordés en insistant sur les phénomènes apparaissant avec l'amélioration de la résolution : lien entre recalage d'images et phase interférométrique, comportement des rétrodiffuseurs ponctuels, surfaciques et anisotropes.

Une deuxième partie est consacrée à l'étude de l'impact d'un système réel d'acquisition sur le traitement SAR et les applications multivoies. Les problématiques liées à la chaîne radar, aux diagrammes d'antennes, aux trajectoires non linéaires sont abordées.

Enfin, différents travaux d'exploitation d'images radar aéroportées haute résolution (calibration de données polarimétriques, extraction du 3D, détection de cibles mobiles) illustrent le propos.

**Frédéric CASSAING**

HDR soutenue le 4 octobre 2018

Observatoire de Paris

Spécialité : Physique

**Conception et cophasage de systèmes optiques  
multi-pupilles**

**Composition du jury**

Riad HAÏDAR	ONERA
François HÉNAULT	Institut de Planétologie et d'Astrophysique de Grenoble
Maud LANGLOIS	Centre de Recherche Astrophysique de Lyon
Agnès MAÎTRE	Institut des NanoSciences de Paris
Vincent MICHAU	ONERA
Marc OLLIVIER	Institut d'Astrophysique Spatiale, Orsay
Gérard ROUSSET	Laboratoire d'Etudes Spatiales et d'Instrumentation en Astrophysique, Meudon



### Résumé

Ce domaine de recherche s'insère dans la thématique "Maîtrise de la surface d'onde, optique adaptative", au sein de l'unité Haute Résolution Angulaire du Département Optique et Techniques Associées de l'ONERA. Plus particulièrement, il porte sur les Systèmes Multi-Pupilles (SMPs) dont les sous-pupilles sont combinées pour observer un objet avec une résolution atteignant la limite de diffraction. Après quatre décennies d'importantes évolutions, les SMPs optiques produisent aujourd'hui des résultats astronomiques de premier plan et sont considérés pour des missions de plus en plus ambitieuses.

Le principal objectif des travaux est d'apporter des réponses simples aux trois principales difficultés soulevées par les SMPs optiques par rapport aux instruments optiques mono-pupilles classiques ou aux SMPs d'autres domaines. Pour le choix du positionnement des sous-pupilles, une méthodologie est proposée pour définir rapidement une configuration très lacunaire quasi-optimale à partir de spécifications de haut-niveau. Pour la conception optique d'un réseau phasé de télescopes, les différentes aberrations pouvant intervenir, certaines étant spécifiques aux SMPs, sont classées en fonction de leur dépendance en champ. Leur quantification permet d'établir un budget de qualité optique pour un SMP imageur et montre comment la complexité des télescopes peut être relâchée par une analyse de la formation d'image. Pour la combinaison des faisceaux avec correction des perturbations, des architectures basées sur une co-conception du dispositif optique et des algorithmes de traitement sont décrites. Leur présentation par complexité croissante, des interféromètres à deux modes guidés aux imageurs par diversité de phase, permet de mieux appréhender l'influence du nombre de modes et de transposer des algorithmes interférométriques analytiques au contexte de l'imagerie où la phase est habituellement évaluée par des estimateurs approchés ou itératifs.

Le deuxième objectif est de valider (numériquement ou expérimentalement) ces résultats théoriques et de les appliquer dans divers contextes. Les principales contributions incluent : la définition et le cophasage du banc CNES/PERSEE, démonstrateur d'une mission spatiale de caractérisation d'exoplanètes, ayant obtenu une extinction record meilleure que 1:100 000 en bande large ; la contribution à la définition du système de stabilisation de franges de l'instrument VLTI/GRAVITY ; la démonstration en laboratoire d'une procédure d'alignement automatique d'un SMP, préfigurant les futurs télescopes spatiaux déployés soumis à des aberrations de grande amplitude, sans dispositif autre que les actionneurs des segments et le capteur en plan focal. Enfin, le dernier objectif est de promouvoir la diffusion des SMPs hors de la niche de la très haute résolution angulaire astronomique, à l'instar des SMPs désormais couramment utilisés dans les domaines de l'acoustique ou des radio-fréquences. Cette mutation pourrait passer par le télescope GALETTE, imageur grand champ d'épaisseur réduite par utilisation d'un réseau de sous-télescopes, ou diverses méthodes d'analyse de surface d'onde d'origine interférométrique.

**Christophe INGUIMBERT**

HDR soutenue le 14 décembre 2018  
Université Toulouse III - Paul Sabatier  
Spécialité : Génie électrique, électronique, photonique

**Les effets des radiations de l'environnement spatial  
sur les matériaux et systèmes spatiaux**

**Composition du jury**

Jean-Luc AUTRAN	IM2NP, Marseille
Laurent DUSSEAU	Centre Spatial Universitaire, Montpellier
Bénédicte ESCUDIER	ISAE SUPAERO, Toulouse
Omar JBARA	LISM, Reims
Gilbert TESSEYDRE	LAPLACE, Toulouse



Université  
de Toulouse



## **Résumé**

L'environnement radiatif spatial des satellites qui gravitent autour de la Terre est la source d'une proportion importante d'anomalies enregistrées au cours des missions. Ces aléas, qui perturbent le déroulement nominal de la mission, contribuent à réduire la durée de vie des engins spatiaux, mais peuvent également occasionner la perte de certaines fonctions, voire celle du satellite lui-même. Aucun système n'est épargné par les radiations. Ces phénomènes vont de la dégradation des propriétés thermo-optiques des peintures, aux erreurs numériques dans l'électronique des ordinateurs de bord. Le travail présenté dans cette Habilitation à Diriger des Recherches, s'articule autour du développement de modèles physiques et de méthodes numériques consacrés au transport et aux effets des particules dans la matière. Dans le cadre du contrôle de l'effet multipactor dans les composants radio-fréquence, la modélisation par méthode de Monte Carlo, de l'émission électronique secondaire est présentée. Sont également abordés : le déclenchement, par les électrons de l'environnement spatial, d'erreurs dans l'électronique numérique, ainsi que la dérive des caractéristiques de fonctionnement des composants optoélectroniques via l'altération de la structure cristalline des matériaux semi-conducteurs induite par les rayonnements.



