

Préparer le futur

Formation par la Recherche

Thèses de doctorat

& Habilitations à Diriger des Recherches

2017

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

Chiffres - clés 2017

228	millions d'euros de budget
26	millions d'euros d'investissements
115	millions d'euros de subvention de l'état
1960	collaborateurs
1477	ingénieurs et cadres
93	habilités à diriger des recherches
291	doctorants
24	post-doctorants
215	stagiaires
327	communications dans des congrès avec actes
248	publications dans des revues à comité de lecture
1125	rapports techniques
72	thèses de doctorat soutenues
9	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 72 soutenances qui ont eu lieu en 2017 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 :

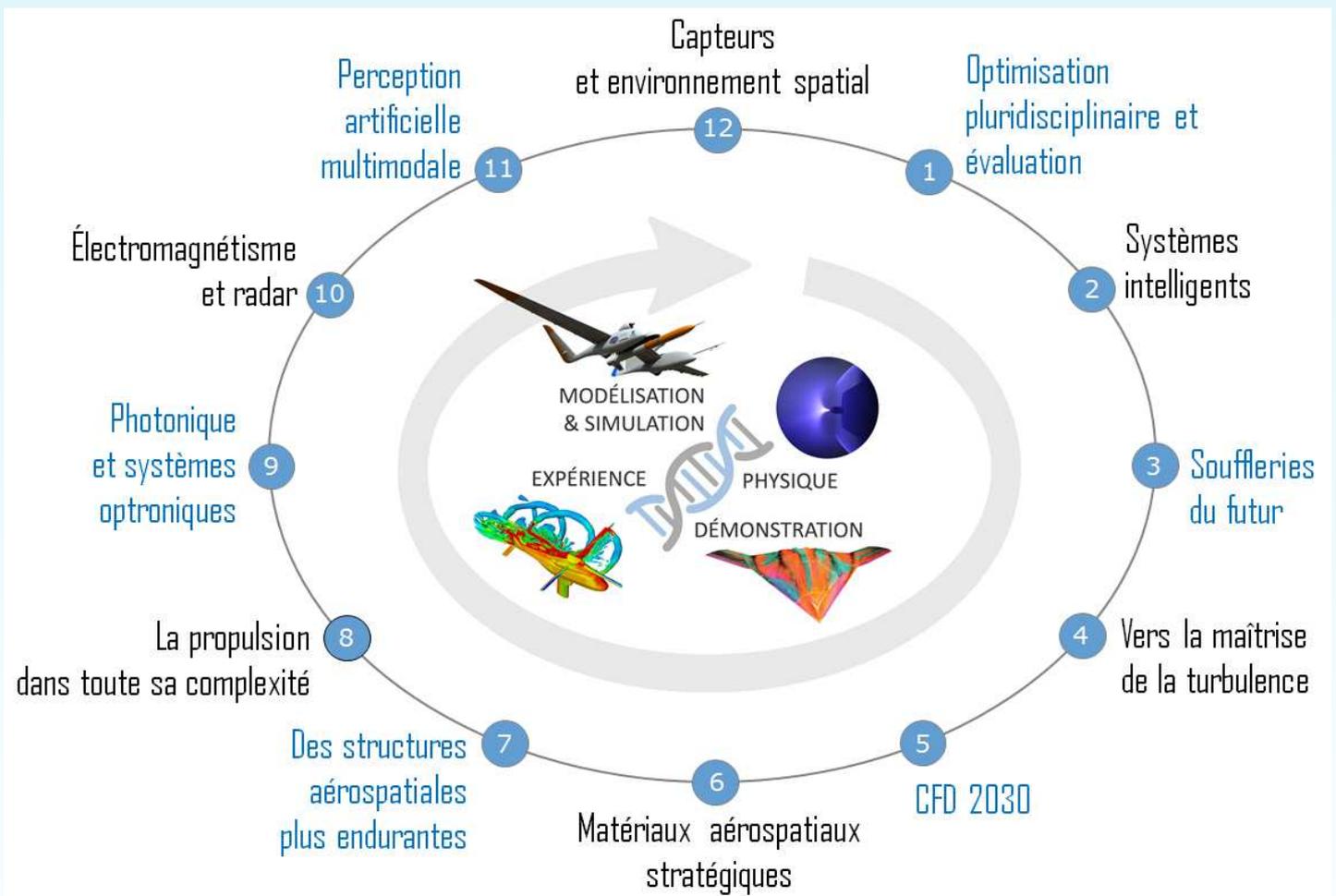
- Ils apportent la diversité culturelle et la disponibilité intellectuelle indispensables pour faire émerger des idées originales et innovantes ;
- Ils participent à la recherche la plus fondamentale, pour préparer l'avenir d'une recherche finalisée, avec des travaux qui puisent leur source dans les 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.

Assez logiquement on trouvera également dans ce recueil les Habilitations à Diriger des Recherches, au nombre de neuf cette année. Bien qu'encore modeste par le nombre, cette reconnaissance est très fortement encouragée par le Direction Scientifique Générale.

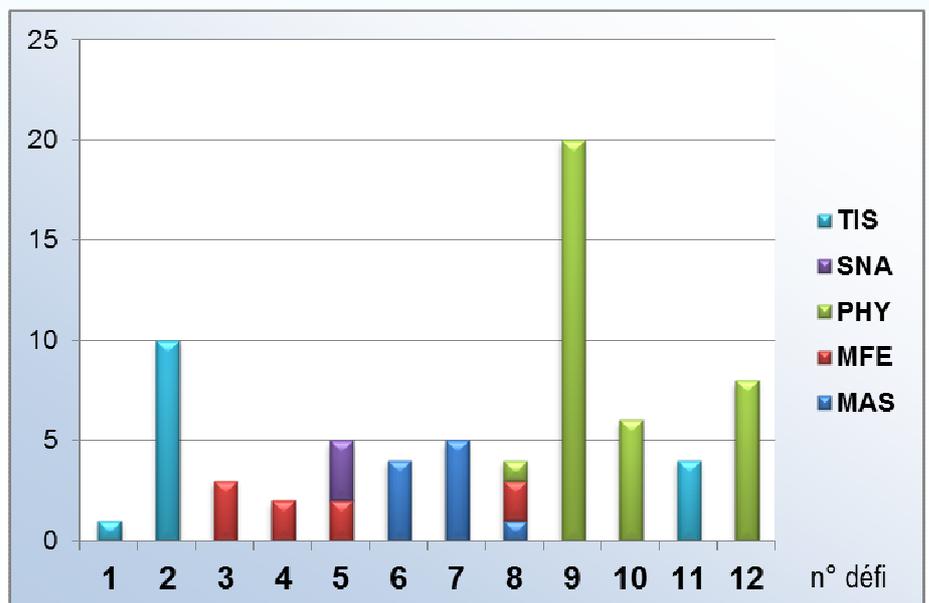
Pour chaque thèse, un contact ONERA a été indiqué, n'hésitez pas à échanger avec lui, pour obtenir plus d'information ou une publication, voire entamer une collaboration !

Stéphane ANDRIEUX
Directeur Scientifique Général

LES DEFIS DU PLAN STRATEGIQUE SCIENTIFIQUE 2015 - 2025



Répartition du nombre de thèses soutenues en 2017 par défi et domaine scientifique



Thèses soutenues en 2017 par domaine scientifique

Matériaux et Structures (MAS)	5
Mécanique des Fluides et Energétique (MFE).....	27
Physique (PHY).....	47
Simulation Numérique Avancée (SNA).....	121
Traitement de l'Information et Systèmes (TIS).....	129

Habilitations à diriger des recherches

HDR soutenues en 2017.....	163
----------------------------	-----

Annexes

Devenir professionnel des docteurs ONERA	183
--	-----

Matériaux et Structures

Défi 6 - Matériaux aérospatiaux stratégiques

- GUÉRINEAU Vincent** - Mécanismes et cinétiques d'oxydation de matériaux ultraréfractaires sous conditions extrêmes6
- SIKORAV Laurence** - Evaluation du système Nb-Ti-Al + Si : Influence de la composition chimique et du dopage au silicium sur les transformations de phase8
- KORZECZEK Laurent** - Modélisation mésoscopique en 3D par le modèle Discret-Continu de la stabilité des fissures courtes dans les métaux CFC.....10
- SCHUÉ Léonard** - Propriétés optiques et structurales du nitrure de bore en hybridation sp^2 : des cristaux massifs aux feuillets atomiques12

Défi 7 - Des structures aérospatiales plus endurantes

- TRAN Nicolas** - Caractérisation et modélisation du comportement mécanique d'un matériau composite tissé 3D carbone/époxy du quasi-statique à la dynamique14
- MOUNIEN Richard** - Analyse expérimentale et modélisation du comportement en matage de composites à matrice organique tissés 3D16
- BETTONTE Francesco** - Développement d'une stratégie d'identification des paramètres par recalage de modèle éléments finis à partir de mesures par corrélation d'images : vers l'application à un modèle d'endommagement non local18
- FESSLER Emmanuel** - Etude des interactions fatigue-fluage-environnement lors de la propagation de fissure dans l'Inconel 718 DA20
- GOULMY Jean-Patrick** - Modélisation de l'impact du grenailage sur le comportement et l'endommagement en fatigue de l'Inconel 71822

Défi 8 - La propulsion dans toute sa complexité

- LAMBERT Océane** - Solutions architecturées par fabrication additive pour le refroidissement de parois de chambre de combustion.....24

Tester en milieu oxydant à ultra-haute température de nouvelles céramiques pour comprendre et modéliser leur comportement sous conditions extrêmes

Vincent GUÉRINEAU

Thèse soutenue le 15 décembre 2017

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

Titre de la thèse

**Mécanismes et cinétiques d'oxydation de matériaux
ultraréfractaires sous conditions extrêmes**

Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrante : Aurélie Jankowiak - ONERA

Directeur de thèse : Siméon Cavadias - UPMC

Financement

ONERA

Défi scientifique

Matériaux aérospatiaux
stratégiques

www.onera.fr/pss

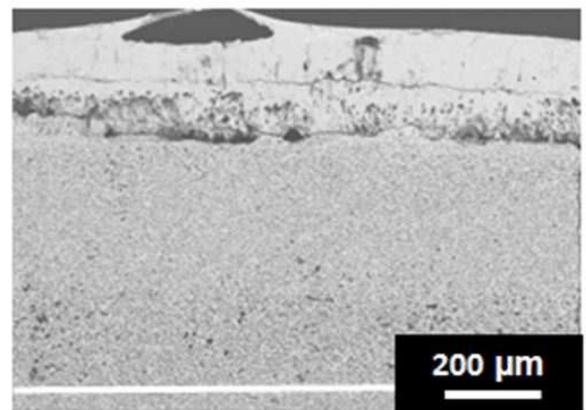


Contact : Aurelie.Jankowiak @ onera.fr

Résumé

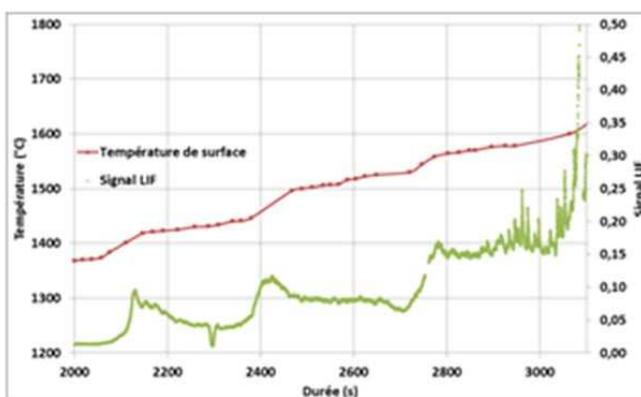
Les Céramiques Ultra-Haute Température (UHTC) sont des matériaux prometteurs dans le cadre d'applications en conditions extrêmes comme les parties proéminentes de véhicules de rentrée atmosphérique ou les chambres de combustion de moteurs aéronautiques. La compréhension des mécanismes d'oxydation à haute température présente donc un intérêt majeur, car les réactions en milieu oxydant limitent fortement leur durée de vie. Les matériaux ZrB_2-SiC , HfB_2-SiC et $HfB_2-SiC-Y_2O_3$ ont été soumis pendant des durées et températures variables (jusqu'à $2400^\circ C$) à des environnements contrôlés contenant de la vapeur d'eau. Les microstructures formées ont été décrites, et les mécanismes et cinétiques d'oxydation régissant leur comportement ont été analysés. L'importance de la stabilité et de la nature de la phase vitreuse formée durant l'oxydation a été soulignée. En complément de ces analyses microstructurales, une campagne d'essais utilisant la Fluorescence Induite par Laser (LIF) a permis, via la détection *in situ* de la molécule BO_2 , de comprendre plus finement la dynamique de la phase vitreuse lors de l'oxydation. Enfin, une modélisation de la croissance de couches oxydées sur un matériau monophasé a été effectuée.

Oxydation d'UHTC à ultra haute température sous vapeur d'eau



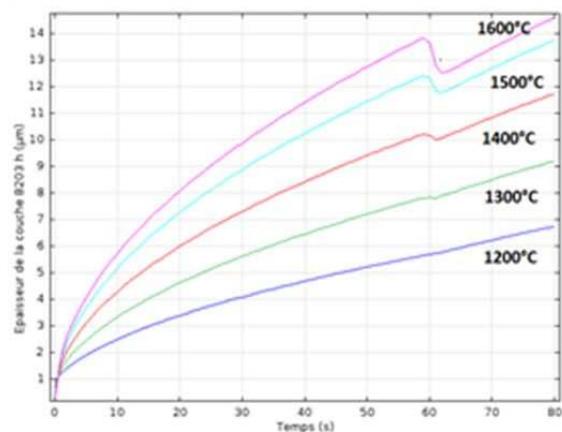
HfB₂-SiC après oxydation à 2400°C

Suivi *in situ* de l'oxydation sous air Détection des espèces volatiles



Suivi de la molécule $BO_2(g)$ par LIF

Modélisation



Variation de l'épaisseur de $B_2O_3(l)$ en réponse à un saut de température

Laurence SIKORAV

Thèse soutenue le 15 décembre 2017

Ecole doctorale : ED 388 - Chimie physique et chimie analytique -
Paris Centre

Titre de la thèse

**Evaluation du système Nb-Ti-Al + Si : Influence
de la composition chimique et du dopage au silicium
sur les transformations de phase**

Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrante : Zhao Huvelin - ONERA

Directeur de thèse : Philippe Vermaut - Chimie Paris

Financement

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

Défi scientifique

Matériaux aérospatiaux
stratégiques

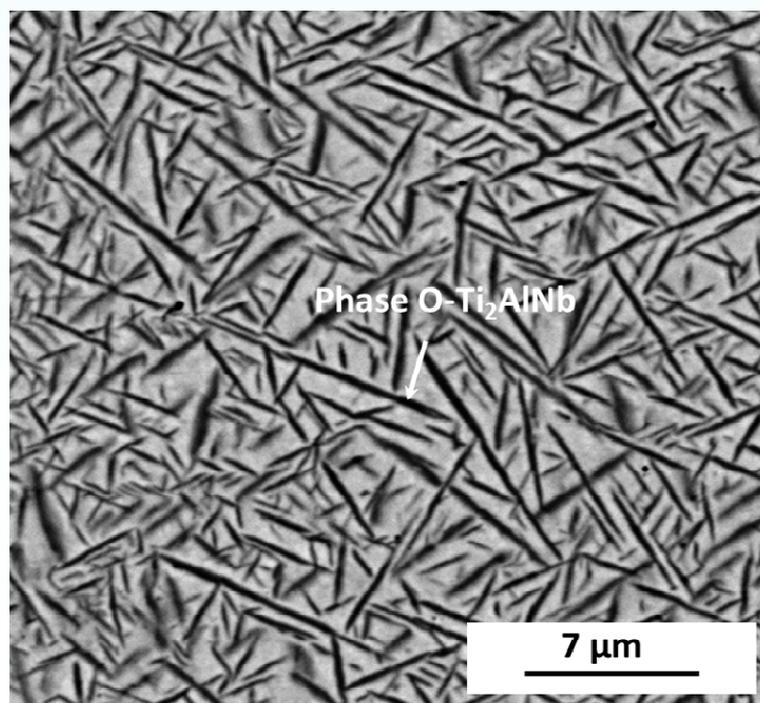
www.onera.fr/pss



Contact : Zhao.Huvelin @ onera.fr

Résumé

Les alliages intermétalliques réfractaires à base de niobium sont considérés comme ayant un bon potentiel pour les applications à haute température grâce à un bon compromis entre une bonne résistance à haute température et une bonne ductilité à température ambiante. En outre, cette famille d'alliages présente également un point de fusion élevé et une faible densité. De ce fait, ils sont de bons candidats pour les applications d'aubes de turbine à basse pression pour une plage de température comprise entre 800 et 1000°C. Le but de cette étude est d'étudier les changements de composition chimique, en particulier la précipitation de phase O-Ti₂AlNb et les effets d'addition de silicium sur les microstructures et les propriétés mécaniques à haute température. L'étude commence par une première prospective sur les alliages montrant le plus de potentiel pour les applications visées. Les alliages étudiés doivent présenter un bon équilibre entre ductilité induite par le titane qui empêche la précipitation de la phase δ-Nb₃Al fragile, et une quantité élevée de niobium pour maintenir de bonnes propriétés mécaniques à haute température. Les alliages étudiés sont dopés avec 1 %at Si pour améliorer la résistance aux températures élevées et maintenir une ductilité acceptable à température ambiante. Nous nous intéressons également à l'influence des teneurs en aluminium et silicium sur les transformations de phase. Le système est renforcé par mise en ordre A2 → B2, par effet de solution solide ou par durcissement structural de la phase O-Ti₂AlNb. La cinétique de précipitation de cette phase O-Ti₂AlNb est dépendante de la composition chimique. En particulier l'ajout de silicium permet un élargissement du domaine de précipitation et accélère sa cinétique de précipitation.



Précipitation de la phase orthorhombique O-Ti₂AlNb dans un alliage Nb-Ti-Al-Si

Simuler la propagation des fissures dans les matériaux ductiles pour mieux comprendre leur comportement en fatigue

Laurent KORZECZEK

Thèse soutenue le 10 juillet 2017

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

Titre de la thèse

**Modélisation mésoscopique en 3D par le modèle
Discret-Continu de la stabilité des fissures courtes dans
les métaux CFC**

Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrant : Riccardo Gatti - CNRS/ONERA

Directeurs de thèse : Arjen Roos - Safran Tech
Benoit Devindre - CNRS/ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

Matériaux aérospatiaux
stratégiques

www.onera.fr/pss



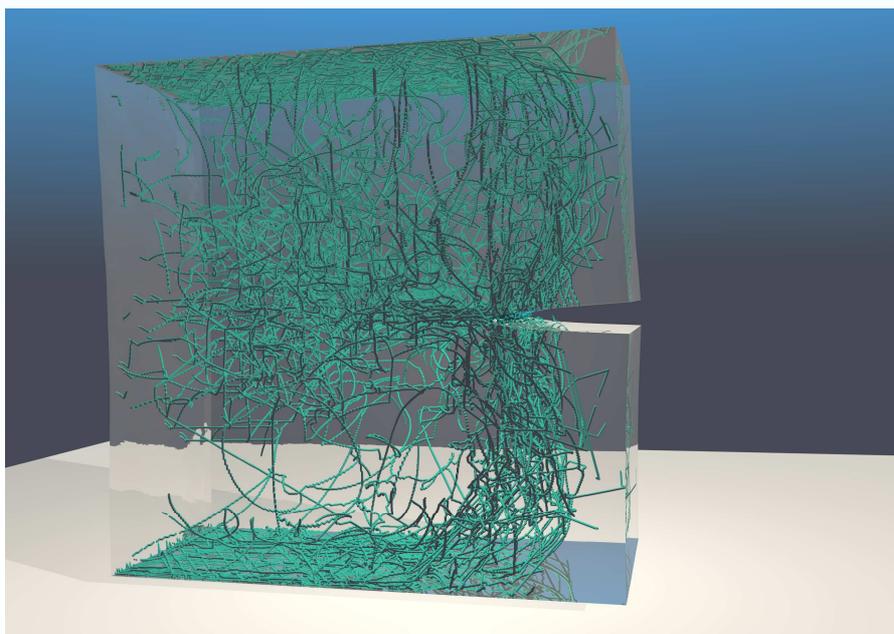
**université
PARIS-SACLAY**



Contact : Riccardo.Gatti @ onera.fr

Résumé

Le mode de propagation complexe des fissures courtes observé dans les métaux ductiles sous chargement cyclique est généralement attribué à différents mécanismes de stabilisation intervenant à l'échelle de la microstructure, l'échelle mésoscopique. Parmi ces mécanismes, l'interaction de la fissure avec la microstructure de dislocation semble jouer un rôle majeur. La dynamique des dislocations contrôle la déformation plastique et le transfert de chaleur qui lui est associé et réduit ainsi la quantité d'énergie élastique stockée dans le matériau. De plus, la microstructure de dislocations peut «écranter» le champ élastique induit par la fissure par son propre champ de contraintes et modifier la géométrie de la fissure par l'émoussement des surfaces en pointe. Pour la première fois, ces mécanismes sont étudiés avec des simulations 3D de Dynamique des Dislocation avec le modèle Discret-Continu. Trois orientations de fissure sont testées sous un chargement monotone en traction, promouvant une propagation par ouverture en fond de fissure en mode I. De manière surprenante, les simulations montrent que les effets d'écranage et d'émoussement n'ont pas un rôle clé dans la stabilisation des fissures testées en mode I. Le mécanisme principal se trouve être la capacité du matériau à se déformer plastiquement sans mettre en œuvre un durcissement important par le mécanisme de la forêt. Des recherches supplémentaires sur deux effets de taille en relation avec la taille des grains confirment ces résultats et soulignent également la contribution mineure d'une densité de dislocations polarisées aux joints de grains et du durcissement cinématique associé pour la stabilisation des fissures intragranulaire.



*Simulation de la microstructure de dislocations formée dans un cristal de Cu (20x20x10microns)
dans la zone de déformation plastique associée à l'ouverture d'une fissure*

Caractériser les propriétés fondamentales d'une nouvelle famille de cristaux pour en étudier les potentialités

Léonard SCHUÉ

Thèse soutenue le 19 avril 2017

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

Titre de la thèse

Propriétés optiques et structurales du nitrure de bore en hybridation sp^2 : des cristaux massifs aux feuillets atomiques

Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Directeurs de thèse : Julien Barjon - GEMaC
Annick Loiseau - ONERA

Financement

Union Européenne - Graphene Flagship

Défi scientifique

Matériaux aérospatiaux
stratégiques

www.onera.fr/pss



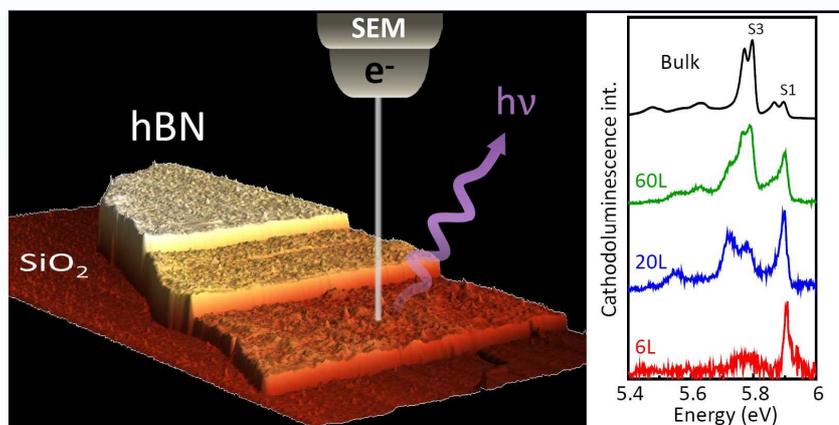
UNIVERSITÉ DE
VERSAILLES
ST-QUENTIN-EN-YVELINES
université PARIS-SACLAY

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Contact : [Annick.Loiseau @ onera.fr](mailto:Annick.Loiseau@onera.fr)

Résumé

Le nitrure de bore hexagonal (hBN) est un semi-conducteur à grand gap (> 6 eV) appartenant à la nouvelle famille des cristaux 2D. Ses propriétés isolantes et sa structure cristalline font de lui un matériau stratégique dans la réalisation d'hétérostructures 2D à base de graphène. L'objectif de cette thèse a été d'étudier les propriétés optiques et structurales des feuillets de hBN. Après une description des méthodes expérimentales, les propriétés du matériau massif - loin des interfaces - sont étudiées sur le cristal de référence synthétisé par croissance haute-pression haute-température au Japon. L'étude en microscopie électronique à transmission a permis d'identifier l'empilement AA', caractéristique du hBN. Les 3 principales régions d'émission de luminescence du hBN sont identifiées et analysées dans le détail : excitons libres, excitons piégés et défauts profonds. L'efficacité radiative excitonique a été analysée sur des cristaux issus de différentes voies de synthèse mettant en évidence des qualités dispersées. L'origine des processus de luminescence est discutée en regard des différentes interprétations actuelles, théoriques et expérimentales. Le cœur de la thèse porte sur les propriétés des cristaux 2D de faibles épaisseurs obtenus par clivage mécanique, ceci jusqu'à la monocouche atomique. Les expériences réalisées en spectroscopie Raman basse fréquence, en spectroscopie de pertes d'énergie et en cathodoluminescence ont mis en évidence une série d'effets de basse dimensionnalité sur les propriétés vibrationnelles, diélectriques et excitoniques du hBN. L'étude des défauts introduits lors de l'étape d'exfoliation et leur impact sur les émissions de luminescence ont permis d'isoler les propriétés intrinsèques des cristaux 2D de hBN. Les premiers résultats obtenus sur des feuillets suspendus dans le vide sont présentés et les effets de déformation élastique et plastique sur la luminescence de hBN discutés. La dernière partie de cette thèse porte sur des cristaux de nitrure de bore rhomboédrique (rBN) où les feuillets atomiques forment un empilement ABC. Ces cristaux ont permis d'aborder l'effet de l'empilement des plans atomiques sur la luminescence du BN en hybridation sp^2 .



À gauche: Schéma illustrant le principe d'une expérience de cathodoluminescence réalisée dans un microscope électronique à balayage sur des films minces de hBN d'épaisseur variable déposés sur un substrat de silice. À droite: Evolution en fonction de l'épaisseur du film de hBN du signal de cathodoluminescence due à la recombinaison radiative des excitons libres.

Mieux comprendre et modéliser la déformation à grande vitesse des matériaux composites pour améliorer leur tenue à l'impact

Nicolas TRAN

Thèse soutenue le 24 avril 2017

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

Titre de la thèse

Caractérisation et modélisation du comportement mécanique d'un matériau composite tissé 3D carbone/époxy du quasi-statique à la dynamique

Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrants : Gérald Portemont & Julien Berthe - ONERA
Julien Schneider - Safran Aircraft Engines

Directeurs de thèse : Mathias Brieu - Université Lille Nord de France
Eric Deletombe - ONERA

Financement

CIFRE Safran Aircraft Engines

Défi scientifique

Des structures
aérospatiales plus
endurantes

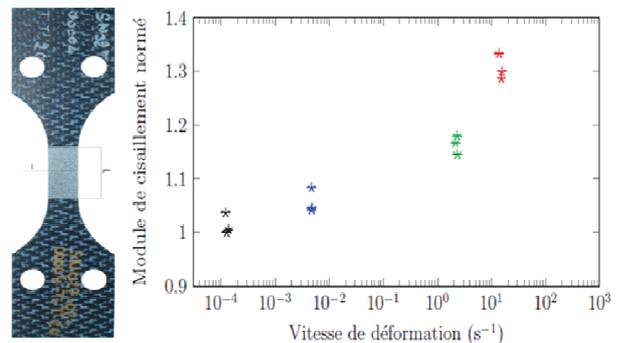
www.onera.fr/pss



Contact : Eric.Deletombe @ onera.fr

Résumé

Dans le cadre de la conception des structures aéronautiques réalisées en composites à matrice organique (CMO) tissés 3D, la représentation de la sensibilité à la vitesse de sollicitation du comportement mécanique du matériau est nécessaire pour l'étude des sollicitations de type impact. En l'absence d'une base de données expérimentale du comportement mécanique des CMO tissés 3D sur un large spectre de vitesses, il est difficile d'identifier un modèle numérique permettant la description du comportement du matériau. Le travail de thèse présenté a consisté à caractériser le comportement mécanique d'un CMO tissé 3D carbone/époxy du fluage à la dynamique, puis à étudier la validité du modèle ODM-CMO développé à l'ONERA à cette large gamme de vitesses de sollicitation. Un état de l'art du comportement mécanique et de la modélisation des CMO tissés 3D carbone/époxy est présenté dans le premier chapitre du mémoire. Dans le deuxième chapitre, le Volume Élémentaire Représentatif (VER) du composite est étudié afin de caractériser le comportement mécanique linéaire élastique du matériau. Une étude de sensibilité sur les dimensions et la localisation de prélèvement - au sein du motif textile de base - du Volume Élémentaire (VE) servant à la caractérisation des propriétés mécaniques du matériau est réalisée. Un VER plus petit que le motif textile géométrique du CMO tissé 3D peut ainsi être déterminé. Le troisième chapitre s'attache à proposer des géométries d'éprouvettes dynamiques (il n'existe pas de normes) adaptées aux capacités en charge de la machine de traction dynamique utilisée dans la thèse. Des simulations numériques d'essai de traction sont ainsi réalisées pour différentes dimensions d'éprouvette afin de définir des géométries « optimisées ». Un bon accord est démontré entre les propriétés mécaniques quasi-statiques obtenues expérimentalement avec les géométries d'éprouvettes « optimisées » et celles obtenues avec les géométries de référence développées par SAFRAN Aircraft Engines. Une campagne de caractérisation expérimentale du fluage à la dynamique, réalisée à l'aide des éprouvettes précédemment validées, est présentée dans le quatrième chapitre. Une nette sensibilité à la vitesse de déformation du comportement hors-axes du composite est observée sur le spectre de vitesses étudié. Dans le dernier chapitre, le modèle ODM proposé pour la représentation du comportement mécanique viscoélastique des CMO tissés 3D carbone/époxy à faibles vitesses est identifié à partir des résultats expérimentaux obtenus en dynamique. Pour cela, une nouvelle méthodologie d'identification est proposée afin d'obtenir une description satisfaisante du comportement mécanique du matériau avant méso-endommagement. La pertinence de ce modèle est alors évaluée à l'aide d'essais dynamiques hors-axes (60°) n'ayant pas été utilisés pour l'identification, ce qui permet de valider sa capacité de prédiction du comportement de ce CMO tissé 3D du fluage à la dynamique.



*Géométrie d'éprouvette dynamique optimisée dans le sens trame (à gauche)
Influence de la vitesse de déformation sur le module de cisaillement (à droite)*

Mieux comprendre et modéliser le comportement des pièces composites en matage pour améliorer leur dimensionnement

Richard MOUNIEN

Thèse soutenue le 13 juillet 2017

Ecole doctorale : ED 156 - Sciences de la Mer - Brest

Titre de la thèse

Analyse expérimentale et modélisation du comportement en matage de composites à matrice organique tissés 3D

Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrants : François-Xavier Irisarri & Christian Fagiano - ONERA
Bastien Tranquart - Safran Composites

Directeur de thèse : Nicolas Carrère - ENSTA Bretagne

Financement

CIFRE Safran Composites

Défi scientifique

Des structures
aérospatiales plus
endurantes

www.onera.fr/pss



Contact : Francois-Xavier.Irisarri @ onera.fr

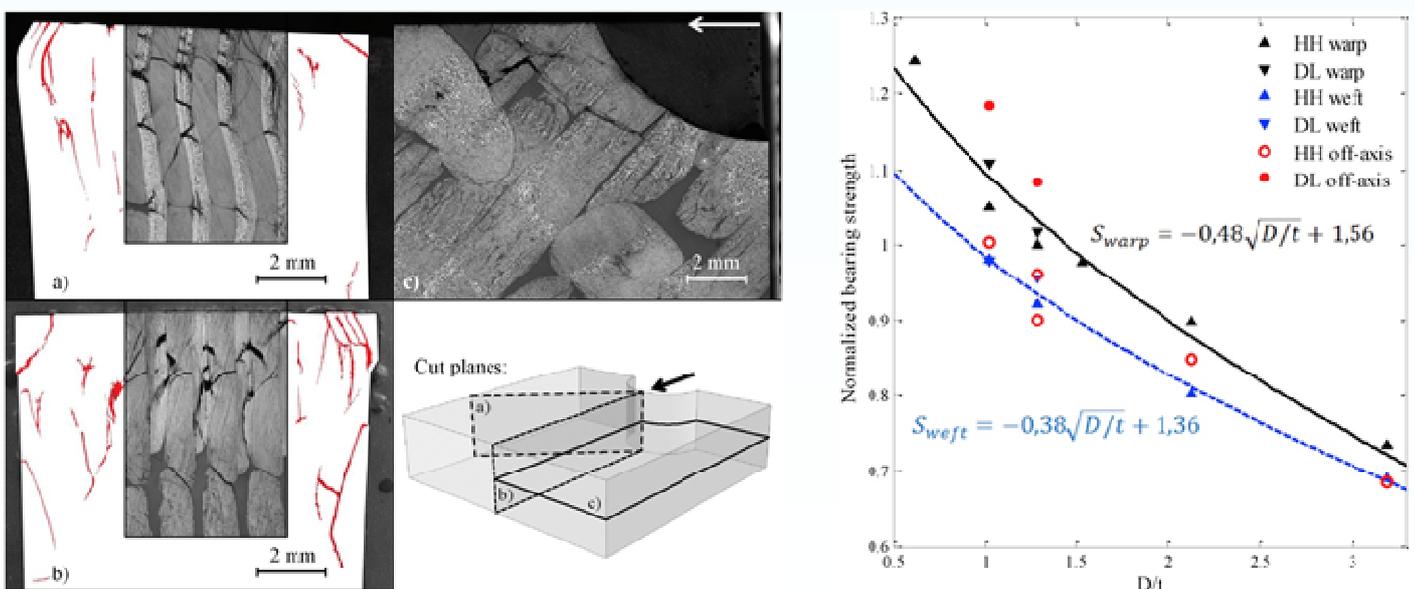
Analyse expérimentale et modélisation du comportement en
matage de composites à matrice organique tissés 3D

Résumé

Ce travail de thèse s'inscrit dans le cadre du besoin industriel de dimensionnement des assemblages boulonnés ou des pièces de jonction. Il traite de l'analyse expérimentale et de la modélisation du comportement en matage de composites tissés 3D. La première partie de ce travail consiste en la caractérisation expérimentale du matage dans les composites tissés 3D. Une large campagne expérimentale de caractérisation a été effectuée en considérant trois dispositifs expérimentaux. A partir des observations expérimentales, un scénario d'endommagement en matage est proposé. Celui-ci met en évidence le rôle prépondérant dans la rupture en matage des ruptures de torons en compression (kinking) et, dans une moindre mesure, des décohésions.

La seconde partie de ce travail consiste en la modélisation du comportement en matage des composites tissés 3D. L'objectif est de capturer le comportement jusqu'au pic de matage et de retrouver le scénario d'endommagement établi expérimentalement. Le modèle d'endommagement ODM-CMO (Onera Damage Model pour Composites à Matrice Organique) est employé. Le modèle est enrichi pour la prévision du matage par l'introduction d'un angle de fissuration des torons en compression, observé expérimentalement, et l'introduction d'une valeur de saturation de la variable d'endommagement associée. La rupture progressive des torons est identifiée à partir d'essais de matage en sens chaîne et trame. La capacité du modèle à reproduire l'influence de l'orientation du matériau sur la résistance en matage et les effets d'échelle en fonction du ratio diamètre sur épaisseur est évaluée sur la base des résultats expérimentaux de la campagne de caractérisation.

Enfin, pour se rapprocher des cas d'applications industriels, des essais technologiques sur chape ont été réalisés à l'Onera, analysés et confrontés à la simulation.



À gauche, fractographies d'une éprouvette de matage selon trois plans de coupe différents. L'essai a été interrompu au pic d'effort. À droite, influence expérimentale du ratio diamètre du trou sur épaisseur de l'éprouvette sur la tenue au matage

Simuler le comportement des structures métalliques aux grandes déformations pour mieux les dimensionner

Francesco BETTONTE

Thèse soutenue le 13 novembre 2017

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

Titre de la thèse

**Développement d'une stratégie d'identification
des paramètres par recalage de modèle éléments finis à partir
de mesures par corrélation d'images : vers l'application
à un modèle d'endommagement non local**

Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrant : David Lévêque - ONERA

Directeurs de thèse : Jacques Besson - Mines ParisTech
Sylvia Feld-Payet - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

Des structures
aérospatiales plus
endurantes

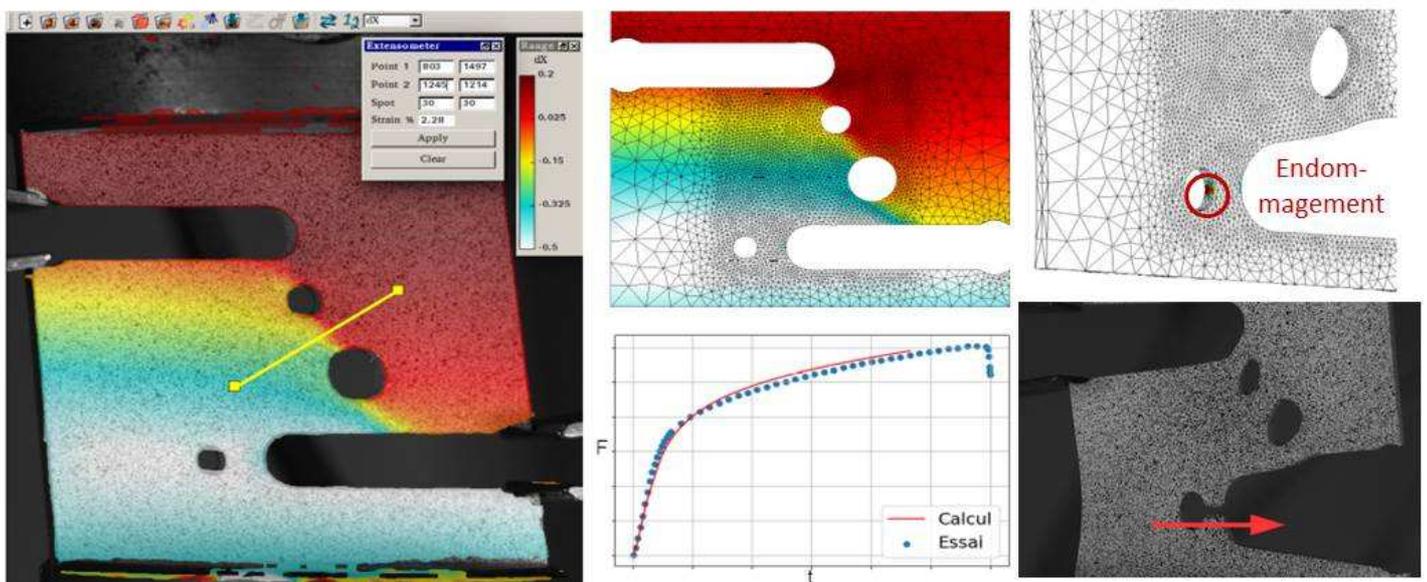
www.onera.fr/pss



Contact : [Sylvia.Feld-Payet @ onera.fr](mailto:Sylvia.Feld-Payet@onera.fr)

Résumé

Cette thèse a pour objectif le développement d'une stratégie d'identification des paramètres de plasticité et d'endommagement jusqu'à amorçage, pour des métaux ductiles. Un formalisme logarithmique est utilisé pour simuler les grandes déformations subies par les éprouvettes et une formulation non-locale multi-champ permet de simuler l'adoucissement indépendamment du maillage utilisé et d'éviter le verrouillage volumique. La Corrélation d'Images Digitales est utilisée pour obtenir des mesures hétérogènes plein champ à partir d'éprouvettes entaillées. La stratégie proposée s'appuie sur des observations microscopiques et sur une approche d'identification par recalage de modèle éléments finis (FEMU), visant à minimiser l'écart entre une mesure et son pendant simulé. L'écart est exprimé en termes de force et déplacement grâce à une normalisation appropriée. L'application de la FEMU est guidée par des analyses de sensibilité. La robustesse de la comparaison essai-calcul est assurée par l'application de conditions au bord mesurées. L'effet négatif de l'incertitude de mesure est mis en évidence et une solution de filtrage innovante est proposée. La stratégie est appliquée pour l'identification des paramètres de l'alliage Inconel625. Elle permet de reproduire l'amorçage pour des éprouvettes planes, en termes de réponse macroscopique et de localisation des sites d'amorçage.



L'identification est faite par comparaison entre le champ de déplacement mesuré (à gauche) et celui calculé par éléments finis (en haut au milieu) et par comparaison des efforts respectifs (en bas au milieu). Le lieu d'amorçage de la fissure (en bas à droite) est alors bien prédit par le calcul d'endommagement (en haut à droite).

**Comprendre et modéliser les mécanismes
de propagation des fissures dans les disques
de turbines pour mieux estimer leur durée de vie**

Distinction

Prix doctorant ONERA
(2017)

Emmanuel FESSLER

Thèse soutenue le 15 décembre 2017

Ecole doctorale : ED 482 (SDM) - Sciences de la matière - Toulouse

Titre de la thèse

**Etude des interactions fatigue-fluage-environnement
lors de la propagation de fissure dans l'Inconel 718 DA**

Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrant : Vincent Bonnand - ONERA

Directeur de thèse : Eric Andrieu - ENSIACET

Financement

CIFRE Safran Aircraft Engines

Défi scientifique

Des structures
aérospatiales plus
endurantes

www.onera.fr/pss



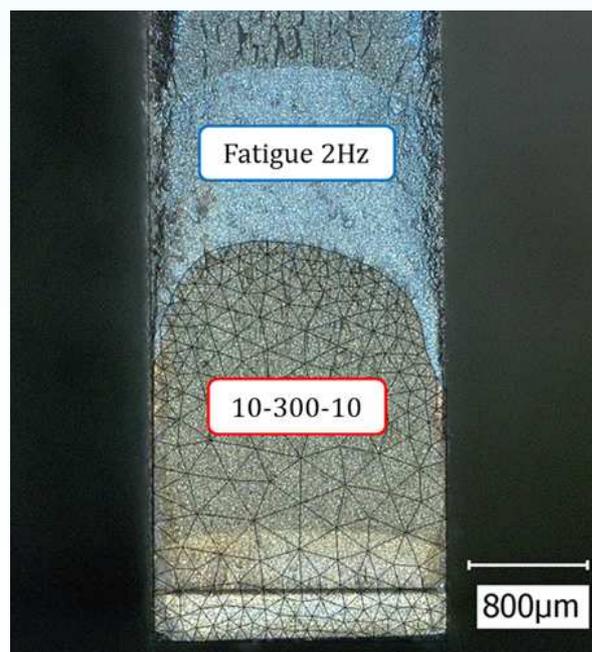
Université
de Toulouse



Contact : Vincent.Bonnant @ onera.fr

Résumé

L'Inconel 718 est un superalliage base nickel largement utilisé par les motoristes tels *Safran Aircraft Engines* pour l'élaboration des disques de turbine. Après forgeage des disques, un traitement de vieillissement appelé « *Direct Aged* » est appliqué. Durant le régime de croisière, les disques subissent des maintiens sous chargement constant. Bien que pas complètement compris, il est largement admis qu'un temps de maintien dans un cycle de fatigue a un effet néfaste sur le comportement en fissuration. Cette étude porte donc sur la fissuration en fatigue-fluage à 550°C et 650°C. Des essais sont menés pour des temps de maintien allant jusqu'à 1h. Des développements de la méthode de suivi de fissure par mesure de potentiel (DCPD) ont permis d'identifier la décharge-recharge (contribution de fatigue) d'un cycle de fatigue-fluage comme la partie la plus néfaste. L'application d'un temps de maintien amplifie cette contribution. Le temps de maintien induit également des fronts de fissure extrêmement courbes et tortueux. Une stratégie numérique a été développée, couplant la simulation 3D de la propagation et la méthode dite DCPD, permettant de réaliser des « essais numériques ». La propagation de fronts courbes et tortueux est simulée. Il a été démontré que le comportement en propagation est directement lié à la forme du front de fissure et à son évolution. Des essais complexes ont été menés, sous vide, ou impliquant des surcharges. Lorsque l'effet du temps de maintien est annihilé, les morphologies complexes des fronts disparaissent. Elles sont alors associées à une inhibition locale de l'effet endommageant de l'environnement due à une forte plasticité et aux vitesses de déformation. Tous les essais présentés sont analysés en considérant l'effet de la vitesse de déformation locale qui influe largement le comportement en fissuration de l'Inconel 718.