# Thèses en cours au 1<sup>er</sup> janvier 2019

## Matériaux et Structures

**MOULIN Johann** - Dynamique et contrôle d'instabilités aéro-élastiques pour des applications aéronautiques

**BOURAS Nadine** - Conception vibro-acoustique de panneaux sandwich intégrant le principe du cristal phononique

**CECCACCI Sylvain** - Etude des interactions substrat-revêtement pour l'optimisation d'alliages TiAl haute performance

**DABAS Benoit** - Modélisation de l'évolution microstructurale des matériaux métalliques en conditions extrêmes

**DEBARRE Antoine** - Les composites oxyde/oxyde en conditions extrêmes

**HAMMA Juba** - Phase field modeling of microstructure evolutions in TRIP/TWIP titanium alloys

**JIANG Maoyuan** - Prise en compte de l'écroissage cinématique et des hétérogénéités de déformation dans une loi de plasticité cristalline

**LACOUR-GOGNY-GOUBERT Antoine** - Etude d'alliages réfractaires à concentration complexe pour application aéronautique

**MALARD Virgil** - Etude d'alliages à base de siliciures de niobium obtenus par frittage-flash

**MATHIVET Virginie** - Géopolymère en milieu acide : Compréhension du processus réactionnel et développement de composites

**ODINOT Julie** - Optimisation d'une nouvelle méthode de fabrication additive pour les matériaux céramiques : de la poudre à la pièce

**PIVEN Kseniia** - Optimisation des propriétés de phases MAX à haute température

**PLAUD Alexandre** - Caractérisations structurales et optiques d'hétérostructures 2D

**PRÉVOST Henri** - Hétérostructures à base de feuillets de BN et de graphène : synthèse et propriétés

**SERRANO Pierre** - Fatigue multiaxiale d'un alliage TiAl de 2<sup>ème</sup> génération

**VAUBOIS Thomas** - Étude et optimisation d'alliages TiAl du système Ti-Al-W élaborés par métallurgie des poudres

**ARCHER Thibaut** - Caractérisation et modélisation des mécanismes de fissuration d'un revêtement sur composite à matrice céramique sous environnement thermique

**BENETTI RAMOS Luis Henrique** - Assimilation de données expérimentales pour l'étude des instabilités aéro-élastiques

**BERTHELON Thomas** - Prévion de la réponse forcée fan et OGV sous ingestion de vortex

**CADIOU Bastien** - Protection de structures soumises à des sollicitations dynamiques à l'aide d'un absorbeur non-linéaire

**CHAIBI Salim** - Préviation des dommages induits par petits chocs au sein de matériaux composites stratifiés de plis unidirectionnels de quatrième génération

**DAGORN Noëlig** - Caractérisation de la rupture d'interfaces collées Ti/CMO sous chargement dynamique et multiaxial

**DEVO William** - Study and characterization of contact, friction, heating and abrasion phenomena for metallic and organic matrix composite materials

**EON Luis** - Modélisation multi-physique de la propagation d'une fissure courte dans des matériaux ductiles

**FERNANDES PEREIRA Edi** - Développement et validation de méthodologies de calcul de la durée de vie de structures multi-perforées : effets de gradient en interaction fatigue / fluage

**FOURRIER Guillaume** - Modèle mésoscopique de prévision de l'évolution de l'endommagement de matériaux tissés sains et en présence de défauts

**GERMAIN Jérémie** - Evaluation des capacités prédictives et de la robustesse de modèles à bases physiques à la prévision de la tenue des structures composites présentant des singularités géométriques

**GOUTAUDIER Dimitri** - Détection de chocs sur un avion au sol

**LE MESTRE Robin** - Détermination numérique et expérimentale des masses, raideurs et amortissements ajoutés par les fluides internes et externes à un dirigeable

**MARQUEZ COSTA Juan Pablo** - Performances mécaniques résiduelles des matériaux composites soumis au feu

**MEDEAU Victor** - Proposition d'une loi d'endommagement et de rupture robuste pour la prévision de la ruine de structures composites tissées 3D à matrice organique

**MULLER Laura** - Estimation accélérée de la tenue en fatigue des matériaux et structures composites par l'application de techniques de vibrothermographie

**PAGANO Fabrizio** - Préviation de la durée de vie de structures stratifiées unidirectionnelles

**RANAIVOMIARANA Narindra** - Optimisation de forme des structures aéronautiques composites

**SAFFAR Florence** - Procédés thermoplastiques bas-coûts : procédé hors autoclave pour la consolidation de thermoplastiques

**SALLY Orianne** - Stratégies de calcul pour la prévision de la durée de vie de structures composites : Application aux pièces Oxyde/Oxyde sous chargements complexes en fatigue

**SAVINE Florent** - Développement d'une stratégie d'optimisation pour les structures raidies composites

**SÉVIN Louise** - Développement de Matériaux Ultra Haute Température : Optimisation des Propriétés Thermomécaniques d'un Composite FGM

**THOBY Jean-David** - Conception d'un essai innovant pour la caractérisation de comportements matériaux anisotropes en dynamique ultra-rapide par la Méthode des Champs Virtuels

**VINEL Adrien** - Caractérisation thermomécanique du comportement dynamique des métaux via mesures de champs ultra-rapides

**VOREUX Olivier** - Modélisation de la propagation de fissure en fatigue par une approche locale de la rupture

**ZAID Maël** - Étude, modélisation et simulation de la fissuration en mode I + II de pièces de boîte de vitesse d'hélicoptères à gradient de propriété, en fatigue de roulement

**MOREIRA DA SILVA Cora** - Développer une stratégie de synthèse des catalyseurs métalliques pour la croissance sélective de nanotubes de carbone

## Mécanique des Fluides et Energétique

**DI DONFRANCESCO Fabrizio** - Reduced order model of the Navier-Stokes equations for aeroelastic applications

**JAHANPOUR Emilie** - Développement et mise en œuvre d'une approche psycho-physio-acoustique pour le contrôle temps réel de l'impact du bruit en cabine d'hélicoptère

**DUCAFFY Félix** - Etude expérimentale de l'influence de la rugosité de surface sur la transition laminaire/turbulent d'une couche limite en écoulement incompressible

**FRANCOZ David** - Développement de la métrologie acoustique en soufflerie

**LANZILLOTTA Lorenzo** - Reconstruction de champs instantanés de masse volumique par BOS 3D autour d'une maquette d'essai

**ARNOULT Guillaume** - Modélisation de la trajectoire d'un projectile gyro-stabilisé muni d'un dispositif de contrôle

**BOLLE Tobias** - Simulation and spatial stability analysis of the wandering of wing tip vortices

**CARBONE Giovanni** - Comportement dynamique d'un dirigeable en écoulement non homogène

**CASTELLS Camille** - Etude phénoménologique du décrochage dynamique sur un rotor d'hélicoptère en vol d'avancement

**CHANZY Quentin** - Optimisation du contrôle de décollement en écoulement transsonique de canal

**DEVEAUX Benjamin** - Contrôle de l'écoulement de jeu d'une aube de compresseur

**DRYSDALE Catherine** - Stability and sensitivity analysis of bi stable turbulent flows: the case of slender body at high angle of attack