Courbure du front de fissure en fonction du chargement mécanique et maillage pour la simulation numérique de la méthode électrique (DCPD)

Mieux modéliser l'impact des traitements appliqués lors de la fabrication des disques de turbine pour mieux prédire leur durée de vie en service

Jean-Patrick GOULMY

Thèse soutenue le 20 décembre 2017

Ecole doctorale : ED 361 - Sciences et Technologie - UTT Troyes

Titre de la thèse

**Modélisation de l'impact du grenailage sur le comportement
et l'endommagement en fatigue de l'Inconel 718**

Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrante : Louise Toualbi - ONERA

Directrices de thèse : Emmanuelle Rouhaud - UTT
Pascale Kanouté - ONERA

Financement

Institut de Recherche Technologique Matériaux Métallurgie et Procédés
(IRT M2P)

Défi scientifique

Des structures
aérospatiales plus
endurantes

www.onera.fr/pss

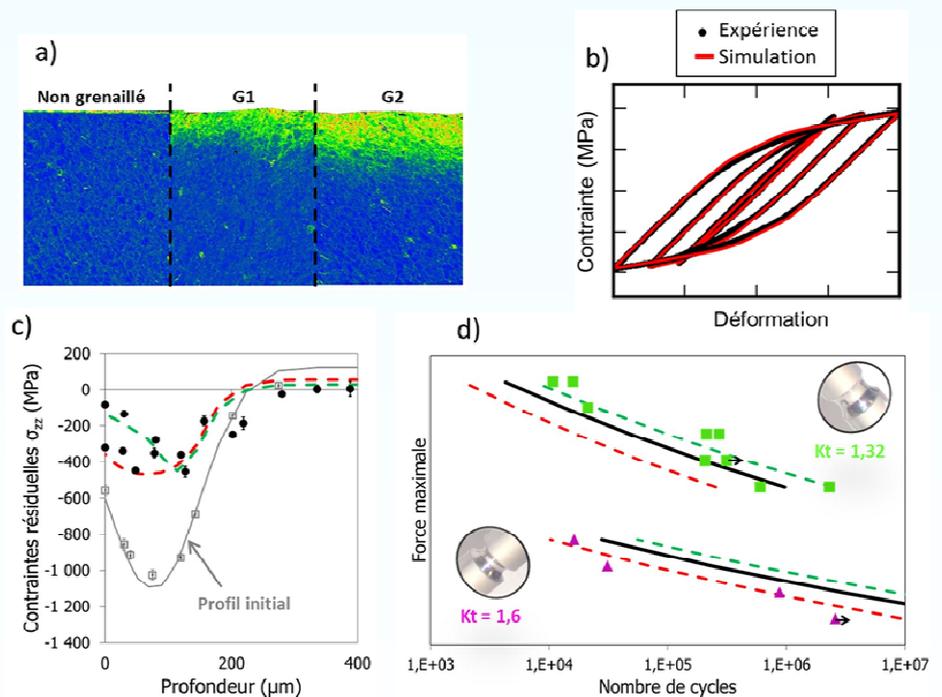


Contact : Louise.Toualbi @ onera.fr

Résumé

Le grenailage est couramment utilisé dans l'industrie aéronautique afin d'améliorer la durée de vie en fatigue de pièces critiques, telles que les disques de turbine. Mettre en place une méthodologie permettant de traduire l'évolution des contraintes résiduelles en service et de prédire leur impact sur la durée de vie en fatigue représente un enjeu majeur afin d'intégrer l'étape de grenailage dans le dimensionnement des pièces. Le matériau d'étude est l'Inconel 718. Une première partie du travail s'attache à caractériser les contraintes résiduelles mais également l'érouissage induit par grenailage, en combinant pour ce dernier plusieurs techniques d'analyse : la diffraction des rayons X, l'EBSD et la dureté. L'évolution des contraintes résiduelles et de l'érouissage est ensuite caractérisée expérimentalement après différentes sollicitations. Afin de modéliser la relaxation des contraintes résiduelles, une loi de comportement est mise en place sur la base d'essais de comportement réalisés sur le matériau non grenailé. Enfin, l'impact du grenailage sur la durée de vie en fatigue est évalué à l'aide d'éprouvettes présentant une concentration de contraintes. Une approche probabiliste apte à

rendre compte des effets de volume et de gradient de contrainte est proposée et identifiée à partir d'éprouvettes non grenillées. L'ensemble de la chaîne de modélisation (introduction des contraintes résiduelles et de l'érouissage induit par grenailage, simulation de l'évolution du champ mécanique et application du post traitement de fatigue) est enfin appliquée pour prédire la durée de vie en fatigue d'éprouvettes grenillées.



a) Cartographies EBSD de désorientation intragranulaire (KAM) de l'Inconel 718 Direct Aged pour trois traitements de surface différents (non grenillé, grenailage G1 et grenailage G2 > G1) ; b) Comparaison entre les courbes expérimentales et simulées d'un essai cyclique à niveau d'amplitude croissant : réponse de l'Inconel 718 Direct Aged à 550°C ; c) Prédiction de la relaxation des contraintes résiduelles sous chargement cyclique à 550°C avec prise en compte de l'érouissage induit par grenailage : application à l'Inconel 718 Direct Aged pour une sollicitation de 8000 cycles à une amplitude $\Delta\varepsilon$ de 0,5 % ; d) Comparaison entre les prévisions du modèle de fatigue probabiliste proposé et les données expérimentales obtenues sur éprouvettes à concentration de contraintes grenillées, Inconel 718 Direct Aged.

Utiliser les possibilités de la fabrication additive pour améliorer le refroidissement des chambres de combustion aéronautiques

Distinctions

Meilleur poster au workshop "Mapping the Future of Materials Science" SF2M (2015)

Prix Amelia Earhart du Zonta International (2016)

Océane LAMBERT

Thèse soutenue le 13 octobre 2017

Ecole doctorale : ED 510 (I-MEP2) - Ingénierie - Matériaux Mécaniques
Environnement Procédés Production - Grenoble

Titre de la thèse

Solutions architecturées par fabrication additive pour le refroidissement de parois de chambre de combustion

Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Directeurs de thèse : Rémy Dendievel - Laboratoire SIMaP
Cécile Davoine - ONERA

Financement

Direction Générale de l'Armement (DGA) & ONERA

Défi scientifique

La propulsion dans toute sa complexité

www.onera.fr/pss



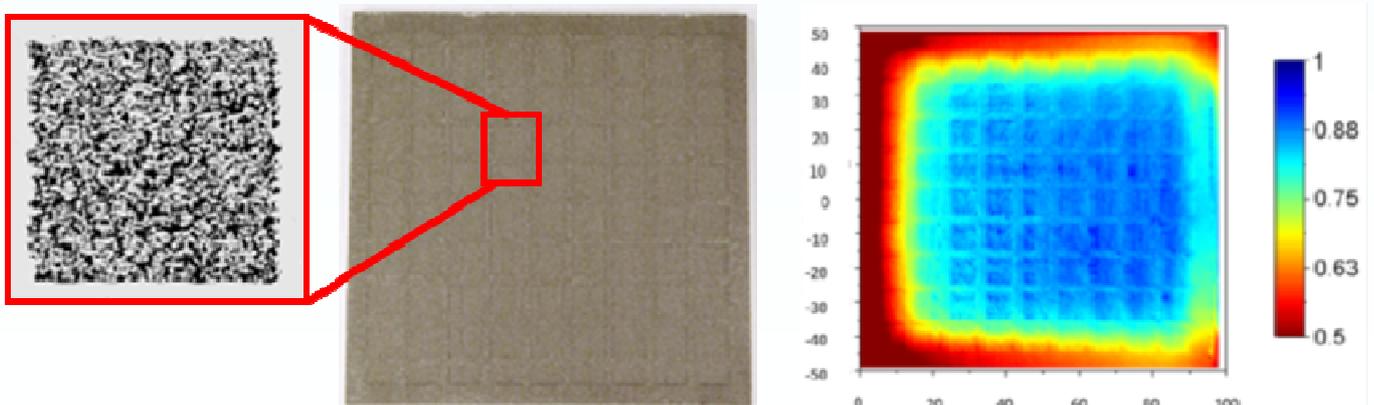
Contact : Cecile.Davoine @ onera.fr

Résumé

En vue de leur refroidissement, les parois de chambres de combustion aéronautiques sont perforées de trous à travers lesquels de l'air plus froid est injecté. La paroi est ainsi refroidie par convection et un film isolant est créé en surface chaude (film cooling). Cette thèse a pour objectif d'utiliser les possibilités de la fabrication additive pour proposer de nouvelles solutions architecturées qui permettraient d'augmenter les échanges de chaleur internes et d'obtenir ainsi de meilleures efficacités de refroidissement.

La première approche consiste à élaborer de nouveaux designs de plaques multiperforées par Electron Beam Melting (EBM) et Selective Laser Melting (SLM) aux limites de résolution des procédés. Les architectures sont caractérisées en microscopie, en tomographie X et en perméabilité. Des simulations aérothermiques permettent de mettre en évidence l'effet de ces nouveaux designs sur l'écoulement et les échanges de chaleur, et de proposer des voies d'amélioration de la géométrie. La deuxième approche consiste à élaborer de façon simultanée une pièce architecturée par EBM, avec des zones denses et poreuses. A partir d'analyse d'images associée à une cartographie EBSD grand champ, il est possible de remonter aux mécanismes de formation du matériau poreux et de relier la perméabilité et la porosité aux paramètres procédé. Afin de favoriser le film cooling, il pourrait être avantageux que les zones microporeuses soient orientées dans le sens de l'écoulement. Pour ce faire, un nouveau procédé dénommé Magnetic Freezing, où des poudres métalliques forment une structure orientée par un champ magnétique, est mis au point.

Les diverses solutions développées durant cette thèse sont testées sur un banc aérothermique. Les essais montrent qu'elles offrent un refroidissement plus efficace et plus homogène que la référence industrielle. Enfin, de premiers tests en combustion sur l'une des structures retenues, plus légère et plus perméable que la référence, montrent qu'il s'agit d'une solution aussi efficace à un débit traversant donné, et donc a priori plus efficace à une surpression donnée.



Plaque obtenue par fabrication additive EBM, comprenant des zones microporeuses (à gauche), permettant d'atteindre des efficacités de refroidissement localement élevées (à droite).

Mécanique des Fluides et Energétique

Défi 3 - Souffleries du futur

NICOLAS François - Reconstruction de champs instantanés de masse volumique par BOS 3D. Applications à l'étude d'écoulements complexes en grande soufflerie.28

YEGAVIAN Robin - Model-based approaches for flow estimation using Particle Image Velocimetry.30

OLCHEWSKY François - Caractérisation des écoulements instationnaires 3D par tomographie holographique numérique multidirectionnelle.32

Défi 4 - Vers la maîtrise de la turbulence

BENEDDINE Samir - Characterization of unsteady flow behavior by linear stability analysis34

BAYEUX Charlotte - Méthode intégrale pour la couche limite tridimensionnelle - Applications au givrage36

Défi 5 - CFD 2030

BENNACEUR Iannis - Etude numérique de la diffusion d'une onde acoustique par une couche de cisaillement turbulente à l'aide d'une simulation aux grandes échelles38

DE LA PUENTE CEREZO Fernando - Simulations aéroacoustiques de trains d'atterrissage en approche ZDES et maillage non-structuré.....40

Défi 8 - La propulsion dans toute sa complexité

BOUYGES Maxime - Instabilités dans les moteurs à propergol solide : influence de la géométrie étoilée et étude numérique de la transition laminaire-turbulent.....42

GAILLARD Thomas - Étude numérique du fonctionnement d'un moteur à détonation rotative44

François NICOLAS

Thèse soutenue le 07 mars 2017

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

Titre de la thèse

**Reconstruction de champs instantanés de masse volumique
par BOS 3D. Applications à l'étude d'écoulements complexes
en grande soufflerie.**

Encadrement

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Encadrants : Guy Le Besnerais & Frédéric Champagnat - ONERA

Directeurs de thèse : Grégoire Casalis - ISAE-SUPAERO
David Donjat - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

Souffleries du futur

www.onera.fr/pss



**Université
de Toulouse**



Contact : Francois.Nicolas @ onera.fr

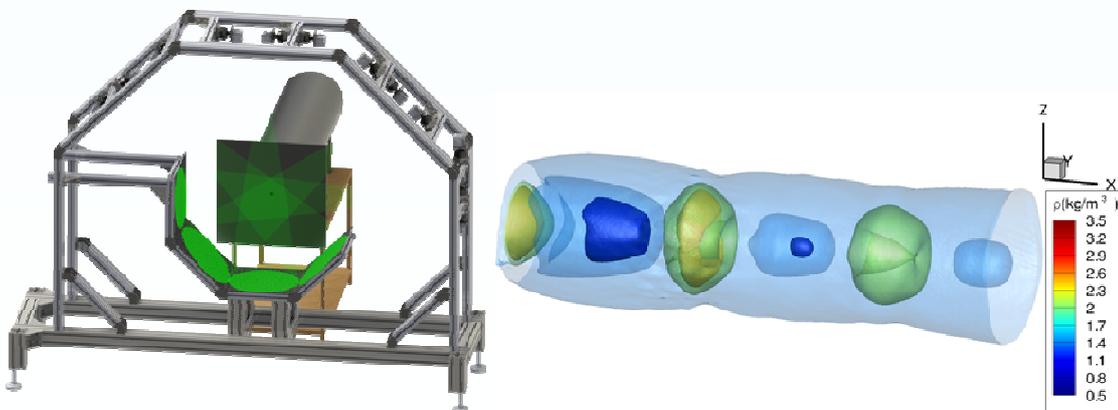
Résumé

Ces travaux de thèse s'inscrivent dans le cadre du développement d'outils métrologiques avancés pour la mécanique des fluides, dédiés tout particulièrement à la mesure en soufflerie. La Background Oriented Schlieren (BOS) est une technique qui exploite la déviation des rayons lumineux par un milieu non homogène pour mesurer la masse volumique. Elle consiste à comparer l'image de référence d'un fond texturé avec l'image de ce même fond en présence d'un écoulement. La corrélation entre ces deux images permet alors de calculer la déviation des rayons lumineux.

Il est possible d'étendre la technique en 3D en réalisant une acquisition simultanée suivant différents points de vue. Le champ de masse volumique associé est alors reconstruit par résolution d'un problème inverse régularisé. Afin de poursuivre le développement de la technique initié à l'ONERA par V. Todoroff, nous avons tout d'abord développé une chaîne de traitement plus systématique tout en améliorant la robustesse de notre algorithme de reconstruction. Après avoir réalisé une validation sur des données de synthèse, nous avons mis en œuvre cette méthode sur un banc d'essais de laboratoire comportant 12 caméras. Par la suite, la technique a été déployée pour la première fois en soufflerie sur un jet chaud subsonique. Lors de cette campagne réalisée dans la soufflerie F2 de l'ONERA, les résultats ont été validés par comparaison avec des mesures de température.

Une démonstration à l'échelle d'une soufflerie industrielle a ensuite été réalisée dans la soufflerie S1MA de l'ONERA. Les problématiques rencontrées sur les écoulements compressibles lors de ces essais ont ensuite conduit à étudier de manière plus approfondie les écoulements présentant de forts gradients d'indice optique. Pour cela, un banc de mesure BOS 3D a été conçu en laboratoire afin d'optimiser la mesure d'un jet sous-détendu (Figure ci-dessous). Sur cette configuration, de très bons accords ont été obtenus avec la littérature ainsi qu'avec une simulation DES.

A travers cette étude, nous avons étendu le domaine d'application de la BOS 3D aux écoulements compressibles et démontré son utilisation en soufflerie. La qualité des résultats obtenus démontre le potentiel offert par la technique pour l'analyse physique des écoulements.



A gauche : un banc BOS 3D constitué de 12 caméras faisant face à 4 panneaux de mouchetis. L'éclairage est réalisé au moyen de 4 spots laser. A droite : iso-surfaces de masse volumiques reconstruites par BOS 3D pour un jet sous-détendu à un NPR (Nozzle Pressure Ratio) de 5

Robin YEGAVIAN

Thèse soutenue le 04 avril 2017

Ecole doctorale : ED 447 (EDX) - Polytechnique

Titre de la thèse

**Model-based approaches for flow estimation using Particle
Image Velocimetry**

Encadrement

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Directeurs de thèse : Benjamin Leclaire & Frédéric Champagnat - ONERA

Financement

Délégation Générale de l'Armement (DGA) & ONERA

Défi scientifique

Souffleries du futur

www.onera.fr/pss

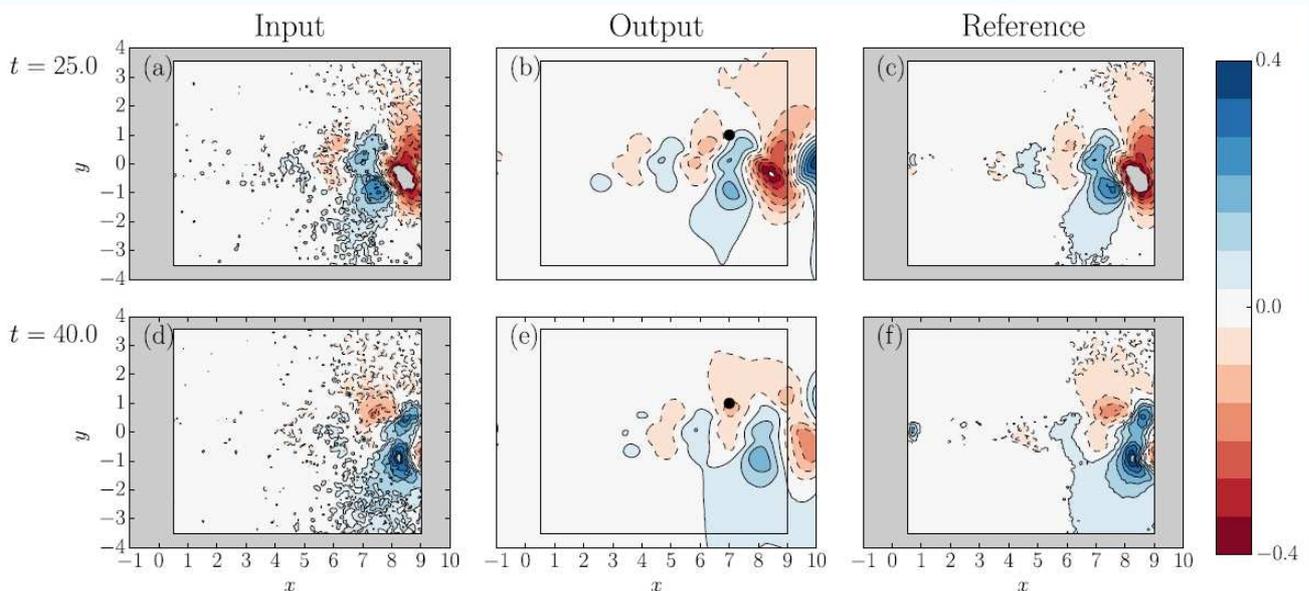


Contact : Benjamin.Leclaire @ onera.fr

Résumé

Particle Image Velocimetry (PIV) is one of the reference experimental methods for the study of complex flows. Still, PIV, either planar or tomographic, suffers from a set of limitations. The goal of the present thesis was to use and develop methods to overcome those limitations using physical-based modeling. In this regard, three different approaches have been explored.

The first approach aims at improving velocity and acceleration estimation in the context of Time-Resolved PIV (TRPIV). A novel algorithm has been developed: the Lucas-Kanade Fluid Trajectories (LKFT). This algorithm extends the two frame techniques to short image sequences assuming smooth polynomial trajectories for the flow. In a second part of the work, an approach to reconstruct the unsteady flow velocity field from the sole knowledge of the PIV mean flow and one or more unsteady point-wise measurements has been assessed and used on a round jet flow. This method, introduced by Beneddine et al. (2016), uses the Parabolized Stability Equations (PSE). At last, the third method relies on the full unsteady incompressible Navier-Stokes equations to improve PIV measurement sequences. An unsteady velocity field strictly respecting the governing equations and as close as possible to the PIV measurement is searched for. This approach, using a variational data-assimilation framework, has been applied to synthetic and experimental configurations, showing a strong potential of flow reconstruction in terms of extrapolation, denoising, and spatio-temporal super-resolution.



Flow reconstruction from PIV measurements, using data assimilation. Instantaneous iso-contours of crosswise velocity in a planar jet at two different instants, exit Reynolds number 1100.

Left column: input PIV measurement, unresolved in time and exhibiting strong spatial noise.

Right column: PIV measurement at high spatial and temporal resolutions, serving as reference.
Middle column: unsteady flow reconstruction using data assimilation, enabling extrapolation (grey zones), denoising, and temporal super-resolution

Distinction

Prix doctorant ONERA
(2017)

François OLCHEWSKY

Thèse soutenue le 20 novembre 2017

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

Titre de la thèse

**Caractérisation des écoulements instationnaires 3D
par tomographie holographique numérique multidirectionnelle**

Encadrement

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Directeurs de thèse : Jean-Michel Desse & Frédéric Champagnat - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

Souffleries du futur

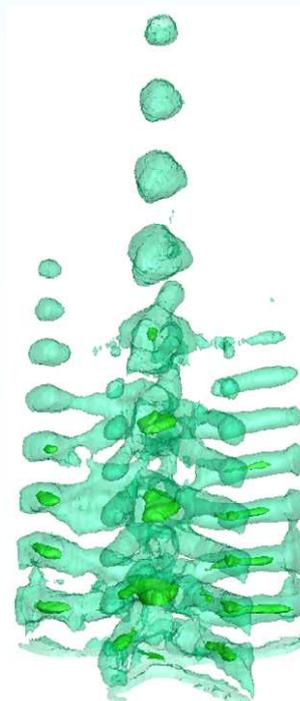
www.onera.fr/pss



Résumé

Ces travaux de thèse s'inscrivent dans le cadre du développement métrologique des méthodes optiques appliquées à la mécanique des fluides pour la caractérisation des phénomènes aérodynamiques complexes 2D et 3D. Parmi ces méthodes, l'holographie numérique donne accès à la phase de l'écoulement, grandeur directement reliée à l'intégration de l'indice de réfraction de l'écoulement, la masse volumique étant déduite par la relation de Gladstone-Dale. Si la mesure de la phase est effectuée suivant plusieurs directions de visée, la masse volumique de l'écoulement peut être reconstruite en 3D par tomographie. Après avoir développé l'holographie numérique à la mesure des forts gradients de masse volumique caractéristiques des essais en soufflerie, trois campagnes d'essais ont été effectuées sur des écoulements 3D stationnaires pour comparer les performances de l'holographie numérique par rapport à la striescopie interférentielle et la Background Oriented Schlieren (BOS) qui donnent accès à la déviation lumineuse, l'intégration de la dérivée de l'indice. L'algorithme de reconstruction 3D développé par l'ONERA pour la BOS3D, basé sur la minimisation d'un critère des moindres carrés régularisé par Tikhonov par la méthode des gradients conjugués, a été adapté aux mesures de phase. Les reconstructions avec 36 visées ont été comparées aux reconstructions obtenues par striescopie interférentielle et BOS. Enfin, l'analyse sur le nombre de visées nécessaires à la reconstruction a montré sa dépendance avec la complexité 3D du jet, ce qui a conduit à mettre en œuvre un banc d'holographie numérique à six visées simultanées pour reconstruire avec succès des jets libres instationnaires.

*Reconstruction du champ
3D de masse volumique d'un
jet supersonique issu d'une
buse en forme d'étoile*



Distinction

Prix doctorant ONERA
(2016)

Samir BENEDDINE

Thèse soutenue le 03 mars 2017

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

Titre de la thèse

**Characterization of unsteady flow behavior by linear stability
analysis**

Encadrement

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Directeur de thèse : Denis Sipp - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

Vers la maîtrise de la
turbulence

www.onera.fr/pss



Contact : Samir.Beneddine @ onera.fr

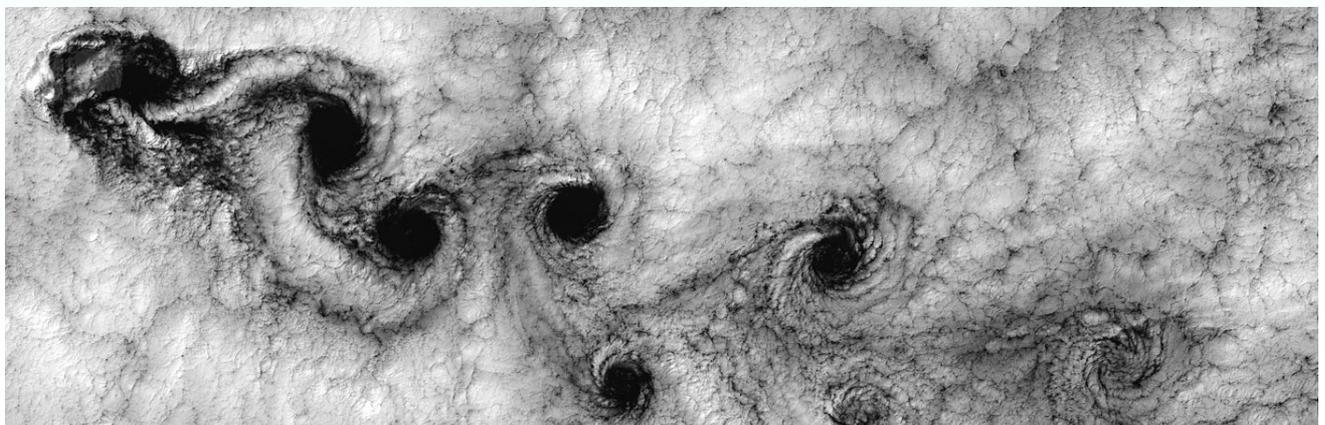
Résumé

Linear stability theory has been intensively used over the past decades for the characterization of unsteady flow behaviors. Unfortunately, none of the numerous existing approaches has the ability to address any general flow, and clear validity conditions for these techniques are often missing. In this thesis, this is addressed by first considering the classical base flow stability approach, which focuses on small disturbances about a steady solution of the Navier-Stokes equations.

To this end, underexpanded screeching jets are studied, and their nonlinear dynamics is found to be well-predicted by a linear base flow stability analysis. A confrontation with other similar analyses from the literature shows that such a satisfactory result is not always observed. However, when a self-sustained oscillating flow is driven by an acoustic feedback loop, as it is the case for the screech phenomenon, then the impact of nonlinearities on the frequency selection process seems weak, explaining the ability of a linear analysis to characterize the flow.

Another alternative approach, based on a linearization about the mean flow, is known to be successful in some cases where a base flow analysis fails. This observation from the literature is explained in this thesis by outlining the role of the resolvent operator, arising from a linearization about the mean flow, in the dynamics of a flow. The main finding is that if this operator displays a clear separation of singular values, which relates to the existence of one strong convective instability mechanism, then the Fourier modes are proportional to the first resolvent modes.

This provides mathematical and physical conditions for the use and meaning of several mean flow stability techniques. Moreover, it leads to a predictive model for the frequency spectrum of a flow field at any arbitrary location, from the sole knowledge of the mean flow and the frequency spectrum at one or more points. This is proven useful in some experimental applications, in order to reconstruct an unsteady flow without the need of timeresolved Particle Image Velocimetry.



Satellite observation of a Von-Karman vortex street behind the Juan Fernandez Island (NASA GSFC). This is a typical example of fluid behavior that may be characterized by a linear stability analysis.

Charlotte BAYEUX

Thèse soutenue le 21 décembre 2017

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

Titre de la thèse

**Méthode intégrale pour la couche limite tridimensionnelle -
Applications au givrage**

Encadrement

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Directeurs de thèse : Emmanuel Radenac & Philippe Villedieu - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

Vers la maîtrise de la
turbulence

www.onera.fr/pss



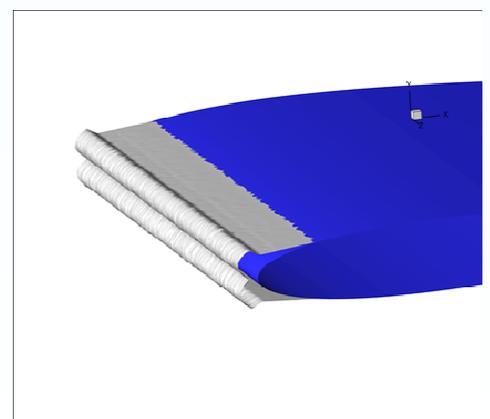
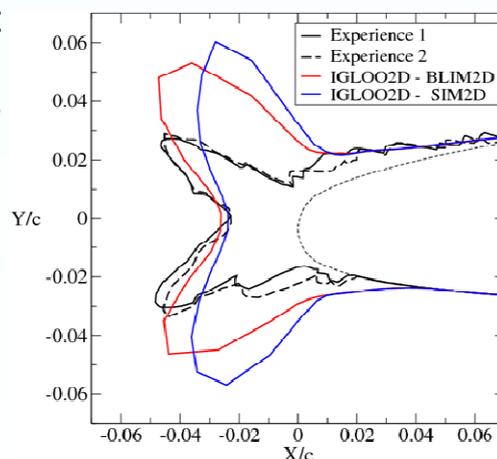
**Université
de Toulouse**



Contact : Emmanuel.Radenac @ onera.fr

Résumé

Depuis de nombreuses années, le givrage a été identifié comme un danger dans le domaine de l'aéronautique. L'accrétion de givre se produit lorsque des gouttelettes d'eau surfondue se déposent sur une surface, en particulier le bord d'attaque d'une aile ou la lèvre d'entrée d'air moteur, et gèlent après l'impact. Ceci peut ensuite engendrer une dégradation des performances aérodynamiques, un dysfonctionnement des sondes ou encore un endommagement du moteur. C'est pourquoi cette problématique est étudiée avec attention. Les essais en vol et en soufflerie étant longs et coûteux, la simulation numérique de l'accrétion de givre est devenue un outil nécessaire dans le processus de conception et de certification des avions. Cette thèse s'inscrit dans le contexte de la modélisation 3D de l'accrétion de givre, et plus particulièrement des couches limites dynamique et thermique qui se développent autour du corps givré. Les outils numériques devant être rapides et robustes, l'approche proposée dans cette thèse pour le calcul aérodynamique est une méthode couplée Euler/couche limite intégrale. Ainsi, un modèle intégral est développé pour représenter le développement de la couche limite dynamique. La partie thermique est modélisée soit par une méthode simplifiée basée sur des approches algébriques, soit par une méthode intégrale. Cette modélisation des couches limites dynamique et thermique est valable sur paroi lisse ou rugueuse et permet de fournir notamment le coefficient de frottement et le coefficient d'échange thermique qui sont nécessaires pour un calcul d'accrétion de givre. Les équations intégrales de couche limite, associées à leurs relations de fermeture, sont ensuite résolues par une méthode Volumes-Finis sur maillage surfacique non structuré, qui est bien adaptée pour les géométries complexes. De plus, des traitements numériques spécifiques sont mis en oeuvre pour améliorer la précision de la méthode au voisinage du point d'arrêt et pour rendre le code robuste au passage du décollement. Après la validation de la méthode de couche limite, le code est utilisé dans les chaînes de givrage 2D et 3D de l'ONERA pour des applications d'accrétion de givre. Ceci permet de montrer l'intérêt de la méthode en termes de robustesse et de précision par rapport aux codes de couche limite habituellement utilisés dans les codes de givrage actuels.



À gauche : forme de glace générée avec le code IGLOO2D (solveur BLIM2D), comparée à la méthode usuelle SIM2D.

À droite : forme de glace générée avec le code IGLOO3D (solveur BLIM3D)

**Simuler finement la propagation des ondes
acoustiques dans les souffleries pour améliorer la
précision des mesures**

Iannis BENNACEUR

Thèse soutenue le 30 juin 2017

Ecole doctorale : ED 353 - Mécanique, Physique, Micro et Nanoélectronique
- Marseille

Titre de la thèse

**Etude numérique de la diffusion d'une onde acoustique par
une couche de cisaillement turbulente à l'aide d'une
simulation aux grandes échelles**

Encadrement

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Encadrants : Marc Terracol & Daniel-Ciprian Mincu - ONERA

Directeurs de thèse : Lionel Larchevêque & Pierre Dupont - Aix-Marseille
Université

Financement

ONERA

Défi scientifique

CFD 2030

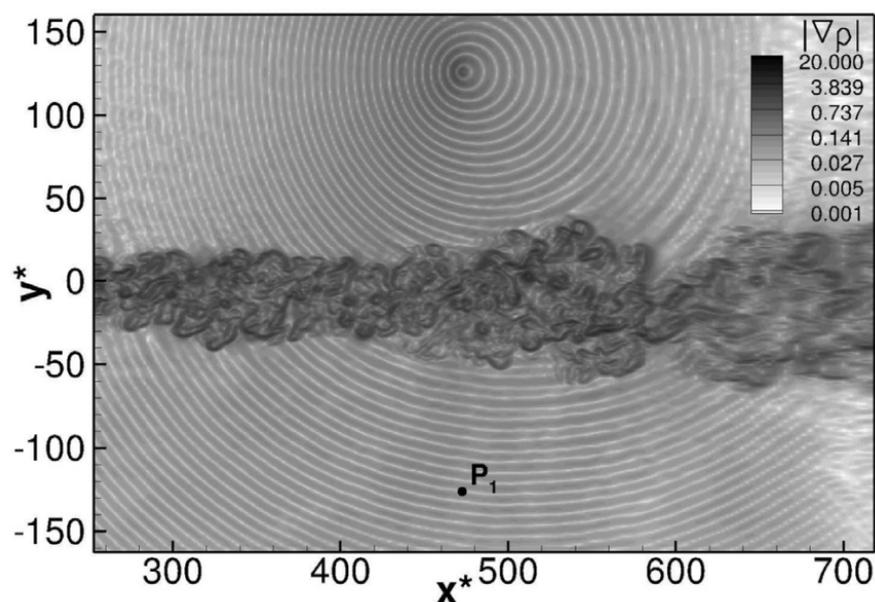
www.onera.fr/pss



Contact : Marc.Terracol @ onera.fr

Résumé

Lors des mesures acoustiques dans les souffleries à veine ouverte, les ondes acoustiques émises par une maquette ou une source située dans la veine se propagent dans la couche de cisaillement turbulente qui se forme aux abords du jet avant d'être reçues par les microphones localisés en dehors. L'onde acoustique interagit avec le champ de vitesse turbulent de la couche de mélange ce qui a pour effet de modifier son contenu spectral, de redistribuer spatialement son énergie et de moduler sa phase et son amplitude, on parle alors de diffusion acoustique. Cette thèse a consisté en l'étude de la diffusion d'une onde acoustique par une couche de cisaillement turbulente à l'aide d'une simulation numérique aux grandes échelles. Pour cela, il a d'abord été nécessaire de réaliser la simulation numérique aux grandes échelles d'une couche de cisaillement turbulente plane dans son régime auto-similaire. Dans un second temps, nous avons simulé l'interaction entre une onde acoustique et l'écoulement turbulent afin d'étudier les caractéristiques du champ de pression diffusé qui en résulte. Nous avons notamment vérifié que la simulation était capable de prédire précisément les fréquences sur lesquelles est répartie la plupart de l'énergie acoustique ainsi que la forme du spectre de pression diffusé. Finalement, le champ de vitesse du milieu turbulent qui est corrélé avec l'enveloppe du champ de pression diffusé a été reconstruit à l'aide de la méthode de l'estimation stochastique linéaire. Cette méthode nous a notamment permis de visualiser les larges structures turbulentes qui interviennent principalement dans le mécanisme de diffusion acoustique. Il serait désormais intéressant de modéliser, à partir du champ de vitesse turbulent estimé, le tenseur d'inter-corrélation spatio-temporelle qui intervient dans les modèles analytiques et les récentes simulations numériques afin d'améliorer les prédictions du champ de pression diffusé.



Interaction entre une onde acoustique et une couche de mélange turbulente

Distinction

Prix du meilleur jeune
chercheur lors de l'AIAA
BANC-IV Workshop
(2016)

Fernando DE LA PUENTE CEREZO

Thèse soutenue le jeudi 12 octobre 2017

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

Titre de la thèse

Simulations aéroacoustiques de trains d'atterrissage
en approche ZDES et maillage non-structuré

Encadrement

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Encadrants : Laurent Sanders & François Vuillot - ONERA

Directeur de thèse : Philippe Druault - UPMC

Financement

ONERA

Défi scientifique

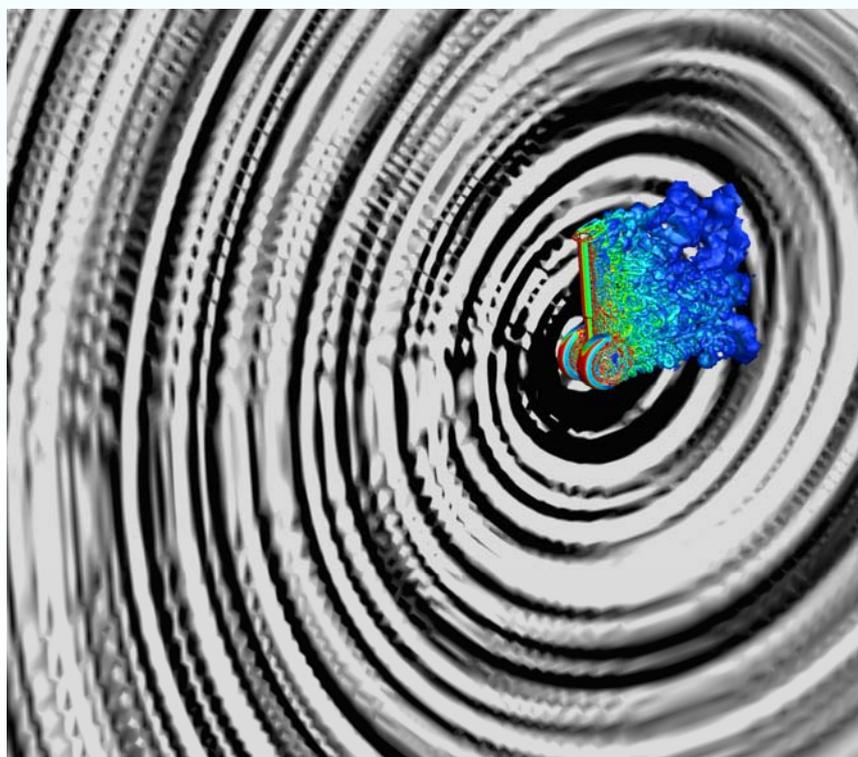
CFD 2030

www.onera.fr/pss



Résumé

Le transport aérien est devenu un des piliers de notre société mondialisée. Néanmoins, la croissance du secteur aéronautique a accentué les problèmes liés aux hauts niveaux sonores émis par les avions. Dans le cadre de la réduction du bruit produit par les trains d'atterrissage en phases d'approche et d'atterrissage, cette thèse a pour but de proposer une méthodologie numérique précise et efficace permettant de prédire un tel bruit. Elle est basée sur l'utilisation du code Navier-Stokes CEDRE développé à l'ONERA mettant en oeuvre des maillages non-structurés de haute qualité ainsi qu'un modèle de turbulence de type Zonal Detached Eddy Simulation. Cette démarche a été validée grâce au cas LAGOON, notamment à partir de deux simulations réalisées durant cette thèse, avec l'obtention de résultats très précis (moins de 1dB d'écart avec la mesure expérimentale des niveaux de bruit intégrés) avec un coût de calcul très raisonnable. Par la suite, cette méthodologie a été appliquée à un cas plus complexe, le PDCC, représentatif d'un train d'atterrissage réel. Une nouvelle fois, les résultats obtenus, notamment les niveaux de bruit, sont très précis. Ces bons résultats sont obtenus pour des choix différents : pour le PDCC des lois de paroi ont été utilisées en plusieurs endroits de la géométrie, dans le but de réduire encore le coût de calcul, tandis que dans le cas LAGOON, les couches limites ont été résolues à l'aide d'un maillage dédié. Finalement, la nature des sources acoustiques présentes dans le train LAGOON a été aussi étudiée. Pour cela, une simulation numérique d'un écoulement se développant autour d'une roue isolée du train a été réalisée afin d'identifier les mécanismes physiques responsables de la réponse tonale de la cavité, observée lors de la campagne expérimentale sur le train à 2 roues. Cette étude peut être aussi considérée comme celle d'une cavité installée soumise à un écoulement rasant non-uniforme. Les résultats obtenus sont comparés avec succès à ceux issus de la littérature du bruit de cavité.



Instantané du champ acoustique rayonné par le train d'atterrissage LAGOON avec visualisation de l'écoulement par iso-contour de critère Q coloré par la vorticité

Distinction

Meilleur article mondial
en propulsion solide -
AIAA (2016)

Maxime BOUYGES

Thèse soutenue le 28 novembre 2017

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

Titre de la thèse

**Instabilités dans les moteurs à propergol solide : influence
de la géométrie étoilée et étude numérique de la transition
laminaire-turbulent**

Encadrement

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Directeurs de thèse : Grégoire Casalis - ISAE-SUPAERO
François Chedevergne - ONERA

Financement

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) & ONERA

Défi scientifique

La propulsion dans
toute sa complexité

www.onera.fr/pss



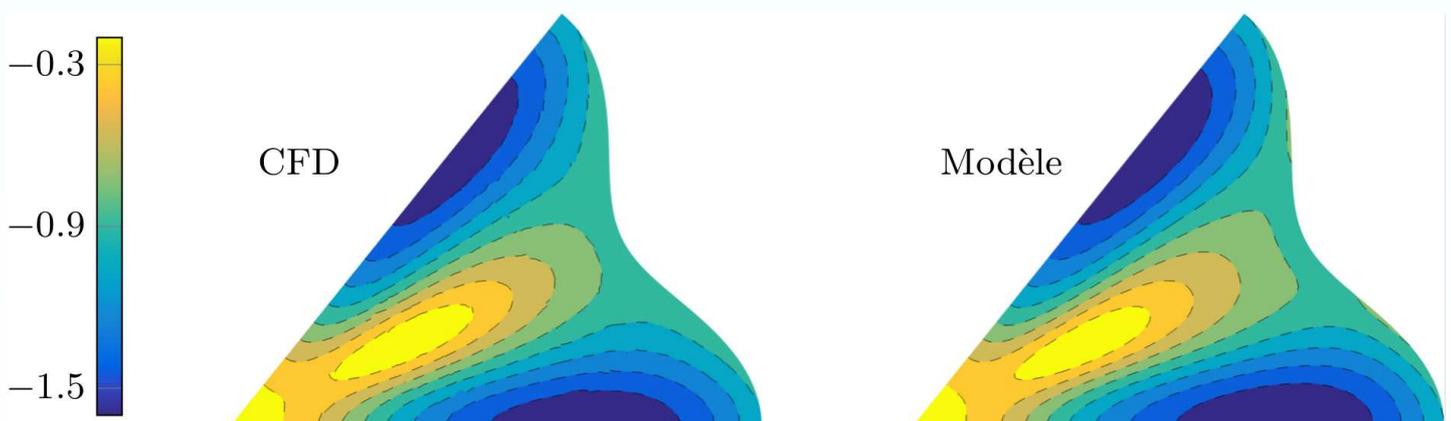
Université
de Toulouse



Contact : Francois.Chedevergne @ onera.fr

Résumé

Les moteurs à propergol solide de certains lanceurs spatiaux peuvent présenter des oscillations de poussée provoquées par des oscillations de la pression interne du moteur. Les oscillations faisant l'objet de ces travaux de thèse sont provoquées par une instabilité hydrodynamique propre à l'écoulement et mise en évidence par une approche de stabilité linéaire, appelée Vortex Shedding Parietal. Le travail effectué dans ce doctorat reprend la suite des travaux effectués précédemment en s'intéressant notamment à une géométrie particulière du chargement en propergol : la géométrie étoilée. Une solution analytique de l'écoulement stationnaire dans une telle géométrie est d'abord déterminée grâce à un développement asymptotique autour de la solution obtenue pour une géométrie circulaire. Cette solution, validée par des simulations numériques (CFD), peut présenter un ou plusieurs points d'inflexion dans le profil de vitesse axiale en fonction de l'amplitude de l'étoile et du nombre de Reynolds de l'écoulement. Ensuite les approches de stabilité linéaire locale et biglobale sont appliquées à cette solution stationnaire. Pour modéliser la dépendance azimutale de la perturbation, le théorème de Floquet est appliqué et une décomposition en série de Fourier est utilisée. Par rapport au cas circulaire, cette étude de stabilité linéaire met en évidence l'existence de nouveaux modes. Ces derniers sont associés à des fluctuations de vitesse dont les maxima sont situés proches de l'axe et correspondent à la position d'un point d'inflexion dans le profil de vitesse de l'écoulement base. La géométrie étoilée ne conduit donc pas seulement une modification des modes classiquement observés en géométrie circulaire, elle provoque aussi l'émergence de nouveaux modes intrinsèquement liés à cette géométrie. Ceux-ci permettent finalement de proposer un scénario explicatif de la différence du comportement observé mais non expliqué avant ce doctorat entre des résultats expérimentaux et des simulations numériques.