**DUBOIS Pierre** - Analyse et reconstruction d'un écoulement urbain pour la navigation de petits drones en milieu non-homogène

**FOURNIS Camille** - Méthode d'extraction des coefficients aérodynamiques basée sur le vecteur de Lamb

**FRANCESCHINI Lucas** - Assimilation de mesures expérimentales avec des équations de Navier-Stokes moyennées complétées avec un modèle de turbulence de Spalart-Allmaras

**GALIVEL Simon** - Physique des écoulements de culot aux hautes vitesses

**GRATADEIX Anthony** - Investigation of recirculation bubble control with 3D time-resolved PIV

**HARRY Rémi** - Modélisation des transferts thermiques sur paroi givrée par méthode intégrale 3D

**KANTHARAJU Jahnvi** - Contrôle expérimental du mélange dans les jets axisymétriques turbulents

**LEFIEUX Julien** - Étude du déclenchement de la transition en régime hypersonique au moyen de la simulation directe

**MARCHENAY Yann** - Modélisation de la turbulence en présence de rugosité et de soufflage en régime hypersonique

**METHEL Jeanne** - Etude expérimentale de l'influence de défaut de surface sur la transition laminaire turbulente d'une couche limite aspirée

**OTT Célestin** - Amélioration de l'efficacité d'une interaction jet/couche limite par identification expérimentale des mécanismes dynamiques en jeu

**REYNAUD Johan** - Étude de méthodes de prévision des interactions de jet pour les arrière-corps de lanceurs spatiaux

**THEULIER Tanguy** - Modélisation stochastique du ruissellement pour l'accrétion de givre

**THORAVAL Baptiste** - Etude expérimentale de la formation et du comportement de ruisselets sur une paroi

**TOUSSAINT Damien** - Couche limite turbulente sur paroi rugueuse: étude expérimentale et théorique

**VAUCHEL Nicolas** - Sensibilité et robustesse du comportement des avions au voisinage et au delà du décrochage aux modèles de représentation

**WAKIM Arnold** - Improved Lidar measurements of wake vortices using data assimilation

**AVERSENG Mathias** - Modélisation et simulation aux grandes échelles de l'atomisation assistée

**CHMIELARSKI Vivien** - Simulation of the aircraft jet/wake interaction and its impact on contrail formation using RANS and RANS/LES hybrid approaches

**HAJCZAK Antoine** - Caractérisation aéroacoustique des sources de bruit de train d'atterrissage par décomposition orthogonale aux valeurs propres

**LAVOIE Pierre** - Méthode de frontières immergées pour la modélisation du givrage en vol des avions

**PLANTE Frédéric** - Etude des cellules de décrochage

**SAINT-JAMES Julien** - Prédiction de la transition laminaire-turbulent dans le code elsA. Extension de la méthode des paraboles aux parois chauffées.

**SALEM Rami** - Simulation du chargement thermique instationnaire par simulation hybride RANS/LES et couplage aérothermique dans une turbine haute-pression

**TORRENTE PARDO Miguel** - Physical understanding & advanced numerical simulation of the helicopter "tail-shake" phenomenon

**VAQUERO Jaime** - Simulations avancées de décollements turbulents au voisinage des parois des véhicules aéronautiques

**XAVIER Thibault** - Simulation numérique directe de l'impact de SLD (Supercooled Large Droplet) sur une paroi

**LAFONT Victor** - Etude expérimentale et modélisation multiphysique d'un liner aéroacoustique soumis à des gradients thermiques

**ADJANOHOUN Loïc** - Simulation de la dégradation d'un matériau composite soumis à une flamme de kérosène

**DROUET Vincent** - Modélisation aérothermodynamique des écoulements hypersoniques d'arrière corps des débris orbitaux

**FERREIRA SABINO Diogo** - Harmonic Balance approach for unsteady data-assimilation in aeroelasticity

**VANGHELE Loïc** - Analyse aérothermique de la rentrée atmosphérique du vol de l'Intermediate eXperimental Vehicle (IXV)

**AMINANE Soraya** - Mécanismes thermo-oxydatifs et de formation de dépôts solides dans les carburants

**BERTHIER Antoine** - Impact des biocarburants dans les émissions des moteurs

**BOUCHARD Michel** - Simulations ZDES des écoulements transitionnels au sein d'étages de turbomachines

**CADER Adil** - Simulation numérique du bruit à large bande dû à l'interaction rotor-stator à l'aide d'un code de propagation Euler couplé à un modèle de turbulence synthétique

**CHARTON Virgile** - Modélisation de l'accrétion de glace dans les moteurs en condition cristaux

**COLOMBIÉ Arthur** - Amélioration de la prévision du refroidissement par impact à l'aide d'un modèle de turbulence anisotrope

**CORDESSE Pierre** - Contribution à l'étude des instabilités de combustion dans les moteurs cryotechniques : couplage entre modèles à interfaces diffuses et modèles cinétiques pour la simulation de l'atomisation primaire

**CROUZY Gaétan** - Modélisation thermique avancée d'une paroi multiperforée de chambre de combustion aéronautique avec dilution giratoire : modélisation et simulation des essais SAPHIR

**DELLINGER Nicolas** - Modélisation des émissions polluantes dans les chambres de combustion aéronautiques

**DESCLAUX Anthony** - Etude expérimentale du comportement linéaire et non linéaire d'une flamme diphasique soumise à une excitation acoustique. Mise en œuvre d'une méthode de contrôle adaptative

**DOUBLET Pierre** - Conditions aux limites du brouillard en conditions d'allumage

**DURAND Jean-Etienne** - Etude d'un concept de chambre de combustion pour propulseur hybride pour application satellite

**FRAGGE Béatrice** - Allumage d'une chambre de combustion par retournement temporel micro-onde

**FRANCOIS Laurent** - Modélisation et simulations multiphysiques dans les moteurs à propergol solide

**LEVARD Quentin** - Développement et optimisation d'un propulseur à monergol vert pour application satellite

**LOUSTAU Marie** - Analyse du comportement et de l'atomisation d'un film eau/huile en présence d'un cisaillement gazeux

**LUGRIN Mathieu** - Etude de l'interaction visqueuse avec décollement en régime hypersonique

**MONTSARRAT Christophe** - Modélisation de l'effet du jeu radial de sommet de roue mobile sur les performances aérodynamiques d'un compresseur

**MULLER Mathieu** - Modélisation de la combustion de particules d'aluminium dans les conditions d'un moteur-fusée à propergol solide

**PAYSANT Romain** - Prédiction de l'impact thermique des gaz d'échappement moteurs d'hélicoptères (phénoménologie, modélisation numérique et validation expérimentale)