Comparaison de la vitesse radiale obtenue par le modèle et par un calcul CFD au sein d'une géométrie étoilée (7 branches, déviation de 10%). Isocontours représentés dans une coupe transversale pour un seul secteur

Thomas GAILLARD

Thèse soutenue le 23 mars 2017

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

Titre de la thèse

**Étude numérique du fonctionnement d'un moteur à détonation
rotative**

Encadrement

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Encadrant : Dmitry Davidenko - ONERA

Directeur de thèse : Francis Dupoirieux - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

La propulsion dans
toute sa complexité

www.onera.fr/pss

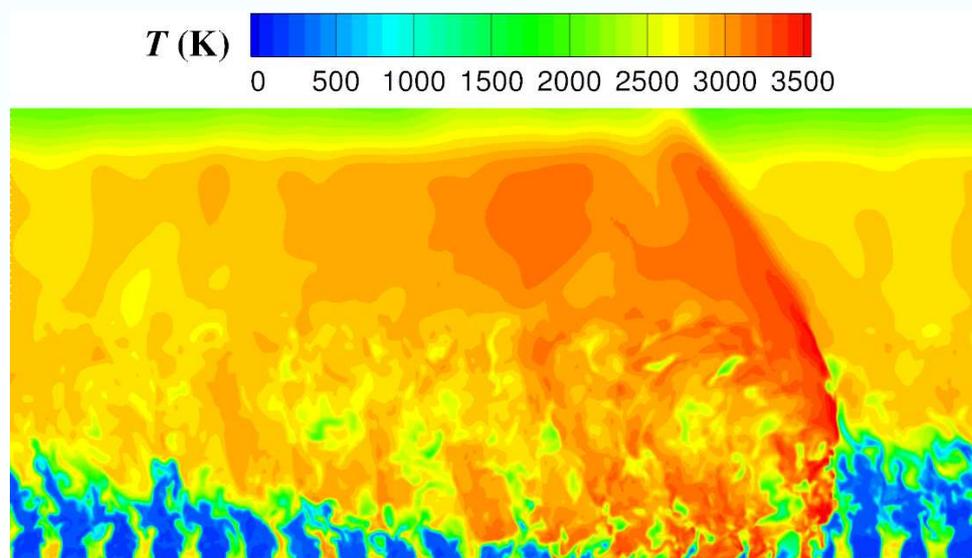


Contact : Thomas.Gaillard @ onera.fr

Résumé

Cette étude s'inscrit dans le domaine de la simulation numérique appliquée à la propulsion. Le moteur à détonation rotative (RDE) fait partie des candidats susceptibles de remplacer nos actuels moyens de propulsion. L'intérêt du régime de combustion par détonation est de provoquer une augmentation de la pression dans la chambre de combustion. Le rendement thermodynamique du moteur est ainsi grandement amélioré par rapport à celui d'une combustion classique à pression constante. Pour conserver l'avantage de la détonation, l'injecteur doit fournir un mélange dont la qualité doit être la meilleure possible tout en limitant les pertes de pression totale.

La présente étude porte sur le développement et l'optimisation numérique d'un injecteur adapté au fonctionnement d'un RDE. L'injection d'hydrogène et d'oxygène gazeux en rapport stœchiométrique est considérée pour une utilisation en propulsion fusée. Le premier objectif est de proposer un concept réaliste d'injecteur permettant de maximiser le mélange des ergols. Le second objectif est de réaliser des études du mélange dans la chambre par des simulations LES (Large Eddy Simulation) avec le code CEDRE en captant directement les grandes structures turbulentes. Le troisième objectif est de simuler avec le code CEDRE la propagation d'une détonation rotative alimentée par différents injecteurs. L'obtention de régimes stabilisés permet de comparer les performances des injecteurs pour les cas de prémélange et d'injection séparée des ergols.



Champ de température illustrant la propagation établie d'une détonation rotative alimentée par une injection optimisée du mélange hydrogène-oxygène.

Physique

Défi 8 - La propulsion dans toute sa complexité

GEORGE Robert - Développement de nouvelles stratégies d'allumage laser : application à la propulsion aéronautique et/ou spatiale 50

Défi 9 - Photonique et systèmes optroniques

MONTAUX-LAMBERT Antoine - Conception d'un interféromètre large bande spectrale pour la métrologie et l'imagerie de phase sur sources synchrotron 52

BOLE Samuel - Estimation de la pose du visage du conducteur par caméra thermique..... 54

WEBER François - Modélisation de fonds multispectraux texturés et hétérogènes pour la détection d'anomalies 56

NAFA Malik - Spectroscopie DRASC en régime hybride fs/ps à haute cadence (kHz) appliquée à la thermométrie des gaz 58

VILMART Gautier - Détection de vapeurs d'atomes métalliques par Fluorescence Induite par Laser (LIF) : Application à la propulsion solide 60

CADIOU Erwan - Lidar DIAL multi-espèces à base de sources paramétriques optiques pour la détection des gaz à effet de serre depuis l'espace 62

HALLERMEYER Alexandre - Traitement du signal d'un LIDAR Doppler scannant dédié à la surveillance aéroportuaire 64

DUPONT Jan - Imagerie polarimétrique de speckle statique pour l'étude de matériaux, et dynamique pour la détection de micro-vascularisation tumorale 66

PRÉVOST Florian - Combinaison cohérente dans une fibre multicoeurs pour des applications LIDAR 68

BENOIT Philippe - Conception et réalisation d'un amplificateur Raman fibré monofréquence à 1645 nm pour la mesure du méthane par LIDAR 70

COYAC Antoine - Apport de l'imagerie active 3D à plan focal, embarquable sur drone, pour l'amélioration de la cartographie haute résolution de terrain 72

FAUVARQUE Olivier - Optimisation des analyseurs de front d'onde à filtrage optique de Fourier.. 74

TEIXEIRA Joel - Développement d'une nouvelle approche de mesure de front d'onde sans analyseur pour la microscopie à deux photons	76
VIEVARD Sébastien - Développement et validation d'un analyseur de surface d'onde en plan focal pour un instrument multi-pupille	78
JUVENAL Rémy - Modélisation et commande pour les optiques adaptatives des VLT et ELT : de l'analyse de performance à la validation ciel.....	80
BERNARD Anaïs - Développement de nouveaux outils de traitement et d'analyse pour l'Optique Adaptative Grand Champ	82
SAAB Kassem - Optique adaptative pour les communications optiques en espace libre	84
CAMBOULIVES Adrien-Richard - Compensation des effets de la turbulence atmosphérique sur un lien optique montant sol satellite géostationnaire : impact sur l'architecture du terminal sol. ..	86
MAKHSIYAN Mathilde - Nano-émetteurs thermiques multi-spectraux.....	88
BIERRET Antoine - Composants nanostructurés pour le filtrage spectral à l'échelle du pixel dans le domaine infrarouge	90

Défi 10 - Electromagnétisme et radar

GUERRAOU Zaynab - Rétrodiffusion micro-onde par la surface océanique en incidence élevée : approche conjointe théorique et expérimentale	92
L' HOUR Charles Antoine - Modélisation de la propagation en milieux inhomogènes basée sur les faisceaux gaussiens – Application à la propagation en atmosphère réaliste et à la radio-occultation entre satellites	94
CHARBONNIERAS Christophe - Mesure d'intégrité par l'exploitation des signaux de navigation par satellites	96
ABI AKL Marie-José - Propagation dans l'ionosphère en présence de turbulences : application aux radars HF	98
FAYON Gaëtan - Modélisation Statistique de la Diversité Multi-Site aux Fréquences comprises entre 20 et 50 GHz	100
ALZAIX Benjamin - Analyse mathématique et numérique de l'équation intégrale d'Herberthson dédiée à la diffraction électromagnétique d'ondes planes.....	102

Défi 12 - Capteurs et environnement spatial

CHEN Raphaël - Etude du bruit des accéléromètres électrostatiques ultrasensibles de la mission GOCE	104
FIL Nicolas - Caractérisation et modélisation des propriétés d'émission électronique sous champ magnétique pour des systèmes RF hautes puissances sujets à l'effet Multipactor.....	106
BRUNET Antoine - Modélisation multi-échelle de l'effet d'un générateur solaire sur la charge électrostatique d'un satellite	108
AL YOUSSEF Ahmad - Etude par modélisation des évènements singuliers (SET/SEU/SEL) induits par l'environnement radiatif dans les composants électroniques	110
URSULE Marie-Cécile - Compréhension des mécanismes physiques à l'origine des dégradations électriques extrêmes des pixels dans les capteurs d'images irradiés.....	112
PIERRON Juliette - Modèle de transport d'électrons à basse énergie (10 eV-2 keV) pour applications spatiales (OSMOSEE, GEANT4).....	114
HERRERA Damien - Prise en compte du temps local dans la modélisation des ceintures de radiation terrestres	116
BENACQUISTA Rémi - Impact des structures du vent solaire sur les ceintures de radiation terrestres.....	118

Développer de nouveaux systèmes d'allumage pour améliorer la performance des moteurs aéronautiques

Robert GEORGE

Thèse soutenue le 02 mai 2017

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

Titre de la thèse

Développement de nouvelles stratégies d'allumage laser : application à la propulsion aéronautique et/ou spatiale

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrants : Mikaël Orain - ONERA

Laurent Zimmer - CentraleSupélec

Directeur de thèse : Marc Massot - Ecole Polytechnique

Financement

ONERA

Défi scientifique

La propulsion dans toute sa complexité

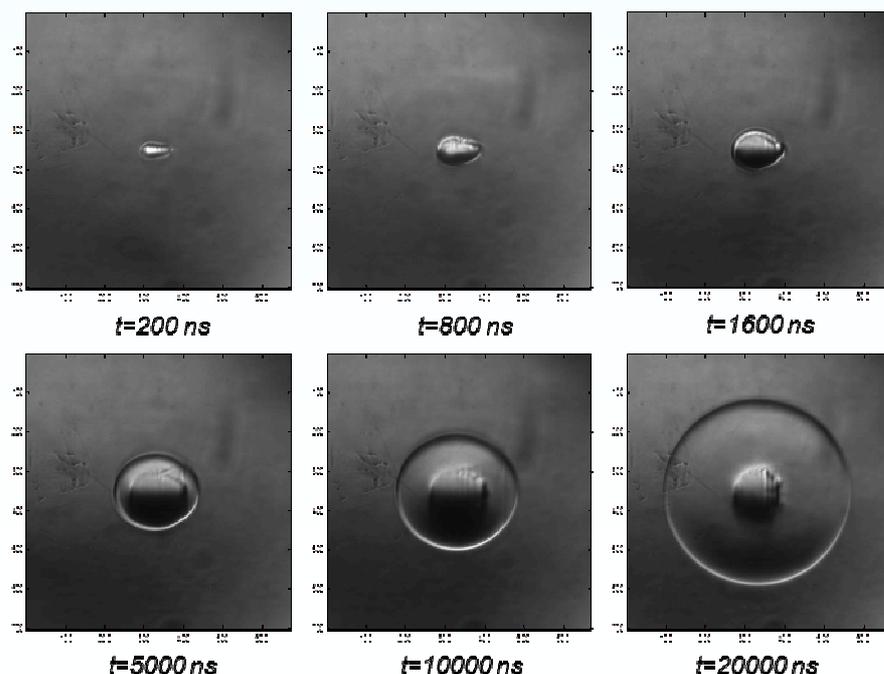
www.onera.fr/pss



Contact : Mikael.Orain @ onera.fr

Résumé

Le développement de nouveaux systèmes d'injection pour les chambres aéronautiques, nécessaire pour en améliorer les performances, nécessite de repenser l'architecture globale de la chambre, et en particulier, le système d'allumage. Des systèmes alternatifs sont donc envisagés, parmi lesquels l'allumage par claquage laser. Ce système repose sur la création d'un plasma au point de focalisation d'un faisceau laser impulsif, permettant l'allumage du carburant. Ce travail de recherche porte ainsi sur l'étude et la caractérisation d'un plasma induit par laser produit par une configuration en impulsion unique et en double impulsion. Une étude bibliographique a en effet permis d'identifier que cette seconde configuration avait donné des résultats encourageants – sur l'augmentation de la probabilité d'allumage - dans le cadre d'un allumage d'un spray de kérosène à froid. Des mesures par imagerie intensifiée, strioscopie et spectroscopie ont permis de caractériser l'évolution spatio-temporelle des dimensions du plasma et l'onde de choc induite, ainsi que de mesurer l'évolution temporelle de la température et de la densité électronique dans les deux configurations d'impulsions laser considérées. Ce travail expérimental nous a permis d'identifier le délai inter-impulsions comme l'un des paramètres essentiels déterminant l'efficacité du procédé en double-impulsion. Les observations ont également montré une physionomie du dépôt d'énergie particulière, le claquage s'effectuant aux extrémités du plasma préexistant. Les observations et données obtenues lors de cette campagne expérimentale serviront de base de comparaison en vue de test d'allumages. Une étude préliminaire sur le claquage dans un spray de dodécane non-réactif a également été effectuée.



Evolution temporelle du noyau de gaz chauds créé par un claquage laser

Concevoir un moyen d'imagerie par rayons X innovant pour sonder la matière en profondeur

Antoine MONTAUX-LAMBERT

Thèse soutenue le 20 février 2017

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

Titre de la thèse

Conception d'un interféromètre large bande spectrale pour la métrologie et l'imagerie de phase sur sources synchrotron

Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrant : Pascal Mercère - Synchrotron SOLEIL

Directeur de thèse : Jérôme Primot - ONERA

Financement

Synchrotron SOLEIL & ONERA

Défi scientifique

Photonique et systèmes optroniques

www.onera.fr/pss

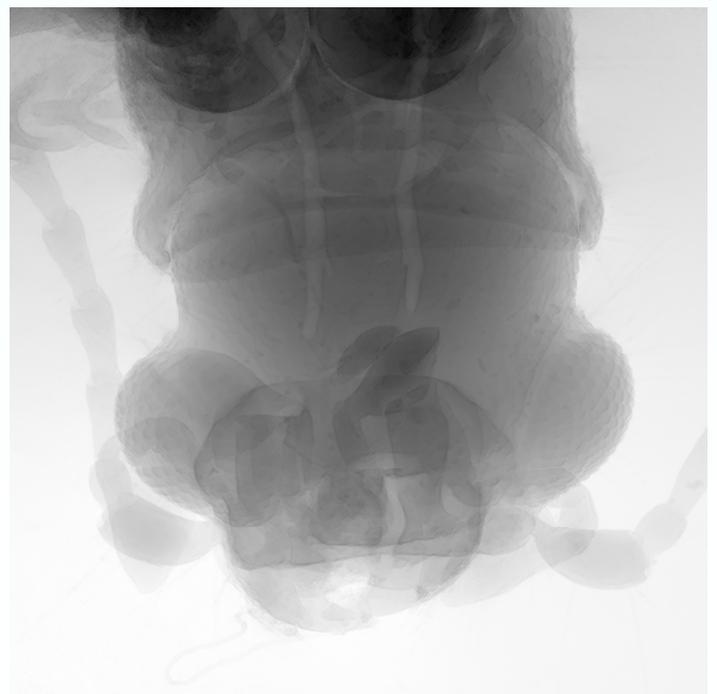


Contact : [Jerome.Primot @ onera.fr](mailto:Jerome.Primot@onera.fr)

Conception d'un interféromètre large bande spectrale pour la métrologie et l'imagerie de phase sur sources synchrotron

Résumé

Cette thèse présente les travaux de recherche effectués dans le but de concevoir et optimiser un instrument de métrologie du front d'onde et d'imagerie de phase sur faisceau synchrotron dans la gamme des rayonnements X durs. L'étude s'est focalisée sur la conception d'un interféromètre à réseau unique dont l'extraction des informations associées à l'analyse du front d'onde s'effectue par démodulation Fourier. Ces choix ont été déterminés par la volonté de concevoir un instrument robuste pouvant fonctionner sur une large gamme de conditions expérimentales sans avoir à modifier et accorder les paramètres et éléments constitutifs fondamentaux de l'instrument à chaque expérience. Ceci se résume par la contrainte forte de pouvoir réaliser une calibration absolue du système de façon à garantir la prise de mesure ultérieure par acquisition d'un interférogramme unique tout en s'affranchissant des erreurs de mesure déterministes de l'instrument. La variable expérimentale la plus importante correspond à l'énergie de travail ; par conséquent la conception de l'interféromètre s'est organisée autour de la recherche de performances constantes sur une large bande spectrale pour des énergies entre 10 à 30keV et a conduit à l'étude et à la mise en œuvre d'une configuration interférométrique innovante. Celle-ci exploite un régime diffractif particulier du réseau permettant d'accéder à la propriété d'achromaticité (non rigoureuse) par repliement des performances de mesure sur cette bande spectrale, et ce, pour un instrument reposant pourtant sur un composant diffractif fondamentalement chromatique. D'autre part, afin de garantir l'analyse quantitative de l'information portée par les modulations interférométriques générées par le réseau, nous avons également optimisé les traitements numériques et abouti au développement d'un algorithme de prétraitement des interférogrammes permettant de s'affranchir des effets de bord lors de l'analyse d'images à support fini. Les artefacts rencontrés sont connus sous le nom de phénomènes de Gibbs et apparaissent dans le cas général de la transformée de Fourier d'un signal discontinu. Ainsi, annuler ces effets de bord permet également de gérer les problèmes d'éclairement partiel de la pupille de l'analyseur dont la gestion est essentielle en métrologie de front d'onde. Enfin nous présentons les résultats expérimentaux de validation du concept interférométrique et de mesures applicatives en métrologie optique et en imagerie de phase sur des échantillons d'intérêt issus de domaines variés, de la biologie à la paléontologie.



*Radiographie d'un coléoptère
par contraste de phase*

Développer un prototype pour la surveillance du conducteur d'un véhicule par imagerie thermique non-refroidie

Samuel BOLE

Thèse soutenue le 30 juin 2017

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

Titre de la thèse

Estimation de la pose du visage du conducteur par caméra thermique

Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrants : Guillaume Druart - ONERA

Christophe Lavergne - Renault SA

Directeurs de thèse : Thierry Lépine - IOGS

Corinne Fournier - Université Jean Monnet

Financement

CIFRE Renault

Défi scientifique

Photonique et systèmes optroniques

www.onera.fr/pss



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

Résumé

Ces travaux de recherche portent sur l'estimation de la pose (orientation et position 3D) du visage du conducteur par caméra thermique. Les applications potentielles sont : estimation de la direction du regard (attention à la tâche de conduite), optimisation du déclenchement des airbags, adaptation des affichages 'tête haute', contrôle de paramètres physiologiques (température, rythme respiratoire)... Des systèmes actuellement commercialisés sont basés sur une caméra et un illuminant proche infrarouge (leds à ~ 900 nm). La robustesse face aux variations d'illumination étant un point sensible de ces systèmes, nous souhaitons développer une alternative. Les caméras thermiques (bande 8-14 μm) en représentent une puisqu'elles sont particulièrement sensibles au rayonnement propre des objets à 30°C tels que les visages humains. Les avancées technologiques autour de ces imageurs vont dans le sens d'une réduction des coûts pour les besoins des marchés de grand volume tels que de la domotique et l'automobile. Dans le cadre de cette thèse, nous avons choisi d'utiliser une caméra thermique commerciale à microbolomètres. L'objet de ces travaux est de maîtriser les étapes de correction du bruit spatial fixe BSF et de traitement de l'image permettant d'estimer la pose du visage du conducteur en mettant l'accent sur la robustesse aux conditions d'utilisation typiques d'un véhicule. De l'image brute (c'est-à-dire non corrigée du BSF), jusqu'à l'estimation de la pose, nous avons assemblé et paramétré des méthodes algorithmiques issues de l'imagerie thermique ou visible. Concernant la réduction du bruit de l'image, rappelons que les tables de correction du BSF dépendent de la température du boîtier de la caméra et de la température du plan focal. Nous avons implémenté et évalué des méthodes de l'état de l'art. Leur compatibilité avec les contraintes automobiles a également été discutée. Concernant l'estimation de la pose, des maillages 3D du visage, auxquels nous avons plaqué de la texture, ont été créés. Ils sont ensuite utilisés pour synthétiser des images dans lesquelles la pose du visage est particulière. Cet ensemble d'images de synthèse forme une base d'images que nous avons utilisée de deux manières différentes pour estimer la pose : (1) maximum de vraisemblance entre la base et l'image réelle questionnée, (2) mise en correspondance 3D-2D de points d'intérêt pour alimenter un algorithme de résolution du problème de perspective n points (PnP). Ce prototype (caméra thermique et algorithme) nous a permis d'évaluer la précision d'estimation de la pose accessible en imagerie thermique. Il nous a également permis de dimensionner les paramètres clefs d'une caméra thermique qui impactent son coût : sensibilité thermique, résolution spatiale et méthode de correction du bruit.



Image thermique d'un individu dans l'habitacle d'un véhicule

Développer de nouvelles méthodes d'analyse pour améliorer les performances de détection des capteurs multispectraux

François WEBER

Thèse soutenue le 29 juin 2017

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

Titre de la thèse

Modélisation de fonds multispectraux texturés et hétérogènes pour la détection d'anomalies

Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrante : Sidonie Lefebvre - ONERA

Directeur de thèse : Eric Moulines - CMAP

Financement

CIFRE Safran Electronics & Defense

Défi scientifique

Photonique et systèmes optroniques

www.onera.fr/pss

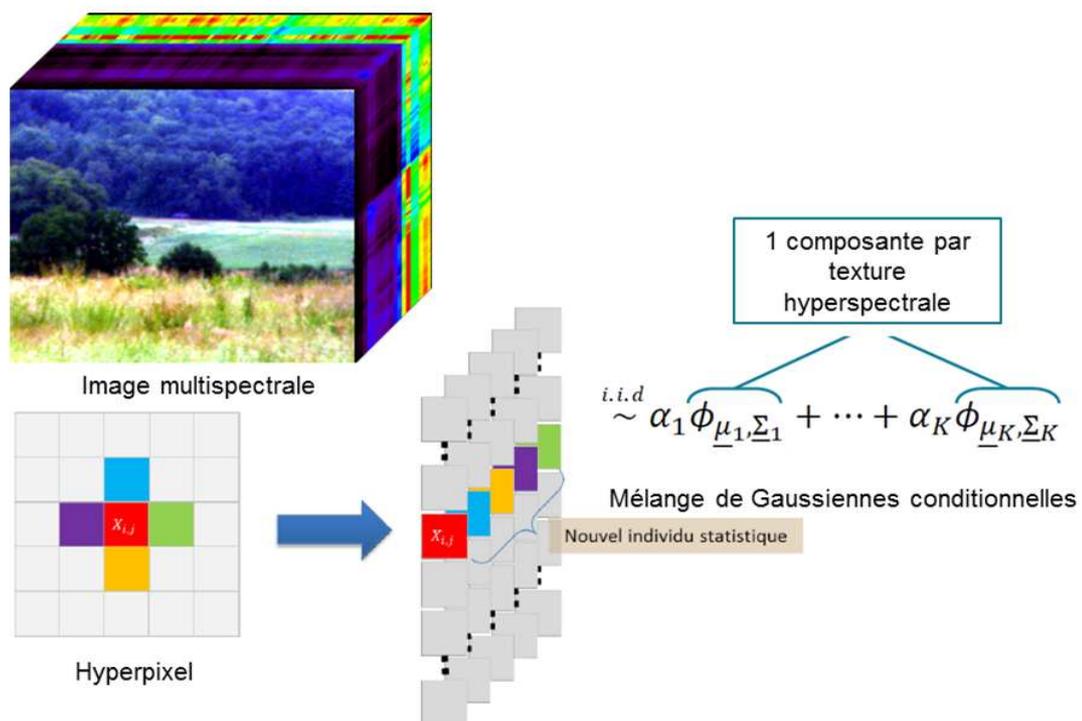


Contact : Sidonie.Lefebvre @ onera.fr

Résumé

Des méthodes de détection d'objets camouflés sont utilisées dans de nombreux domaines, dont celui de l'exploration de théâtres d'opérations militaires. Dans ce contexte, les spécificités des cibles à repérer ne sont pas connues a priori. Les méthodes de détection d'anomalies permettent de se passer de ces informations et forment le point de départ de cette thèse.