**PELLETIER Guillaume** - Etude numérique d'un foyer à combustion supersonique; calculs RANS et LES, comparaison aux résultats expérimentaux

**PERRON Nicolas** - Modélisation de la dégradation thermo-structurale des débris spatiaux durant la rentrée atmosphérique

**ROUSSEAU Lola** - Etude expérimentale et modélisation du comportement d'un brouillard de carburant à haute température : influence des interactions inter-gouttes sur son évaporation

**SCHOULER Marc** - Modélisation des écoulements en régime hypersonique raréfié par approche probabiliste : application aux satellites à très basse orbite

**STORCK Guillaume** - Modélisation des instabilités de combustion de haute fréquence dans les moteurs-fusées cryogéniques en conditions d'injection subcritique

## Physique

**ANDRAUD Vincent** - Etude expérimentale du déplacement de l'arc électrique lors d'un foudroiement d'aéronef

**LAYLY Jean-Baptiste** - Micro-décharges en milieu confiné : processus fondamentaux et application à l'interaction foudre-matériaux

**CHEVALIER Pier-Henri** - Développement de l'imagerie LIF sur l'aluminium pour la caractérisation de flammes de propergols solides aluminisés

**CORBAS Vincent** - Exploitation tomographique de la spectroscopie d'absorption de multiples faisceaux laser à multi-longueurs d'ondes pour la cartographie des espèces chimiques dans les chambres de combustion

**PAULIEN Lucas** - Etude de la faisabilité d'un système  $\mu$ LIDAR courte-portée pour l'analyse d'agrégats de suies issus de foyers aéronautiques

**PETERSCHMITT Simon** - Développement d'un propulseur ECR forte puissance

**PORTO HERNANDEZ Jean Carlos** - Modélisation cinétique 3D d'un plasma magnétisé in un propulseur plasma ECR avancé

**AROUNASSALAME Vignesh** - Nouvelles architectures de détecteurs infrarouges "super-réseaux" pour l'infrarouge lointain

**BERTHOMÉ Quentin** - Source paramétrique infrarouge agile en longueur d'onde pour la détection à distance de substances chimiques

**BOHER Micke** - Conception de micro-optiques à l'aide de structures sub-longueurs d'onde

**CARIOU Nathan** - Caractérisation et mise en oeuvre de spectromètres et de spectro-imageurs à haute résolution spectrale intégrés au voisinage du détecteur

**CHAMBOULEYRON Vincent** - Optimisation de senseurs de front d'onde à filtrage de Fourier pour les systèmes d'OA à haute performance

**CHEN Antoine** - Confinement Laser 3D assisté par optique adaptative en milieu perturbé : application à l'imagerie et la chirurgie rétinienne

**CHTOUKI Rodwane** - Nouveaux concepts pour la combinaison cohérente de lasers

**CHU Audrey** - Photodétecteur à base de nanocristaux colloïdaux pour l'infrarouge

**CONSTANS Yohann** - Fusion de données hyperspectrales et panchromatique étendue au domaine infrarouge thermique

**DAUPHIN Maxence** - Absorption infrarouge par processus à deux photons dans les semi-conducteurs

**DUQUESNOY Maxime** - Capteur de gaz à base de laser à cascade quantique et d'un détecteur photo-acoustique

**DUVEAU Louis** - Application des optiques freeforms pour l'imagerie multispectrale

**EL SHAMY Eslam** - Confinement extrême photonique et thermique dans des nanostructures sub-longueur d'onde

**EMERIC Ludivine** - Quantum Plasmonics for Light Absorption and Emission Processes

**ERDMANN Simon** - Imagerie de Speckle Dynamique Polarisé

**FABAS Alice** - Nanostructures métalliques à faible pertes pour la conception de composants optiques haute performance infrarouge et térahertz

**FÉTICK Romain** - Optimisation des processus de traitement d'images à haute résolution dans le visible. Application à l'imagerie de satellite et l'observation astronomique

**GAUDFRIN Florian** - Etude d'un micro-LIDAR hyperspectral dans le domaine visible-moyen infrarouge pour la caractérisation de milieux diffusants

**GIAKOUMAKIS Georges** - Imagerie de phase en rayons X haute résolution pour le contrôle non destructif dynamique de matériaux composite

**GUÉNIN Maxence** - Amélioration de la stabilité temporelle de la qualité image des détecteurs infrarouge matriciels

**HAMOUDI Thomas** - Nouveaux concepts LIDAR pour la caractérisation fine des gaz à effets de serre

**HÉRITIER-SALAMA Cédric** - Calibration and optimisation of complex AO system on Extremely Large Telescope

**HUARD de VERNEUIL Edouard** - Etude de la réponse spectro-spatiale de détecteurs infrarouge refroidis à petits pixels

**KE Zibo** - Prototypes d'Analyseur de Surface d'onde Laser pour ELT

**LAGINJA Iva** - Cophasage de télescopes spatiaux et terrestre pour l'imagerie à hauts contrastes

**LAHYANI Julien** - Lidar 2 $\mu$ m à source hybride fibré/solide pour la télédétection du CO<sub>2</sub> atmosphérique

**LAI-TIM Yann** - Imagerie Haute Résolution de la rétine humaine par illumination structurée assistée par optique adaptative

**LASSALLE Guillaume** - Combinaison de données hyper-spectrales et radar pour l'analyse de l'état de santé de la végétation sous l'influence des hydrocarbures

**LE DU Thurian** - Etude, observation et modélisation de la dynamique atmosphérique dans la haute atmosphère

**LE MÉHAUTÉ Simon** - Lidar bi-fonction CH<sub>4</sub>/Doppler pour la mesure de flux de méthane dans l'atmosphère

**LI Claire** - Etude des propriétés de champ proche des nano-antennes infrarouges

**MAËS Clément** - Plasmonique active sur semiconducteur

**MAS Adrien** - Etude et développement de caméras infrarouges multi-spectrales miniaturisées et à acquisition simultanée des bandes spectrales

**MIRAGLIO Thomas** - Suivi de la résilience du patrimoine arboré méditerranéen par télédétection hyperspectrale

**LOUDIN Jérémy** - Etude de l'emploi des peignes de fréquences pour des applications Lidars

**PAILLIER Laurie** - Elaboration et validation expérimentale d'un modèle de canal de propagation avec optique adaptative pour la détection cohérente

**PINIARD Matthieu** - Contrôle en ligne du processus de fabrication additive par imagerie optique

**PRENGÈRE Léonard** - Commande haute performance pour les optiques adaptatives des télescopes géants (ELT)

**REBEYROL Simon** - Apport d'une voie panchromatique dans le démélange d'image hyperspectrale

**RINALDI Luca** - Compensation des effets de la turbulence atmosphérique sur les liens optiques par optique intégrée

**ROUZÉ Bastien** - Métrologie de surfaces d'ondes morcelées

**SALGADO Sandra** - Correction atmosphérique d'acquisitions hyperspectrales [0.4 - 2.5  $\mu$ m] en présence de nuages

**SAUVAGE Chloé** - Impact de l'environnement atmosphérique sur les liaisons optiques sans fil pour la ville et l'avion du futur

**SOUN Léna** - Nano circuits optiques multi résonants pour l'exaltation d'effets non linéaires

**WALTER Guillaume** - Source paramétrique agile en longueur d'onde pour la détection de gaz en couplage actif/passif

**CRANNY Ronan** - Etude d'une méthode volumes finis et d'un modèle de fils minces obliques pour des applications de Compatibilité Electromagnétiques.