Les données considérées dans ces travaux sont des images multispectrales de fonds naturels contenant des cibles camouflées. Ces fonds présentent un fort aspect texturé dû à la végétation. Nous proposons d'exploiter conjointement les informations spectrale et spatiale dans le but de mesurer le gain conféré par la prise en compte des textures dans le cadre d'une détection d'anomalies. En effet, le taux de faux-positifs est susceptible d'augmenter sur des scènes très texturées si ces comportements ne sont pas prévus par le détecteur d'anomalies utilisé. Plusieurs méthodes de détection adaptées aux fonds multispectraux texturés ont été comparées à des détecteurs d'anomalies de référence n'exploitant que l'information spectrale. Les premiers détecteurs proposés reposent sur des modèles de type champs de Gauss-Markov aléatoires et mélanges de gaussiennes structurées, permettant des tests paramétriques ; les seconds sur des tests non-paramétriques dans des espaces à noyaux. Les résultats obtenus montrent la nécessité d'une segmentation conjointe à la détection d'anomalies sur des images très hétérogènes. Par ailleurs, les meilleurs résultats de détection ont été obtenus grâce aux modèles dépourvus d'a priori sur les distributions des pixels de fonds.



Prise en compte simultanée de l'information spatiale et de l'information spectrale par la modélisation d'empilements d'hyperpixels

Développer des outils de métrologie non intrusifs et innovants pour mesurer la température des gaz dans les chambres de combustion

Malik NAFA

Thèse soutenue le 9 novembre 2017

Ecole doctorale : ED 553 - Sciences et Techniques - Carnot Pasteur - Besançon

Titre de la thèse

Spectroscopie DRASC en régime hybride fs/ps à haute cadence (kHz) appliquée à la thermométrie des gaz

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Directeurs de thèse : Pierre Joubert - Institut UTINAM
Michael Scherman - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

Photonique et systèmes optroniques

www.onera.fr/pss



Contact : Michael.Scherman @ onera.fr

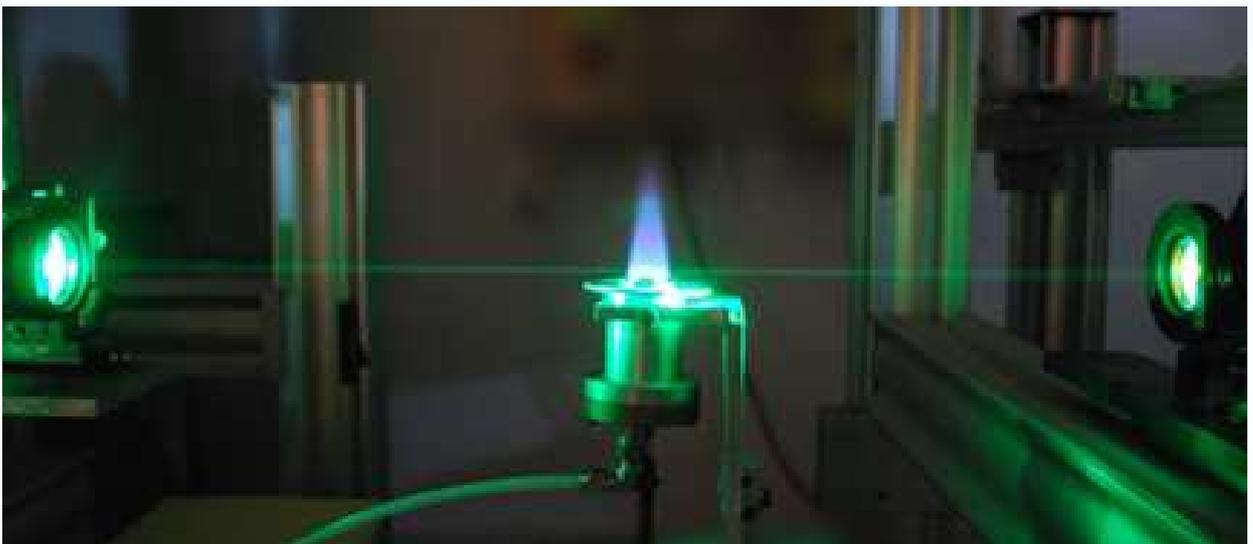
Résumé

Les techniques de spectroscopie cohérente comme la diffusion Raman Anti-Stokes cohérente (DRASC) sont communément utilisées pour l'analyse quantitative de milieux réactifs.

Dans le cadre de cette thèse, un dispositif expérimental de DRASC en régime hybride fs/ps a été développé en utilisant un laser femtoseconde fonctionnant à haute cadence (kHz). L'utilisation d'un réseau de Bragg en volume permet de générer une impulsion de sonde de 30 ps. Ce dispositif a été appliqué à la spectroscopie ro-vibrationnelle de plusieurs espèces moléculaires, N_2 , O_2 et C_2H_2 .

Pour décrire l'interaction, un modèle de simulation des spectres DRASC a été mis au point et adapté à ce régime temporel. Cette modélisation prend en compte le profil en amplitude et phase de la sonde ainsi que son retard par rapport aux impulsions pompe et Stokes. L'influence des collisions moléculaires est discutée dans le cadre du régime hybride. Les ajustements des spectres calculés sur les spectres expérimentaux enregistrés dans l'air ambiant et dans une flamme de pré-mélange CH_4 /air, donnent la température à pression atmosphérique avec une précision comparable à l'état de l'art dans le régime hybride fs/ps.

La prochaine étape, qui consiste à réaliser des mesures de température dans des chambres de combustion réelles, est déjà prévue sur les bancs d'essai de l'ONERA (MICADO). Elle permettra notamment d'éprouver le modèle collisionnel développé pour la haute pression et la haute température.



Diagnostic DRASC sur une flamme de prémélange CH_4 /air

Mieux comprendre les mécanismes de combustion des proergols solides pour améliorer les performances des moteurs à propulsion solide

Gautier VILMART

Thèse soutenue le 07 décembre 2017

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

Titre de la thèse

Détection de vapeurs d'atomes métalliques par Fluorescence Induite par Laser (LIF) : Application à la propulsion solide

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrante : Nelly Dorval - ONERA

Directrice de thèse : Brigitte Attal-Tretout - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

Photonique et système optroniques

www.onera.fr/pss

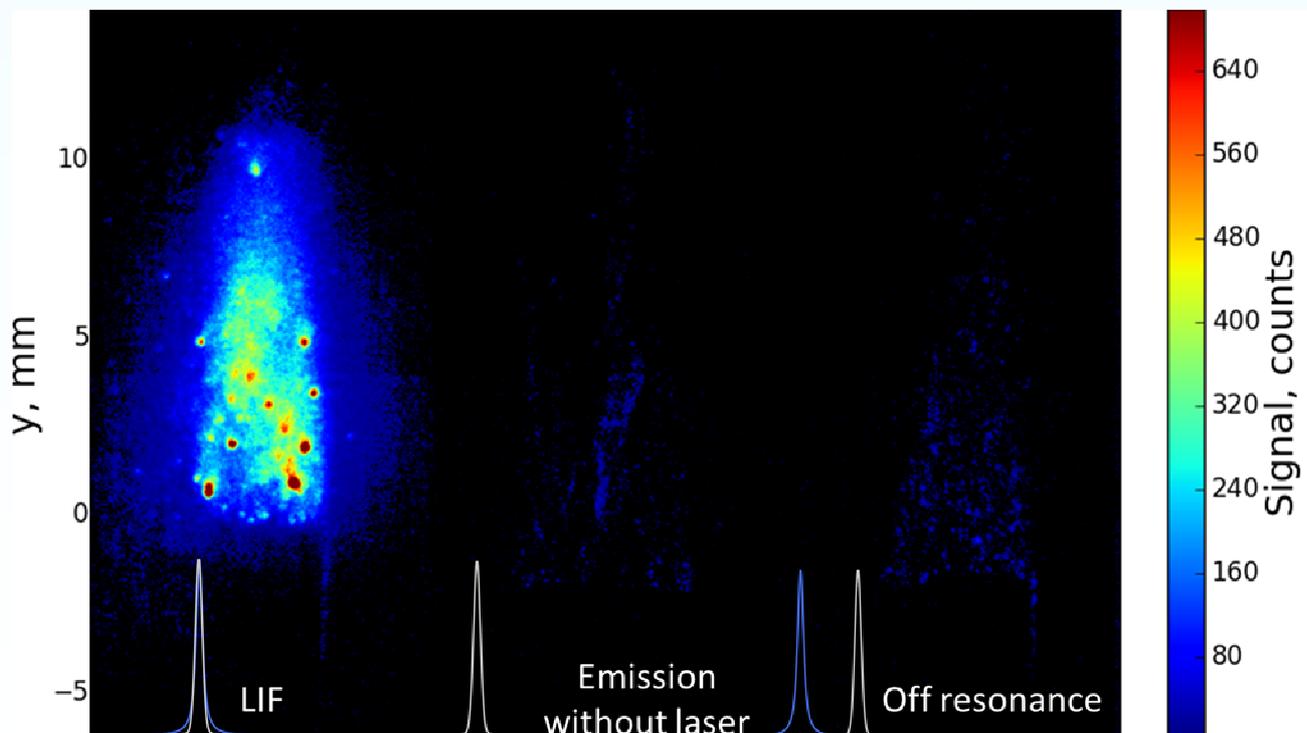


Contact : Nelly.Dorval@onera.fr

Résumé

Cette thèse porte sur la méthode de Fluorescence Induite par Laser (LIF) à haute cadence développée sur deux atomes métalliques (Al et Fe) utilisés comme traceurs fluorescents dans les flammes de propergols solides où ils sont naturellement présents. Deux expériences d'évaporation de l'aluminium sont mises en œuvre pour mettre au point la technique dans des conditions contrôlées sur une large gamme de pressions et températures. Un modèle théorique du processus de fluorescence appliqué à ces deux atomes est élaboré pour calculer les taux de quenching du signal avec la pression et la température. Les données collisionnelles qui sont inconnues sont prédéterminées théoriquement pour Fe et expérimentalement pour Al. Les coefficients de transferts d'énergie et d'élargissements spectraux par collisions de l'atome Al sont déterminés expérimentalement en environnement d'azote pur. Une étude du comportement du signal de Al avec l'énergie laser est effectuée pour mesurer les seuils de saturation avec les gaz N_2 , Ar et He en fonction de la pression.

Le modèle permet de reproduire correctement les profils temporels et spectraux avec toutefois des approximations et des limitations qui sont explicitées. Une première application de l'imagerie LIF sur Al dans une combustion de propergols aluminisés (10 bars et 3000 K) permet de visualiser des gouttes d'aluminium et d'observer leur évolution dans la flamme.



Imagerie LIF rapide (10 kHz) de l'aluminium au-dessus de la surface d'un propergol solide aluminisé en combustion

Développer et réaliser un système de télédétection multi-espèces des gaz à effet de serre dans l'atmosphère pour un concept de mission spatiale

Erwan CADIOU

Thèse soutenue le 20 décembre 2017

Ecole doctorale : ED 129 (SEIF) - Sciences de l'environnement IdF - UPMC Paris

Titre de la thèse

Lidar DIAL multi-espèces à base de sources paramétriques optiques pour la détection des gaz à effet de serre depuis l'espace

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrants : Myriam Raybaut & Jean-Baptiste Dherbecourt - ONERA

Directeur de thèse : Jacques Pelon - LATMOS

Financement

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) & ONERA

Défi scientifique

Photonique et système optroniques

www.onera.fr/pss

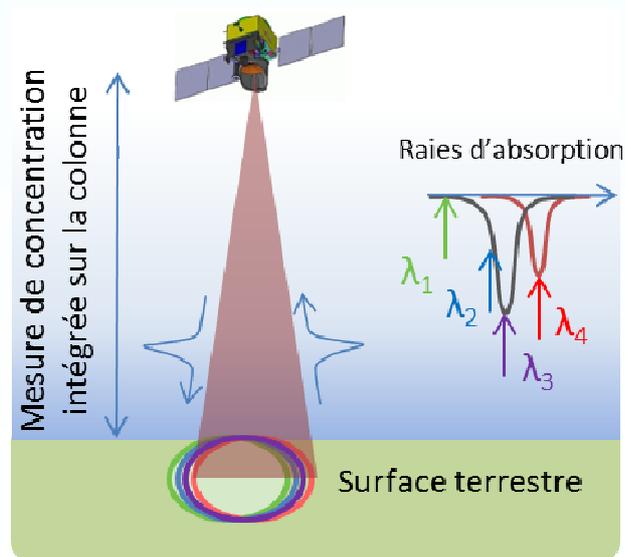


Contact : Jean-Baptiste.Dherbecourt @ onera.fr

Résumé

Pour estimer les puits et sources des gaz à effet de serre et améliorer les prévisions d'évolution du climat, il est nécessaire de disposer de mesures précises et continues de leurs concentrations atmosphériques à l'échelle globale. Pour consolider le réseau d'observation mondial, la mise en œuvre de systèmes lidar embarqués sur satellite pour les futures missions de sondage atmosphérique depuis l'espace est considérée comme un atout à la fois innovant et complémentaire aux méthodes de mesure actuelles. Dans ce contexte, ces travaux de thèse ont porté sur le développement d'un lidar à absorption différentielle (DIAL) à partir d'une source paramétrique émettant dans la gamme spectrale $1,9 - 2,3 \mu\text{m}$. Il s'est agi de démontrer l'aptitude de la source à être mise en œuvre pour des mesures longue portée des principaux gaz à effet de serre (CO_2 , H_2O , CH_4). Dans ce but, la source a été intégrée dans une architecture lidar dimensionnée préalablement à l'aide d'une modélisation numérique. L'optimisation de l'instrument s'est faite autour de deux points : le contrôle de la pureté spectrale de la source et la maîtrise de la réponse de la chaîne d'acquisition. Des mesures des trois gaz ont ensuite été réalisées depuis le laboratoire à partir du signal provenant de la rétrodiffusion des aérosols ou des nuages. Ces mesures ont servi de support pour une étude approfondie des erreurs et des biais de mesure. A partir de ces travaux et en s'appuyant sur des simulations, la possibilité d'intégration de la source dans un système aéroporté a été étudiée comme une étape préliminaire pour la mesure spatiale. Enfin, une projection des performances d'un système satellite mettant en œuvre cette source a été établie.

Principe de la mesure IP-DIAL (integrated path Differential Absorption Lidar) multi-espèces depuis un satellite : la comparaison des échos d'impulsions laser émises à au moins deux longueurs d'onde différentes sur les raies d'absorption des gaz à effet de serre permet de remonter à leur concentration intégrée.



Mesurer les tourbillons de sillage des avions près des aéroports pour densifier le trafic aérien et renforcer la sécurité aérienne

Alexandre HALLERMEYER

Thèse soutenue le 31 janvier 2017

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

Titre de la thèse

Traitement du signal d'un LIDAR Doppler scannant dédié à la surveillance aéroportuaire

Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrants : Agnès Dolfi-Bouteyre & Mathieu Vala - ONERA

Laurent Lebrisquet - Centrale-Supélec

Ludovic Thobois - Leosphere

Directeur de thèse : Gilles Fleury - Centrale Pékin

Financement

Leosphere & ONERA

Défi scientifique

Photonique et systèmes optroniques

www.onera.fr/pss



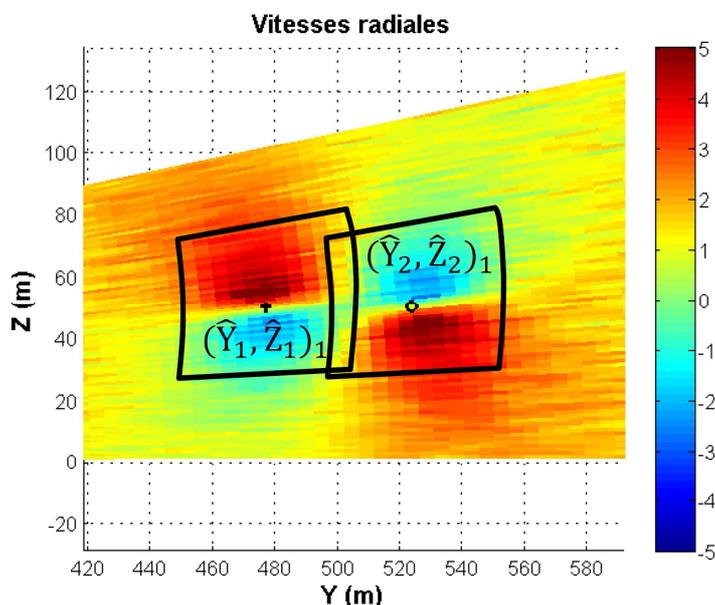
Contact : Agnes.Dolfi-Bouteyre @ onera.fr

Résumé

La croissance prévue du trafic aéroportuaire mondial pour les dix prochaines années fait émerger de véritables défis technologiques pour permettre de densifier le trafic tout en garantissant une sécurité aérienne accrue. En complément à tous les efforts réalisés ces dernières décennies pour comprendre les tourbillons de sillage à l'aide de modèles numériques de plus en plus sophistiqués, leur caractérisation en temps réel est également nécessaire du fait de la très grande dépendance de leur durée de vie aux conditions météorologiques. En caractérisant les tourbillons de sillage et leur environnement aérologique, il est possible d'assurer la sécurité près des aéroports tout en repoussant les limites en fréquence des décollages et des atterrissages liées à la présence des tourbillons. Depuis plusieurs années, le lidar est l'instrument de référence pour la caractérisation des tourbillons de sillage des avions. Le lidar comme le radar est un instrument de télédétection couramment utilisé pour des mesures météorologiques de phénomènes atmosphériques tels que vent, propriétés des nuages, aérosols.... La mesure du champ de vent s'appuie sur l'effet Doppler : les particules (aérosols) présentes sur le trajet du faisceau laser émis, rétrodiffusent la lumière laser avec un décalage en fréquence proportionnel à la projection de la vitesse sur l'axe laser. Le lidar hétérodyne permet de mesurer de façon absolue ce décalage en fréquence. Une carte lidar pour les tourbillons de sillage fournit typiquement un maillage de l'espace auquel sont associés des spectres de vitesse.

Il s'agit ici de développer de nouvelles méthodes robustes de traitement du signal lidar pour la détection et la caractérisation des tourbillons et de leur environnement aérologique général (cartographie du champ de vent, évaluation du degré de turbulence de ce champ de vent) dans le contexte de la sécurité aéroportuaire. Les méthodes développées permettent de traiter des grandes masses de données de façon à en extraire des informations pertinentes et fiables qui pourront par la suite être utilisées dans un contexte d'aide à la décision vis-à-vis de la sécurité aéroportuaire.

Simulation d'un champ de vitesses radiales mesuré par le lidar, contenant une paire de tourbillons de sillage, et illustration de la réduction de donnée à traiter (98 %) en sortie de la première étape de traitement qui donne le centre des deux tourbillons et les zones d'intérêt pour le calcul des circulations



Etudier les propriétés polarimétriques de la lumière cohérente diffusée par les matériaux et les tissus biologiques pour les caractériser

Distinction

Prix de thèse
de la fondation
ISAE-SUPAERO
(2017)

Jan DUPONT

Thèse soutenue le 03 février 2017

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

Titre de la thèse

Imagerie polarimétrique de speckle statique pour l'étude de matériaux, et dynamique pour la détection de micro-vascularisation tumorale

Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Directeurs de thèse : Xavier Orlik - ONERA
Muriel Golzio - IPBS

Financement

Région Occitanie & ONERA

Défi scientifique

Photonique et
systèmes optroniques

www.onera.fr/pss



Université
de Toulouse

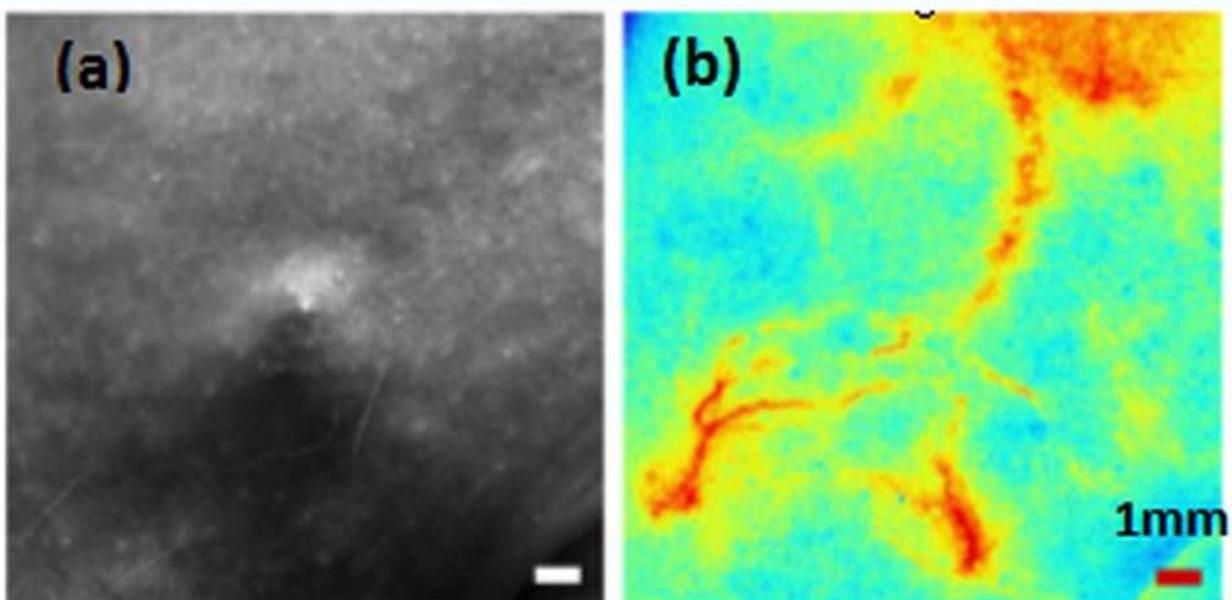


Contact : [Xavier.Orlik @ onera.fr](mailto:Xavier.Orlik@onera.fr)

Résumé

Lors de la diffusion d'une onde électromagnétique sur une surface de rugosité aléatoire ou dans un volume, un champ de speckle, dont les caractéristiques dépendent du diffuseur considéré, se forme. Les diffusions au sein des matériaux impactent l'état de polarisation d'une lumière incidente. Ainsi, la polarisation est un paramètre sensible pour la caractérisation et l'étude de matériaux.