**ECOFFET David** - Caractérisation et modélisation de l'ionosphère aux hautes latitudes pour la propagation des ondes électromagnétiques

**EL IDRISSI ESSEBTEY Salma** - Etude performance mission BIOMASS

**FISNÉ Christophe** - Métasurfaces actives pour applications large bande

**GÉRARD Julien** - Sélection et reconnaissance de drones par Deep Learning

**HERBETTE Quentin** - Gain des antennes et réflectivité des cibles en ondes de surface

**HUSSON Xavier** - Modélisation temporelle du fouillis forestier Radar

**LE MIRE Valentin** - Modélisation de la propagation Terre-Espace en bande Ka dans les zones tropicales et équatoriales

**MIAN Amar** - Exploitation de séries temporelles d'images SAR ou hyper-spectrales

**PAGÈS-MOUNIC Jeanne** - Conception et optimisation de sources primaires d'antennes reconfigurables de type réseau transmetteur pour les applications aérospatiales.

**PLATZER Florestan** - Modélisation du spectre Doppler radar d'une surface de mer en incidence rasante

**RAGAZZO Hugo** - Caractérisation de champs électromagnétiques hyperfréquences par thermo-fluorescence

**SCHICKELE Pierre** - Modélisation de l'émission EM de faisceaux de câbles aéronautiques dans un environnement 3D

**SCHREIBER Floriane** - Estimation des conditions océanographiques par inversion de données issues d'un radar imageur non calibré

**VIVOS Jonathan** - Métamatériaux appliqués à des charges utiles de satellites

**BEN ZAID Abdessamad** - Effets des irradiations de haute énergie sur le comportement électrique des matériaux et systèmes embarqués en environnement spatial

**BONNIN Lucas** - Exploitation des propriétés piézoélectriques des matériaux III-V et application aux capteurs inertiels résonants de type MEMS

**CARON Pablo** - Evénements singuliers induits par les électrons dans les technologies intégrées

**CHAPELLIER Paul** - MEMS piézo-électriques pour applications temps-fréquence dans le domaine aérospatial

**DAHMEN Nour Allah** - Mise en œuvre d'un schéma de résolution implicite dans le code Salammbô de modélisation des ceintures de radiation terrestres

**DELAHAYE Léopold** - Capteurs inertiels innovants

**DEMOL Guillaume** - Etude du comportement physico-chimique et électrique de polymères spatiaux sous irradiation de haute énergie

**DHUICQUE Océane** - Analyse des données de la mission spatiale MICROSCOPE et de ses performances au niveau du femto-g.

**GROSJEAN Eudes** - Caractérisation in-situ et en temps réel des propriétés de contaminants réels

**LANSADE David** - Etude de la dégradation et de la stabilisation de polymères en environnement spatial géostationnaire

- LEMIÈRE Kevin** - Réorganisation et effets des défauts en volume dans les imageurs irradiés
- LEVILLAYER Maxime** - Développement et caractérisation de cellule solaire tri-jonction à fort rendement en environnement spatial
- MALESYS Vincent** - Capteurs de gaz à base de graphène
- MONNIN Loanne** - Etude de l'expansion d'un plasma de décharge à la surface des panneaux solaires de satellites
- OUDAYER Pauline** - Mesure du transport de particules lunaires sous l'effet de l'environnement spatial
- PAILLOUS Fabrice** - Etude de l'interaction plasma/matériau : Application au foudroiement en aéronautique
- PERNOT-BORRAS Martin** - Simulations numériques et analyse des données de la mission MICROSCOPE : Gravitation Modifiée et mécanisme d'écrantage « caméléon »
- PERRIN Isadora** - Développement expérimental d'un gradiomètre à atomes froids
- PETIT Valentine** - Conditioning of surfaces in particle accelerators
- PLAÇAIS Adrien** - Modélisation et mesures de l'émission secondaire de diélectriques et des phénomènes multipactor en présence de champ magnétique pour la fusion nucléaire contrôlée et le spatial.
- RIGOUDY Charles** - Phénomènes d'émission électronique secondaire de matériaux nano-composites innovants pour des applications spatiales
- RIVAL Guilhem** - Optimisation des propriétés électriques d'un polymère thermoplastique hautes performances pour des applications structurales en environnement spatial
- ROSTAND Neil** - Modélisation compacte de l'effet des radiations naturelles des dispositifs sub-28 nm pour des applications automobile et aéronautique
- RUFFENACH Marine** - Moniteur de radiation miniaturisé pour embarquement sur satellite
- ZIMPECK LACKMANN Alexandra** - Évaluation de la robustesse des technologie FinFET 14nm et 7nm à la variabilité des procédés de fabrication et les effets induits par l'environnement radiatif naturel

## Simulation Numérique Avancée

- ARCESE Emanuele** - Modélisation des actionneurs microondes pour le dépôt d'énergie par création d'un plasma
- BENMOUHOUH Farah** - Calcul haute performance, haute précision
- BONNET Luc** - Certification robuste d'un design aérodynamique par des inégalités de concentration de mesures
- GARCIA BAUTISTA Javier** - High-order discontinuous Galerkin LES for aeroacoustic analysis of turbulent jets
- GUILBERT Niels** - Amélioration de l'inversion de grand systèmes creux pour la simulation numérique en mécanique des fluides

**JEANMASSON Guillaume** - Méthode explicite à pas de temps local pour la simulation d'écoulements turbulents instationnaires

**MORETTI Rocco** - Couplage aérothermique fluide-structure transitoire

**NADDEI Fabio** - LES of pulsating flows based on high-order DG methods

**POUSTIS Jean-François** - Amélioration de la précision et réduction du temps de calcul de l'approche Lagrangienne pour la simulation d'écoulements gaz-particules

**RAI Pratik** - Contrôle des erreurs de discrétisation et de modélisation. Application aux écoulements multi-phasiques

**VEILLEUX Adèle** - Conception et validation d'une méthodes multi-éléments pour les différences finies spectrales

**BALMASEDA Mikel** - Modèles réduits de structures non linéaires

**BORAKIEWICZ Eva** - Stratégies de calcul pour la prévision des performances résiduelles de panneaux raidis impactés

**DAVAZE Valentin** - Modélisation numérique de l'amorçage, la propagation et l'arrêt des fissures dans les matériaux ductiles

**MANUECO Lucas** - Étude de la prévision des efforts aérodynamiques sur des configurations nouvelles de lanceurs spatiaux

**AWAD Albert** - Développement d'une méthode de calcul d'écoulements mixtes continus raréfiés pour les jets ionisés de moteur fusée

**GELAIN Matteo** - Caractérisation aérothermique d'un échangeur surfacique (SACOC) intégré en veine secondaire

**MESSAI Nadir-Alexandre** - Méthodes d'éléments finis frontières auto-adaptatives pour la simulation de grandes scènes en propagation d'ondes

## Traitement de l'Information et Systèmes

**AIT OUBELLI Lynda** - Transformations pour l'évolution de modèles de données

**BERTHELIN Gaspard** - Towards a fully uncoupled Multidisciplinary Optimization formulation based on surrogate modelling and uncertainty propagation: application to conceptual aircraft design

**HEBBAL Ali** - Methodologies for multiobjective parallel optimization, application to aerospace vehicle design

**NGUYEN VAN Eric** - Stabilité et contrôle latéral d'un aéronef à petite dérive par utilisation différentielle des systèmes de propulsion ou par actionneur de type volets crocodile ou autre. Utilisation de méthodes de co-design.

**PELAMATTI Julien** - Optimisation multidisciplinaire de lanceurs avec prise en compte de choix technologiques

**SAPORITO Marco** - Robust Analysis and Optimisation Process for Virtual Flight Simulation of Very-flexible Aircraft

**PRIEM Rémy** - Optimisation multidisciplinaire en grande dimension pour la conception Avion avant-projet

**ROUSSE Paul** - Optimisation semi-définie pour la validation des systèmes embarqués

**SGUEGLIA Alessandro** - Exploration of sizing and optimization priorities in Aircraft Design with application to a Blended Wing Body with Distributed Electric Propulsion

**STANCZAK Marvin** - Validation et optimisation des designs de charges utiles des satellites de télécommunication

**BOLLON Florent** - Recognized Cyber Picture et Confiance interpersonnelle : optimiser les activités collaboratives cyber militaires

**BONNEMAINS Vincent** - Modélisation, détection et explication de conflits éthiques dans un système homme - robot

**BOURBOUH Hamza** - Static analyses and model checking of mixed data-flow/control-flow models

**BOURDELLE Anthony** - Commande non linéaire robuste d'un satellite

**BOUZIAT Valentin** - Gestion des aléas dans un système multi-robots

**CAYE DAUDT Rodrigo** - Réseaux profonds pour l'analyse d'activité multi-temporelle en télédétection

**CHAINED Pierre-Julien** - Adéquation des solutions basées TSN aux exigences spatiales

**CUNIS Torbjørn** - Pilotage non linéaire sous contraintes pour ramener un engin volant dans son enveloppe de vol

**DELAMER Jean-Alexis** - Planification de la stratégie de navigation et de guidage pour des drones autonomes dans des milieux contraints

**DENQUIN François** - Illusion sensorielle visuelle à titre de contre mesure aux désorientations spatiales

**DERENNES Pierre** - Analyse de la sensibilité de paramètres de modèle sur l'évaluation de la probabilité d'un évènement rare

**EL MASRI Maxime** - Méthodes d'échantillonnage pour la fiabilité de systèmes complexes en grande dimension

**FLAYAC Emilien** - Nouvelle stratégie de commande optimale particulière pour un système de guidage/navigation d'un drone dans un milieu incertain

**IGLESI Enzo** - Navigation et pilotage multimode d'un drone avec fonctionnalités dégradées dues à des défaillances de capteurs ou actionneurs

**KERGUS Pauline** - Virtual reference feedback tuning using model frequency data-based approximation techniques

**KOCAN Oktay** - Techniques de contrôle orientées apprentissage pour le suivi de trajectoires agressives par des drones multi-rotors

**KRAIEM Sofiane** - Development of steering law for On Orbit Servicing operation

**LANGLOIS Pierre-Alain** - Approche conjointe sémantique et géométrique pour la construction automatique de maquettes numériques

**LE Viet Hoang** - Combiner analyses statique et dynamique pour la cyber-sécurité

**LECARPENTIER Erwan** - Exploration active d'environnement inconnu pour la robotique aérienne autonome

**LECHAT Alexis** - Apprentissage incrémental pour les systèmes de question-réponse visuels

**MENZ Morgane** - Vers une synergie entre analyses de fiabilité par échantillonnage adaptatif et réduction de modèles

**MICHEL Nathan** - Commande prédictive robuste pour un drone en environnement intérieur

**ÔMAN LUNDIN Gustav** - Supervision pour la sécurité du vol des drones

**OTHMANI-GUIBOURG Mehdi William** - Apport des méthodes de Deep Learning au problème de la patrouille multi-agents dans un environnement dynamique

**PACHECO Adriana** - Techniques de décisions hiérarchiques pour l'allocation et l'ordonnancement de tâches

**PALMIER Camille** - Nouvelles approches de fusion multi-capteurs par filtrage particulière pour le recalage de navigation inertielle d'un sous-marin

**PEREZ ROCA Sergio** - Régulation en transitoire, large domaine de fonctionnement et commande hybride

**PERRET Raphaël** - Modélisation du champ de vitesse induit par un rotor et de ses interactions pour la simulation de la dynamique du vol des aéronefs à voilures tournantes

**PEYRAS Quentin** - Étude théorique et pratique de fragments de la logique temporelle linéaire du premier ordre pour la spécification et la vérification formelles

**PIECADE Sébastien** - Synthèse de plans conditionnels pour la décision dans l'incertain

**PRIETO AGUILAR Gemma** - Prédiction et amélioration des qualités de vol hélicoptères pilotés par mini-manches

**RAKOTOMALALA Lucien** - Preuve formelle en calcul réseau

**REBOUL Léon** - Gestion d'un réseau dynamique de capteurs aéroportés pour l'amélioration de l'estimation et du suivi de cibles

**RESTREPO-OCHOA Esteban** - Multi-objective coordination of multi-drone systems in dynamic environments/Coordination multi-objective de systèmes multi-drones dans des environnements dynamiques