Une technique de polarimétrie résolue spatialement, permettant une mesure de précision en champs de speckle, est proposée. Cette technique est utilisée pour étudier l'impact de différents paramètres d'imagerie sur la mesure polarimétrique, notamment les phénomènes de dépolarisation des champs dus au mode d'observation. Un modèle de simulation de champs de speckle polarisés, validé par comparaison avec l'expérimentation pour différents régimes de diffusions, est développé. Par ailleurs, les propriétés dynamiques de l'échantillon peuvent être mesurées par une analyse de contraste de speckle qu'il diffuse. Un dispositif d'imagerie de micro-vascularisation par mesure de contraste de speckle dynamique polarisé est optimisé, puis appliqué à l'étude in-vivo de l'angiogenèse tumorale du mélanome murin, ainsi que l'évolution de la vascularisation après traitement des tumeurs par électrochimiothérapie. Le potentiel de la technique pour la détection et l'étude du mélanome murin, sans contact ni marqueur, est démontré, avec comme perspective la détection et l'étude du mélanome humain, dont l'efficacité reste à être caractérisée pour une utilisation en imagerie biomédicale.



Mélanome débutant (a) observé en lumière blanche et (b) observé en contraste de speckle dynamique polarisé : la microvascularisation tumorale apparaît

Développer des composants optiques de forte puissance pour augmenter les performances des LIDAR anémométriques

Florian PRÉVOST

Thèse soutenue le 28 février 2017

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

Titre de la thèse

Combinaison cohérente dans une fibre multicoeurs pour des applications LIDAR

Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrant : Laurent Lombard - ONERA

Directeur de thèse : Marc Hanna - IOGS

Financement

Agence Nationale de la Recherche (ANR) & ONERA

Défi scientifique

Photonique et systèmes optroniques

www.onera.fr/pss

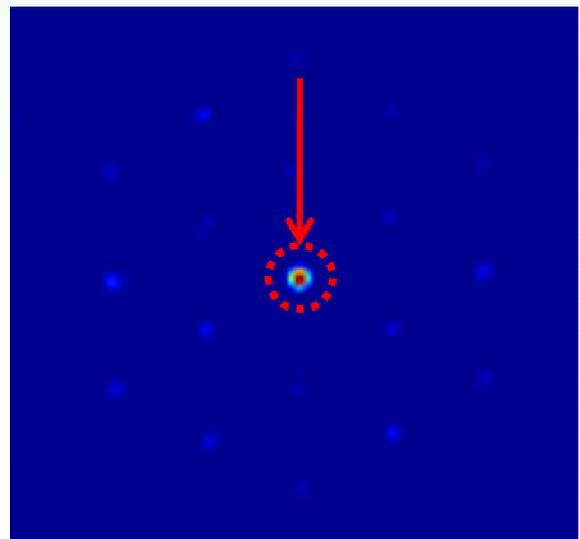
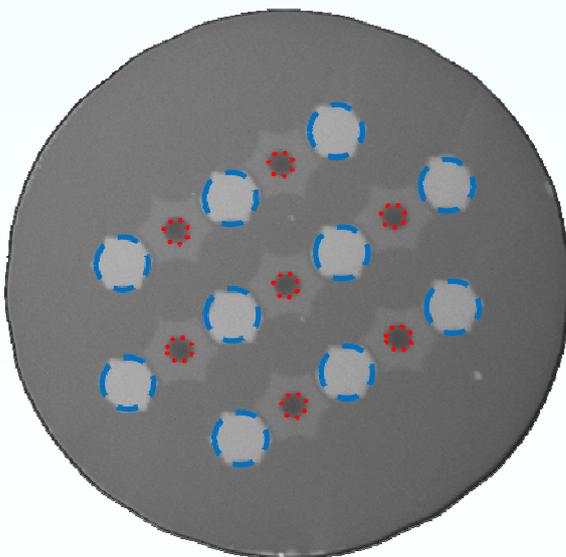


Contact : [Laurent.Lombard @ onera.fr](mailto:Laurent.Lombard@onera.fr)

Résumé

Les Lidars cohérents permettent de mesurer la vitesse du vent à grande distance, en se basant sur le décalage en fréquence Doppler induit par la réflexion des aérosols. Le Lidar vent est composé d'un système MOPFA (Master Oscillator Power Fiber Amplifier), contenant un oscillateur continu, un modulateur d'intensité, et un amplificateur fibré.

L'objectif principal de cette thèse est la réalisation d'un MOPFA pulsé de forte puissance crête à sécurité oculaire, en utilisant la combinaison cohérente dans une fibre multi-cœurs dopée erbium comme dernier étage d'amplification. L'impulsion mono-fréquence dans les fibres est limitée par les effets non-linéaires dus au confinement du faisceau dans le cœur. Les fibres multi-cœurs peuvent être vues comme des fibres à larges aires modales. L'impulsion à amplifier est divisée et injectée dans tous les cœurs de la fibre amplificatrice à l'aide d'un modulateur spatial de lumière (SLM). A la sortie, les impulsions amplifiées sont recombinaées par un élément optique de diffraction (EOD). La combinaison cohérente en sortie requiert un contrôle indépendant des phases à l'injection qui est asservi soit par un algorithme basé sur la puissance de l'ordre zéro de l'EOD, soit par la mesure du déphasage entre les voies via un système de franges d'interférences. La puissance crête après combinaison est alors la somme des puissances crêtes atteintes dans chacun des cœurs.



A gauche : Fibre multicoeur fabriquée par le Phlam (Lille) ; Les 7 cœurs dopés Erbium sont entourés en rouge et les barreaux de Bore qui garantissent une propagation multimode sont repérés en bleu. A droite : Faisceau après combinaison des 7 cœurs

Développer de nouveaux moyens de mesure de concentration de gaz à distance pour des applications industrielles et environnementales

Distinction

Prix de la meilleure présentation par affiche par un étudiant.
Journées Nationales d'Optique Guidée (2014)

Philippe BENOIT

Thèse soutenue le 12 mai 2017

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

Titre de la thèse

Conception et réalisation d'un amplificateur Raman fibré monofréquence à 1645 nm pour la mesure du méthane par LIDAR

Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrant : Guillaume Canat - Keopsys

Directeur de thèse : Arnaud Mussot - PHLAM

Financement

TOTAL & ONERA

Défi scientifique

Photonique et systèmes optroniques

www.onera.fr/pss



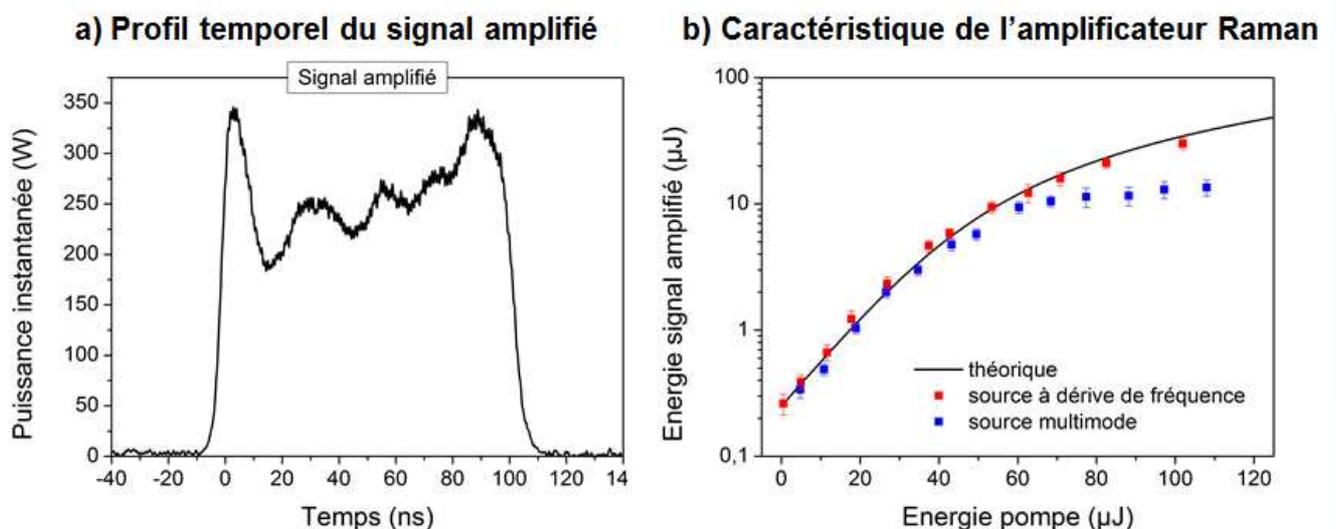
Contact : [Nicolas.Cezard @ onera.fr](mailto:Nicolas.Cezard@onera.fr)

Résumé

L'objectif de cette thèse est de concevoir et réaliser un amplificateur Raman fibré impulsionnel monofréquence à 1645 nm. Une telle source permettrait le développement futur d'un système LIDAR pour la caractérisation de panaches industriels de méthane. Cette application nécessite l'émission d'impulsions d'une durée de l'ordre de 100 ns et de plusieurs dizaines de μJ à haute cadence de répétition (10-100 kHz).

Dans la fibre non linéaire utilisée pour l'amplification Raman, deux phénomènes principaux s'opposent à nos objectifs. D'une part, la diffusion Brillouin stimulée limite à la fois la puissance de la pompe et du signal amplifié. D'autre part, nous avons montré que l'amplification Raman s'accompagne d'un élargissement spectral non linéaire indésirable du signal. Pour mieux appréhender ces phénomènes, des expressions originales ont été établies pour la réflectivité Brillouin du signal et pour la phase non linéaire. Cette dernière a notamment permis de minimiser l'élargissement spectral du signal grâce à un choix pertinent de la forme des impulsions.

Nous avons ensuite mis en œuvre plusieurs techniques d'augmentation du seuil Brillouin. Pour le signal, la solution retenue consiste à appliquer un profil longitudinal de contrainte mécanique à la fibre. Pour la pompe, nous avons procédé par élargissement spectral et comparé les résultats produits par une source multimode et par une source à dérive de fréquence. C'est cette deuxième solution que nous avons retenue dans la configuration finale. Le signal amplifié à 1645 nm atteint 27 μJ à 20 kHz pour une durée d'impulsion de 100 ns et une largeur spectrale de 10 MHz, répondant ainsi aux attentes pour le LIDAR envisagé.



a) Profil temporel de la puissance du signal amplifié à 1645 nm en sortie de l'amplificateur Raman.
b) Mesures de l'énergie du signal amplifié à 1645 nm en fonction de l'énergie de pompe pour une source de pompe à dérive de fréquence (en rouge) et une source de pompe multimode (en bleu).
La courbe théorique est donnée en noir.

Etudier et simuler les performances de nouvelles générations de capteur pour vérifier leur capacité à améliorer les systèmes de mesures aéroportés

Antoine COYAC

Thèse soutenue le 18 décembre 2017

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

Titre de la thèse

Apport de l'imagerie active 3D à plan focal, embarquable sur drone, pour l'amélioration de la cartographie haute résolution de terrain

Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrant : Laurent Hespel - ONERA

Directeur de thèse : Xavier Briottet - ONERA

Financement

Délégation Générale de l'Armement (DGA) & ONERA

Défi scientifique

Photonique et
systèmes optroniques

www.onera.fr/pss



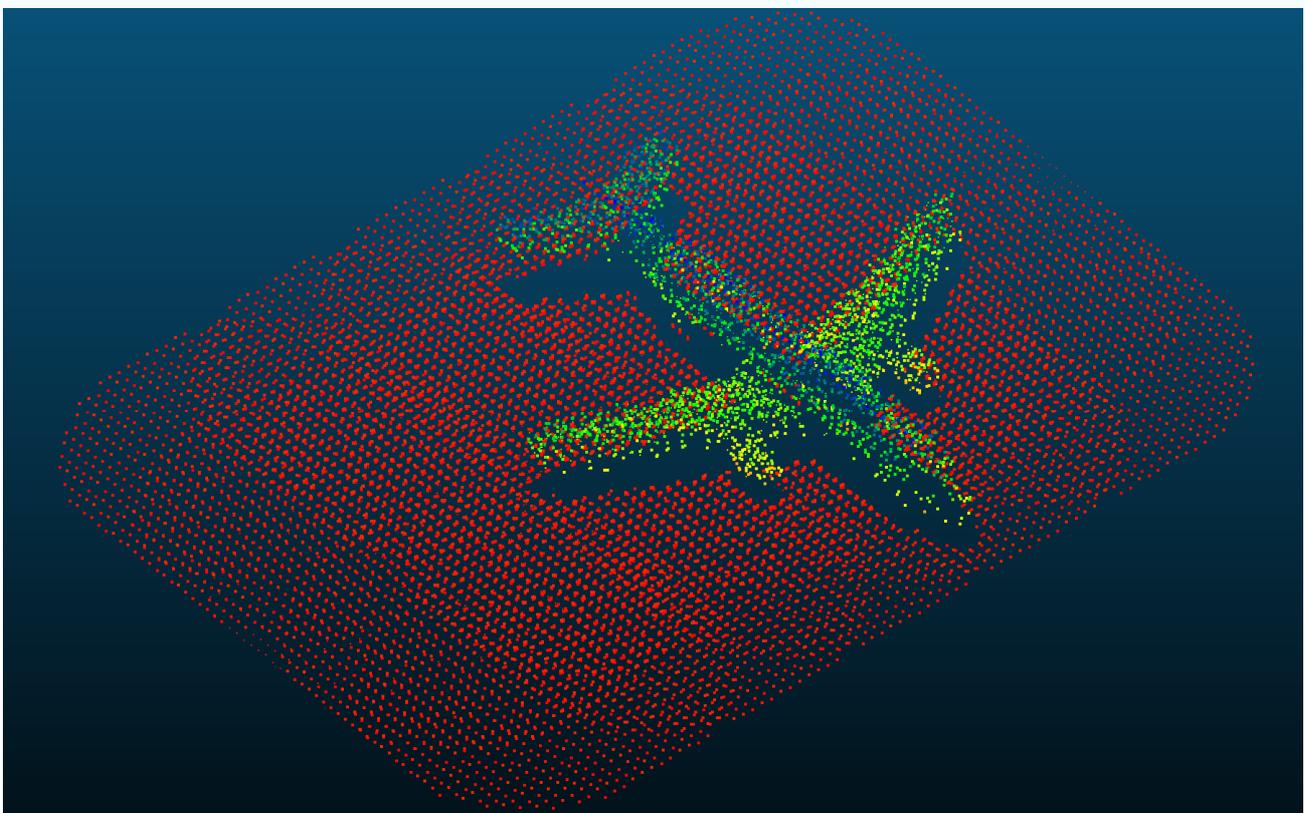
Université
de Toulouse



Contact : Laurent.Hespel @ onera.fr

Résumé

L'imagerie laser 3D est une technique performante utilisée notamment pour cartographier l'environnement dans lequel évolue un aéronef, en mesurant la distance le séparant d'un objet, en plus des coordonnées (x,y). Le système est capable d'acquérir des mesures par tout temps (nuit, pluie, brouillard). Une nouvelle génération de capteurs, multi-pixels et ultra-sensibles, permet alors de répondre aux besoins identifiés pour cartographier avec précision une zone de grande superficie : haute résolution spatiale, longue portée avec précision centimétrique et rapidité d'acquisition. Il s'agit des plans focaux 3D Geiger. Avant leur utilisation en aéroporté, il était nécessaire de se familiariser avec leur fonctionnement, basé sur les probabilités de détection. Un simulateur reproduisant l'ensemble de la chaîne d'acquisition a été développé, puis validé sur des cas réels, au sol et en conditions statiques. Il a ensuite permis de démontrer l'intérêt des plans focaux Geiger pour la cartographie aéroportée à longue distance.



Simulation d'une image 3D d'un avion civil observé à 5km d'altitude par un capteur 3D haute résolution à comptage de photon

Etudier de nouveaux concepts pour corriger la distorsion des images obtenues avec les grands télescopes pour améliorer leurs performances

Olivier FAUVARQUE

Thèse soutenue le 11 septembre 2017

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

Titre de la thèse

Optimisation des analyseurs de front d'onde à filtrage optique de Fourier

Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Directeurs de thèse : Benoit Neichel - LAM

Thierry Fusco - ONERA

Financement

Ecole Normale Supérieure (ENS)

Défi scientifique

Photonique et systèmes optroniques

www.onera.fr/pss

école —————
normale —————
supérieure —————
paris – saclay ———

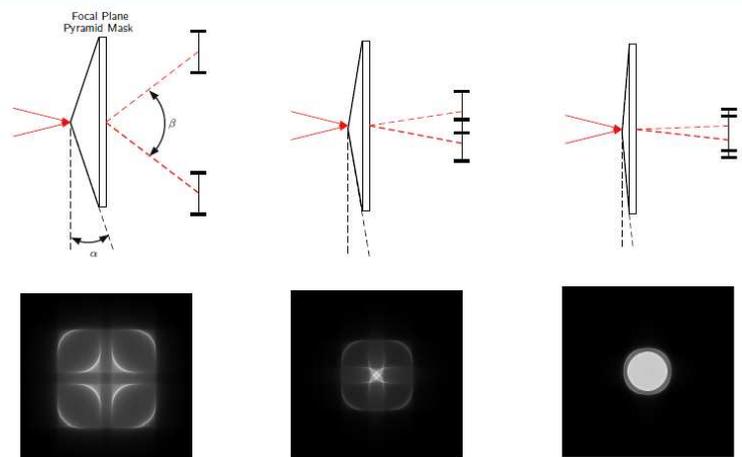
Aix*Marseille
université



Contact : Thierry.Fusco @ onera.fr

Résumé

L'imagerie à très haute performance dans le visible est le futur grand challenge de l'instrumentation au sol, que cela soit dans le domaine de l'astronomie (observation des toutes premières galaxies de l'univers, détection direct de planètes extrasolaires) ou de la défense (imagerie de satellite en orbite basse). L'Optique Adaptative [OA] est la technique centrale permettant d'atteindre les résolutions recherchées (de 10 à 100 nano-radians). L'analyseur de surface d'onde [ASO] est au cœur de tout système d'OA. Il permet une mesure de phase en transformant grâce à un système optique les fluctuations de cette dernière en variations d'intensité détectables par un détecteur matriciel. Jusqu'à très récemment, la grande majorité des systèmes d'OA utilisaient des ASO de type Shack-Hartmann. Ces derniers bénéficient de plusieurs décennies de service qui les ont rendus efficaces et robustes à un grand nombre de conditions d'utilisation. Des concepts alternatifs basés sur le filtrage optique de Fourier émergent depuis plusieurs années avec un très fort potentiel. En dépit de leurs promesses théoriques et des premiers résultats expérimentaux, ces senseurs manquent encore de maturité et le retour sur expérience des systèmes opérationnels reste très faible. Les travaux effectués durant cette thèse ont permis de bâtir un cadre mathématique exhaustif et rigoureux pour décrire tout analyseur à filtrage de Fourier et proposer des variations autour de senseurs existants. En se basant sur ce formalisme unifiant toute une classe de senseurs, il a été possible de développer des critères de performance communs inspirés des besoins de l'optique adaptative en vue d'une comparaison rigoureuse de différents senseurs proposés dans la littérature. Une conséquence logique de l'effort théorique précédent a été naturellement d'optimiser des ASO basés sur des concepts existant (tel que la pyramide) et proposer de nouveaux designs (optiques et numériques) pour améliorer encore les performances ultimes des analyseurs de front d'onde. Ainsi, le concept de pyramide plate a été proposé, décrit exhaustivement du point de vue théorique et validé en simulation. Les conclusions et perspectives de la thèse sont nombreuses et potentiellement cruciales pour le développement des futures génération d'optique adaptative pour l'astronomie et la défense. On retiendra principalement le fait que l'ASO Pyramide, en plus d'être extrêmement performant dans sa version historique s'enrichit considérablement lorsqu'on le considère comme un design flexible. Ces travaux rendent en effet envisageable la possibilité d'adapter l'ASO aux conditions d'analyse de front d'onde au sein même de la boucle d'OA.



Concept de pyramide plate: l'angle de la pyramide est réduit entre le concept classique de pyramide (gauche) et la pyramide plate (droite). Ceci rend possible une recombinaison optique des photons et permet une optimisation du signal par pixel du détecteur.

Développer des techniques d'imagerie utilisées en astronomie pour les appliquer au domaine biomédical

Joel TEIXEIRA

Thèse soutenue le 26 septembre 2017

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

Titre de la thèse

Développement d'une nouvelle approche de mesure de front d'onde sans analyseur pour la microscopie à deux photons

Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrant : Serge Meimon - ONERA

Directeurs de thèse : Jean-Marc Conan & Laurent Mugnier - ONERA

Financement

Fondation pour la Recherche Médicale (FRM) & ONERA

Défi scientifique

Photonique et systèmes optroniques

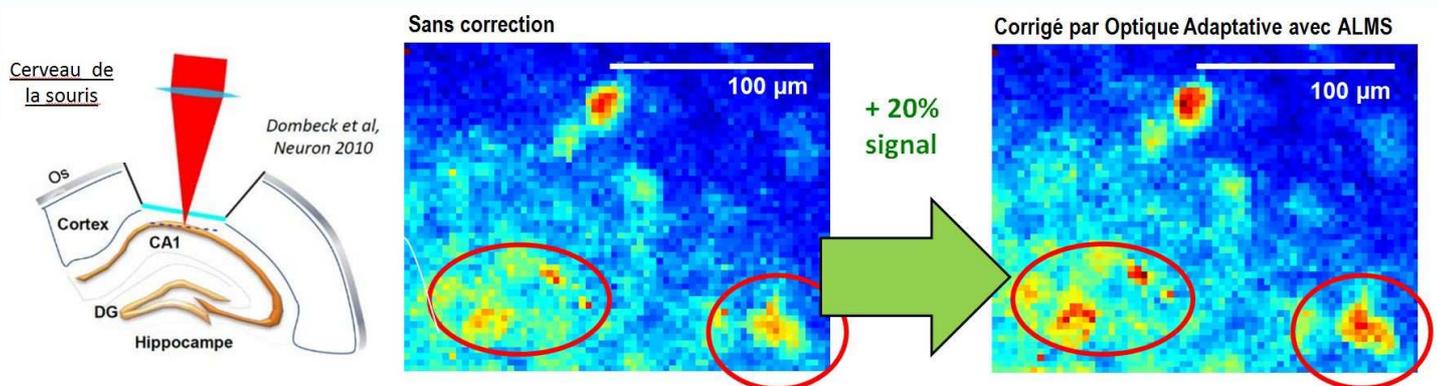
www.onera.fr/pss



Contact : Jean-Marc.Conan @ onera.fr

Résumé

L'imagerie en profondeur *in vivo* à deux photons est sévèrement limitée par les aberrations optiques. L'optique adaptative est maintenant une technique largement utilisée pour résoudre ce problème. Elle repose sur une des nombreuses techniques possibles de mesure de front d'onde. L'approche modale sans analyseur est devenue une technique standard fondée sur la maximisation d'une métrique de qualité d'image telle que l'intensité moyenne. Cependant, cette technique est influencée par la structure de l'échantillon, qui peut induire un biais fort dans l'estimation du front d'onde. Cet effet est connu sous le nom de dépendance en l'échantillon. Ce travail de doctorat vise à développer une approche modale sans analyseur améliorée qui n'est pas affectée par la dépendance en l'échantillon. Elle s'inscrit dans un projet d'imagerie neuronale *in vivo* de l'hippocampe de la souris, projet qui rassemble l'INMED, l'Institut Fresnel et l'ONERA. L'impact des aberrations et de la structure de l'échantillon sur l'intensité moyenne de l'image est d'abord étudié. Une nouvelle expression analytique de l'intensité moyenne de l'image qui explicite l'interaction entre la Fonction d'Étalement de Point 3D et la distribution spatiale de l'échantillon est donnée. À partir de simulations numériques, la sensibilité de la métrique aux aberrations pour différents types d'échantillons est évaluée. Puis l'approche *Standard Modal Sensorless* (SMS) est étudiée. Notamment, le problème de la dépendance en l'échantillon induit par des structures très fluorescentes situées hors du plan de focalisation est caractérisé. Ensuite, il est montré que l'amélioration de l'approche standard dite *displacement-free* n'élimine pas complètement cette limitation. Cette analyse aboutit au développement de notre approche nommée *Axially-Locked Modal Sensorless* (ALMS). Cette nouvelle approche résout la dépendance en l'échantillon par un réglage automatique et contrôlé de la focalisation afin de verrouiller celle-ci sur des motifs brillants de l'échantillon. En outre, l'approche ALMS se fonde également sur une métrique de qualité d'image spécialement conçue pour ce verrouillage. La performance de cette approche est numériquement comparée aux approches SMS. Enfin, l'approche ALMS est appliquée et validée, *ex vivo* et *in vivo*, dans le contexte de l'imagerie neuronale de l'hippocampe.