**SADIEN Ejagen** - Solutions for the design of aircraft integrated ground control laws

**SAHAI Aisha** - Joint agency in human-machine interaction: How to design more cooperative agents?

**SALOMONE Mick** - Corrélats cérébraux de la fatigue cognitive et de la variabilité chez les opérateurs aériens

**SARAZIN Gabriel** - Evaluation des méconnaissances des systèmes embarqués sur la retombée d'un étage de lanceur spatial

**SENSFLEDER Nathanaël** - Analyse et Contrôle de l'interférence sur une plateforme multicoeurs

**SINGH Jasdeep** - Probabilistic schedulability analysis of safety critical embedded systems

**THAI Sovanna** - Advanced anti-windup flight control algorithms for fast time-varying aerospace systems

**THOMAS Mathieu** - Indices visuels, mouvement et pilotage. Caractérisation et enrichissement du support informationnel pour la conception d'aides au contrôle du vol d'hélicoptère

**VANTREPOTTE Quentin** - Agentivité et technologie: Vers des systèmes agents

**VEYRIÉ Alexandre** - Effet du stress sur les contributions visuelles et vestibulaires du pilotage à basse hauteur

**AIT TILAT Soufiane** - Particle Volume Reconstruction and 3D velocimetry using sparsity

**COYLE Brendan** - Analyse et Optimisation d'une Configuration Avion de Type Aile Volante Equipée d'un Turbofan à Très Fort Taux de Dilution

**KONTOGIANNIS Alexandros** - Design aerodynamique multipoint de la voilure d'un avion de transport prenant en compte les aspects basses vitesses et givrage

**BAGY Simon** - Conception et optimisation de forme de tuyères en configuration installée

**SAROTTE Camille** - Amélioration des processus de surveillance et de détection de changements pour les moteurs fusée

**BUAT Benjamin** - Conception conjointe d'une caméra 3D par illumination structurée pour l'inspection de surface

**CARVALHO Marcella** - 3D Camera by Depth from Defocus and Machine Learning

**DUBOIS Rodolphe** - Localisation et cartographie visuelle collaborative pour une flotte hétérogène de robots

**FERRERA Maxime** - Conception d'une charge utile basée vision pour la localisation autonome d'un robot sous-marin et la cartographie de précision

**GODET Pierre** - Approches par apprentissage pour l'estimation de mouvement multi-frame en vidéo

**GUERLIN Louis** - Fusion de données multi-capteur pour la perception d'environnement appliquée aux ADAS et à la voiture autonome

**HARDOUIN Guillaume** - Reconstruction d'environnement à large échelle distribuée pour la navigation robotique

**MANIER Antoine** - Compréhension sémantique de scènes tridimensionnelles pour l'accompagnement de la maintenance en milieu ferroviaire

**VAUDAUX-RUTH Guillaume** - Deep reinforcement learning et deep learning : application au bouclage perception commande sur camera contrôlable

# Post-doctorats en cours au 1<sup>er</sup> janvier 2019

- AOUCHICHE-HADDED Linda** - Traitements de données SAR ambiguës en environnement maritime
- BAKER Nathaniel** - Pressure and efforts from planar and 3D PIV applied to UCAV aerodynamics
- BELTRAMO-MARTIN Olivier** - Maximizing the Scientific Return of AO assisted 3D-Spectroscopy instruments
- CAMPONOGARA VIERA Raphael** - Modélisation des Injections de fautes physiques induites par l'environnement radiatif naturel atmosphérique dans des circuits à architecture multi-cœurs
- DUPIF Valentin** - Modélisation et simulation de la solidification de gouttes d'alumine en sortie d'un moteur à propergol solide
- EL OUZZANI-BAUDAIS Hasnaa** - Contrôle dynamique de la réponse optique de métasurfaces et nanostructures
- EPIFANO Enrica** - Diffusion et oxydation dans les matériaux complexes, intermétalliques, phases MAX
- FAN Zhengxuan** - Modélisation des micro-mécanismes de déformation conduisant à l'amorçage de micro-fissures par fatigue dans les alliages de Ti
- FIÉVET Romain** - Simulation et contrôle par impédance pariétale des instabilités des couches limites laminaires en régime haut supersonique
- GÉLINEAU Pierre** - Détermination de lois homogènes équivalentes en grandes déformations – Application aux architectures cellulaires
- HABIBI Muhammad Khoirul Khakim** - Décision distribuée pour des missions multi-robots
- JANIN-POTIRON Pierre** - High-Performance NIR detectors for High-Performance Adaptive Optics Wave-Front Sensors
- KOURTZANIDIS Konstantinos** - Modélisation par réduction de modèles des actionneurs plasmas et applications au contrôle d'écoulements
- LECLERC Tristan** - Closed-loop control of boundary-layer flow instabilities with piezo-electric pillars
- LORIDAN Vivien** - Magnétohydrodynamique pour la rentrée atmosphérique
- MANFREDI Giovanni** - Détection et Analyse Micro-Doppler d'Activité Humaine Sous Couvert Forestier en Bande Basse L ou P
- MARBOEUF Alexis** - Modélisation, simulation et analyse des mécanismes de détachement de givre
- MORTADA Hassan** - Etude et développement de techniques de Xampling pour l'écoute très large bande et le radar de veille
- NUNEZ RAMIREZ Jorge** - Prise en compte du frottement de fissures dans le modèle d'endommagement Onera pour décrire les hystérèses au sein de matériaux composites à matrice céramique

**PABLO Hélène** - Influence de la teneur en oxyde de gadolinium sur la dégradation par les CMAS des barrières thermiques à base de zircone alliée avec l'oxyde de gadolinium

**PIVOT Charles** - Développement de techniques d'apprentissage adaptées à la prévision du comportement des avions en vol décroché

**RAIBAUDO Cédric** - Aerodynamic drag and noise reduction of a wing by feedback control using low and high frequency actuation

**RAZAFINDRAMANANA Volatiana** - Étude et modélisation de la conductivité ionique de céramique à base d'oxyde d'hafnium

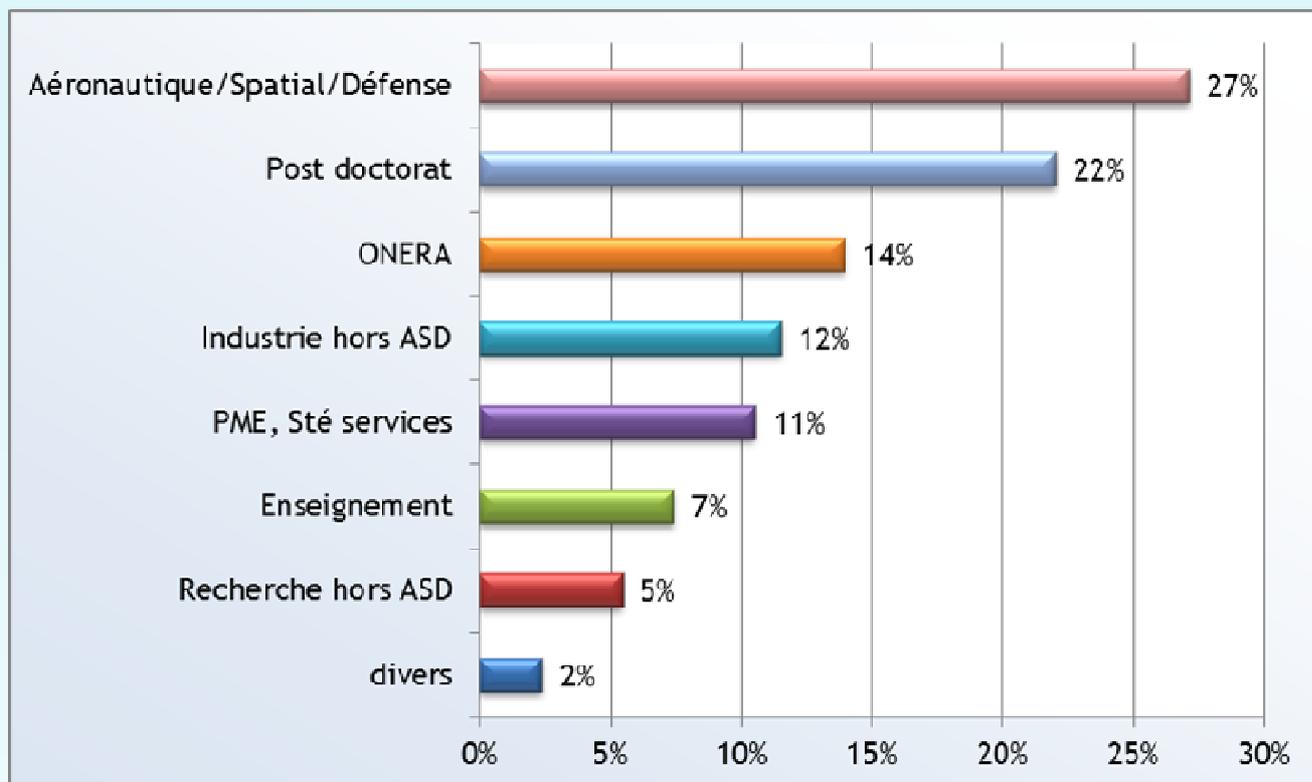
**SALMON Arthur** - Imagerie multibande TéraHertz par thermoconversion vers l'infrarouge

**SANTAGATA Rosa** - Diffusion Raman Anti-Stokes Cohérente en régime hybride femto-picoseconde: application à la thermométrie haute cadence dans des milieux à haute température et haute pression

**SHAHAVARI BEDOUSTANI Ashkan** - Caractérisation des émulsions d'hydrocarbures en mer à partir d'imagerie hyperspectrale aéroportée

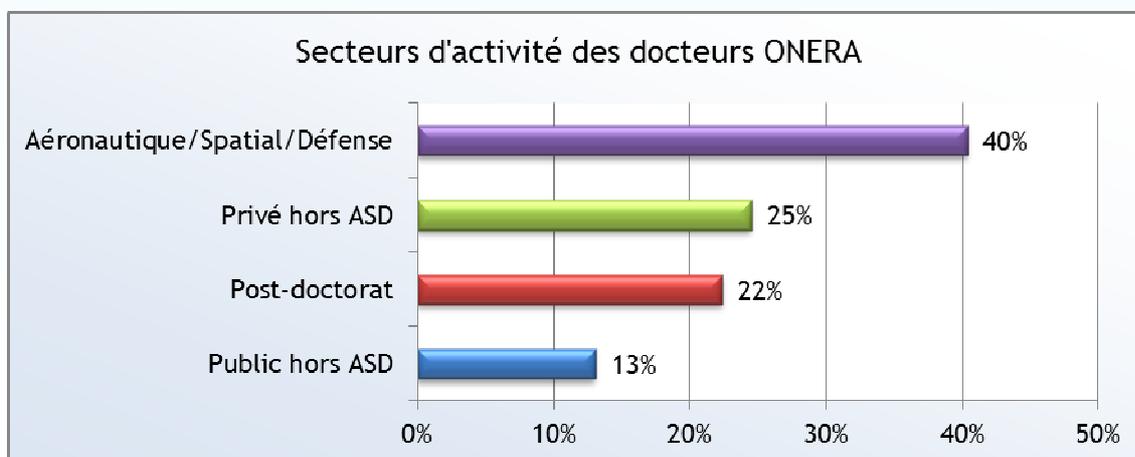
**TAPIA VALLE Araceli** - Impact of fuel composition on engine particulate matter measurements

# Devenir professionnel des docteurs



Si, à l'issue de leur contrat de doctorat, certains jeunes chercheurs poursuivent leur carrière au sein de l'ONERA, ils s'orientent majoritairement vers l'industrie et la recherche Aéronautique, Spatiale et de Défense (ASD), ou encore approfondissent leur formation en post-doctorat.

L'ONERA remplit ainsi sa mission de contribution à la formation des ingénieurs et scientifiques des secteurs Aérospatial et Défense.



\* Statistiques sur 1300 docteurs ayant soutenu leur thèse depuis 2000

# ALUMNI ONERA

L'ALUMNI ONERA est une association qui a pour objectif d'établir un réseau professionnel entre ses membres, lesquels ont tous en commun d'avoir effectué leur thèse de doctorat ou un contrat de post-doctorat à l'ONERA.

Elle vise principalement :

- à favoriser les échanges à caractère professionnel entre ses membres ;
- à promouvoir la formation doctorale et post-doctorale de l'ONERA ;
- à entretenir le dialogue entre ses membres et l'ONERA.

Pour en savoir plus : <https://w3.onera.fr/alumni/>





L'ONERA intervient en amont des grands programmes  
d'aéronautique, d'espace et de défense

Avions

Hélicoptères

Propulsion des aéronefs

Transport spatial

Systèmes orbitaux

Missiles

Drones

Systèmes de défense

Sécurité

**ONERA**

THE FRENCH AEROSPACE LAB

BP 80100 - 91123 PALAISEAU CEDEX - Tél. : +33 1 80 38 60 60 - Fax : +33 1 80 38 68 89

[www.onera.fr](http://www.onera.fr)

ONERA - Direction Scientifique Générale - mars 2019