Imagerie à 2 photons assistée par optique adaptative à 175µm de profondeur dans la région dite « CA1 » de l'hippocampe sur une souris vivante : l'approche Axially-Locked Modal Sensorless (ALMS) de mesure et correction des aberrations apporte un gain de 20% en signal ce qui permet de détecter deux fois plus d'événements dans l'activité neuronale.

Développer des techniques pour repousser les limites actuelles des télescopes monolithiques

Sébastien VIEVARD

Thèse soutenue le 28 septembre 2017

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

Titre de la thèse

Développement et validation d'un analyseur de surface d'onde en plan focal pour un instrument multi-pupille

Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrants : Frédéric Cassaing & Laurent Mugnier - ONERA

Directeur de thèse : Nicolas Treps - LKB

Financement

Thales Alenia Space (TAS) & ONERA

Défi scientifique

Photonique et systèmes optroniques

www.onera.fr/pss



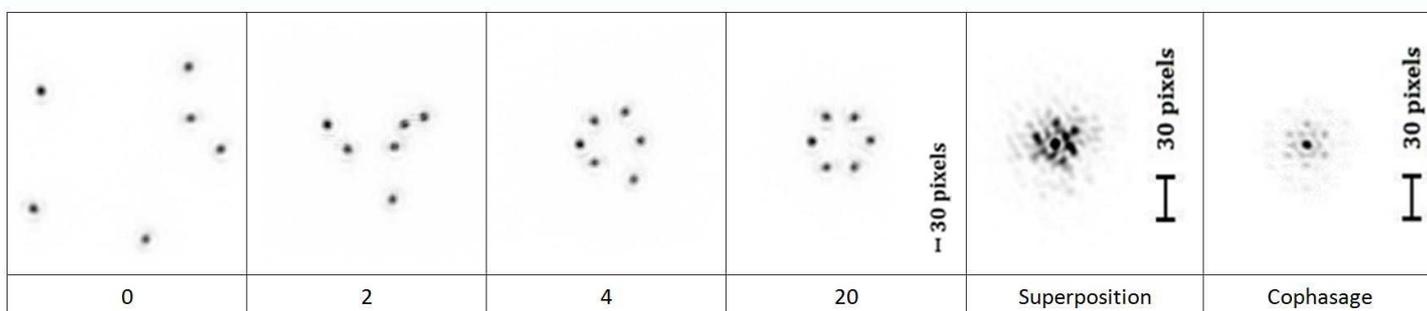
Contact : Frederic.Cassaing @ onera.fr

Résumé

L'instrumentation multi-pupille permet de repousser les limitations actuelles des diamètres des télescopes monolithiques. L'alignement des sous-pupilles est donc une problématique incontournable pour les futurs projets de télescopes au sol comme dans l'espace. Un Analyseur de Surface d'Onde (ASO) est alors nécessaire pour mesurer les aberrations spécifiques au cas multi-pupille que sont le piston différentiel (différence de marche entre les sous-pupilles), le tip et le tilt (basculements différentiels entre les sous-pupilles).

Nous nous attachons à réaliser des ASOs non supervisés et simples d'implantation, permettant l'alignement total d'un instrument multi-pupille. L'algorithme ELASTIC repose sur l'analyse de la corrélation entre deux images focales prises successivement, différant par une perturbation maîtrisée et appliquée directement sur les sous-pupilles. ELASTIC permet d'une part d'estimer les grandes erreurs de tip/tilt, pour effectuer un alignement géométrique et d'autre part de stabiliser le tip/tilt pendant la minimisation des grandes erreurs de piston, pour l'alignement interférométrique. Enfin, un second algorithme appelé LAPD permet, au moyen de deux images prises simultanément dans un plan focal et dans un plan légèrement défocalisé, d'estimer les petites erreurs de piston/tip/tilt pour le cophasage fin.

Ces différents algorithmes sont caractérisés au moyen de simulations numériques, pour différents types de télescopes multi-pupilles. Nous démontrons expérimentalement les briques de la chaîne d'alignement sur un instrument à 6 sous-pupilles. Ces ASOs permettent de simplifier le dimensionnement des futurs télescopes.



Démonstration expérimentale de l'alignement d'un miroir à 6 segments sur le banc BRISE de l'ONERA. Seule l'image focale est affichée. À partir de la perturbation initiale (trame 0), en vingt itérations, ELASTIC identifie et regroupe les taches images à une position connue où une commande en boucle ouverte les superpose. Enfin, LAPD assure l'alignement fin.

Elaborer de nouvelles lois de commande d'optique adaptative pour la prochaine génération de télescopes

Rémy JUVENAL

Thèse soutenue le 23 octobre 2017

Ecole doctorale : ED 575 (OEBE) - Electrical, Optical, Bio-physics and Engineering - Institut d'Optique Graduate School

Titre de la thèse

Modélisation et commande pour les optiques adaptatives des VLT et ELT : de l'analyse de performance à la validation ciel

Encadrement

Département Optique et Technique Associées (DOTA)

Encadrants : Jean-Marc Conan - ONERA

Henri-François Raynaud - CNRS - IOGS

Directrice de thèse : Caroline Kulcsár - CNRS - IOGS

Financement

Centre National de la Recherche scientifique (CNRS) & ONERA

Défi scientifique

Photonique et systèmes
optroniques

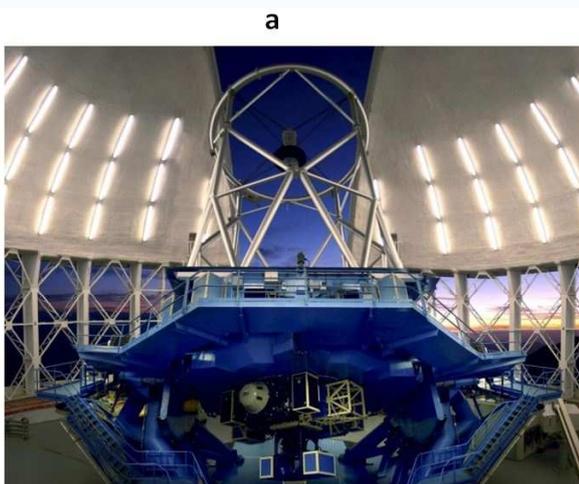
www.onera.fr/pss



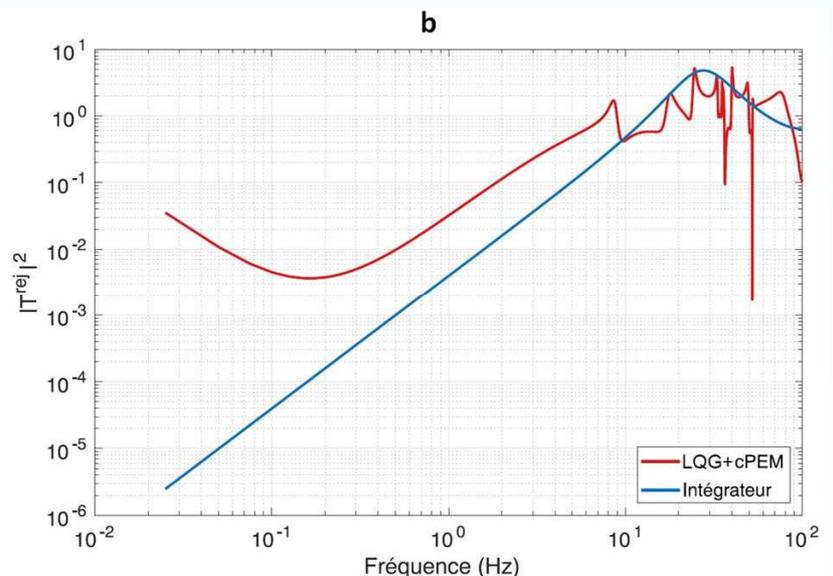
Contact : Jean-Marc.Conan @ onera.fr

Résumé

L'optique adaptative a révolutionné l'imagerie astronomique en permettant de corriger en temps réel les déformations du front d'onde induites par l'atmosphère, et d'atteindre la limite de diffraction des télescopes. Plus récemment, différentes modalités d'optique adaptative grand-champ ont permis de repousser les limites d'utilisation de ces instruments, compensant l'anisoplanétisme de l'atmosphère, et la faible couverture du ciel. L'asservissement de ces systèmes est l'un des points clés pour améliorer encore les performances de ces systèmes et ainsi converger vers les programmes scientifiques des futures ELT. Le premier objectif de ces travaux de thèse est de définir un outil général d'analyse de performance, permettant de comparer, sous la forme de budgets d'erreur, différents régulateurs linéaires. Ceci permet d'améliorer les instruments actuels, et de faire des choix dans la conception des futurs instruments des ELT. Pour cela, un formalisme d'analyse fréquentielle est développé dans le cadre de l'optique adaptative classique, et étendu au cas grand-champ. On montre que cet outil permet aussi bien de décomposer les performances calculées en simulation qu'à partir de données télémétriques enregistrées sur le ciel. De nouvelles stratégies de commande, basées sur de nouveaux modèles de perturbation, sont proposées, et leur apport en performance discuté au regard de leur budget d'erreur. Ces résultats ont servi à la caractérisation d'une commande LQG tip-tilt avec filtrage de vibration qui doit être intégrée à l'instrument d'optique adaptative multi-conjuguée GEMS, au Chili.



Télescope GEMINI-Sud
Crédit GEMINI



Optimisation de la commande de tip-tilt en présence de vibrations pour l'optique adaptative GeMS du télescope GEMINI-Sud (Chili) [a] : exemple de fonction de transfert de réjection [b] pour l'intégrateur et pour notre commande optimale associée à une nouvelle approche d'identification de vibrations (cPEM). L'approche optimale permet de corriger la turbulence tout en filtrant efficacement les vibrations réparties ici entre 10 et 100 Hz.

Développer de nouvelles méthodes de correction de la distorsion des images obtenues avec les grands télescopes pour améliorer leur résolution

Anaïs BERNARD

Thèse soutenue le 27 octobre 2017

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

Titre de la thèse

Développement de nouveaux outils de traitement et d'analyse pour l'Optique Adaptative Grand Champ

Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Directeurs de thèse : Benoit Neichel - LAM

Thierry Fusco - ONERA

Financement

Agence Nationale de la Recherche (ANR) & ONERA

Défi scientifique

Photonique et
système optroniques

www.onera.fr/pss

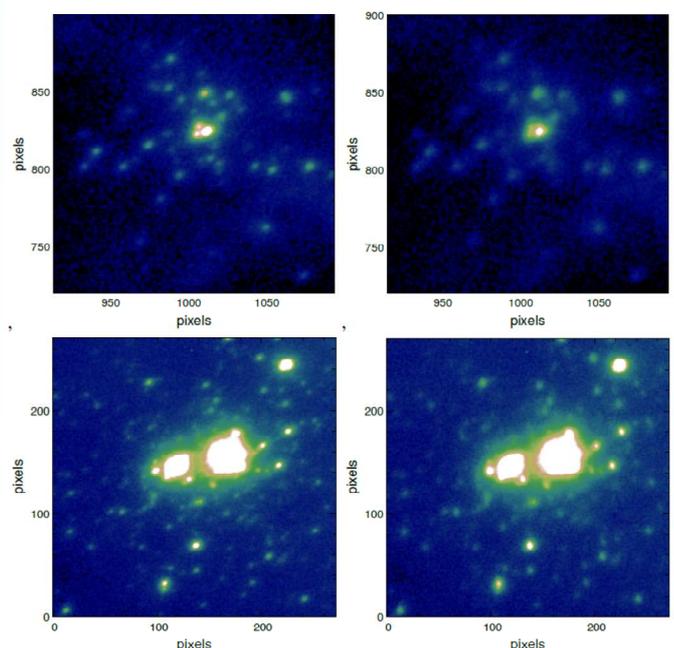


Contact : Thierry.Fusco @ onera.fr

Résumé

Les grands télescopes sont désormais indissociables de leurs instruments d'Optique Adaptative (OA). L'OA permet d'analyser les effets de la turbulence sur le front d'onde et de les compenser en temps réel à l'aide d'un ou plusieurs miroirs déformables dans le but de retrouver la limite théorique de résolution d'un télescope optique. En complément, la plupart des télescopes de la génération 8-10m sont maintenant équipés de systèmes d'étoiles lasers qui permettent d'augmenter la proportion du ciel pouvant bénéficier d'une correction par OA. Dernièrement, le système d'OA Grand Champ GeMS (Gemini Multi-Conjugate Adaptive Optics) a été installé sur le télescope de 8m de Gemini Sud. Au cours des premiers mois de cette thèse, GeMS a été utilisé pour étudier la formation des étoiles massives dans un jeune amas d'étoiles, domaine dans lequel les performances de l'OA Grand Champ dans le proche infrarouge promettent de grandes avancées. Grâce à ces observations, nous avons détecté un grand nombre d'objets stellaires très jeunes ainsi que plusieurs étoiles massives inaccessibles à des télescopes dépourvus d'OA et nous avons proposé un processus de formation séquentiel des étoiles au sein de cette région. Au-delà des résultats astrophysiques nouveaux, le travail réalisé sur ces observations a mis en évidence les paramètres principaux limitant l'analyse des données issues d'OA Grand Champ. Malgré les excellentes performances de ces systèmes, la correction apportée aux images reste partielle et des résidus de correction limitent leur qualité. Pour extraire les meilleurs résultats scientifiques des images issues de l'OA Grand Champ, il est essentiel d'optimiser les outils de réduction et d'analyse de données. La distorsion variable observée dans les données d'OA Grand Champ étant identifiée comme facteur limitant des analyses photométriques et astrométriques, cette thèse présente une nouvelle méthode optimale de correction de la distorsion basée sur la résolution d'un problème inverse. Le formalisme complet est détaillé, ainsi que l'ensemble des étapes qui ont permis la validation sur des données de simulation et sur des données réelles. Alors que cette dernière application concerne spécifiquement les données issues de l'instrument GeMS, la méthode proposée reste pertinente pour corriger la distorsion sur toute image à haute résolution angulaire, et en particulier sur les données issues des futurs ELTs.

Zones de l'image finale obtenue en combinant des images corrigées de la distorsion statique (droite) et corrigées de la distorsion par la méthode optimale proposées (gauche). Les étoiles brillantes sont saturées de façon montrer le gain de la méthode optimale sur les étoiles plus faibles



Adapter les techniques d'optique adaptative développées pour l'astronomie aux télécommunications par satellites pour améliorer le débit des transmissions

Kassem SAAB

Thèse soutenue le 29 novembre 2017

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

Titre de la thèse

Optique adaptative pour les communications optiques en espace libre

Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrant : Vincent Michau - ONERA

Directeur de thèse : Laurent Mugnier - ONERA

Financement

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) & ONERA

Défi scientifique

Photonique et systèmes optroniques

www.onera.fr/pss



Contact : Vincent.Michau @ onera.fr

Résumé

Les télécommunications optiques en espace libre permettent d'envisager des débits de plusieurs dizaines de gigabits, voire le téra-bit par seconde. Les techniques développées en optique fibrée permettent de traiter de tels débits. Pour accéder à cette technologie, il est nécessaire d'injecter le faisceau propagé en espace libre, dans une fibre monomode. La turbulence atmosphérique, en dégradant la qualité du faisceau optique, induit des pertes de flux rédhibitoires à l'injection. L'optique adaptative permet de limiter ces pertes en remettant en forme le faisceau avant l'injection.

Nous nous sommes placés dans le cas d'un lien entre un satellite et une station de réception au sol. A haute élévation, les perturbations d'amplitude sont modérées, et l'optique adaptative classique est suffisante. La première partie de la thèse a porté sur le couplage entre une optique adaptative classique et une fibre monomode : un processus d'optimisation de la forme du miroir déformable permettant de corriger les aberrations différentielles entre la voie de mesure de la surface d'onde et la voie d'injection dans la fibre a été proposé et mis en œuvre expérimentalement. A basse élévation, la portion d'atmosphère traversée par le faisceau est grande. Les fluctuations du signal dues à la très forte scintillation rendent impossibles la mesure et la correction de la phase par optique adaptative classique. Il faut trouver une autre solution car le lien satellite-sol considéré doit être opérationnel sur une durée maximale. La seconde partie de la thèse se place dans ce cadre. Elle a été consacrée à l'étude de l'implantation expérimentale d'une approche fondée sur l'interférométrie Mach-Zehnder en optique intégrée pour la correction de la phase et de l'amplitude du signal.

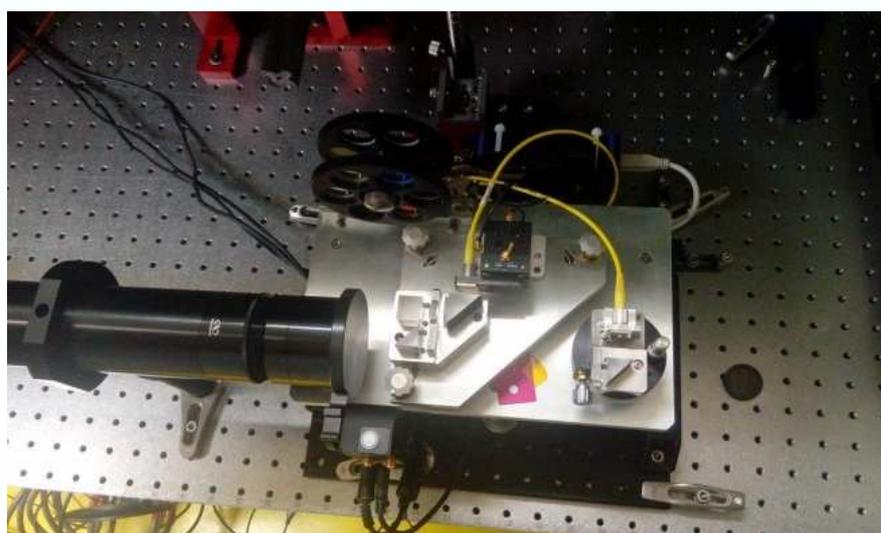


Image du module d'injection installé au foyer du banc d'optique adaptative

Développer des modèles pour optimiser le débit de transmission de la prochaine génération de télécommunications par satellites géostationnaires

Adrien-Richard CAMBOULIVES

Thèse soutenue le 13 décembre 2017

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

Titre de la thèse

Compensation des effets de la turbulence atmosphérique sur un lien optique montant sol-satellite géostationnaire : impact sur l'architecture du terminal sol.

Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrants : Marie-Thérèse Velluet - ONERA

Laurent Saint-Antonin - IRT Saint-Exupéry

Directeur de thèse : Vincent Michau - ONERA

Financement

Institut de Recherche Technologique Antoine de Saint-Exupéry

Défi scientifique

Photonique et systèmes optroniques

www.onera.fr/pss



université
PARIS-SACLAY



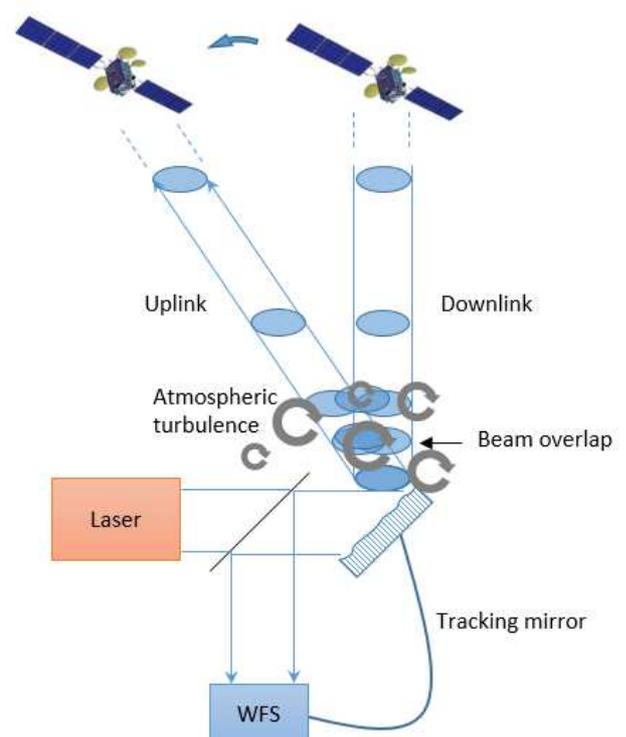
Contact : Marie-Therese.Velluet @ onera.fr

Résumé

Les longueurs d'onde optiques sont considérées avec un intérêt croissant pour répondre aux besoins de liens très haut débit de la prochaine génération de satellites géostationnaires de télécommunication. Compte-tenu de la puissance nécessaire pour transmettre des débits de l'ordre du térabits par seconde, la divergence du faisceau doit être minimisée, rendant ainsi critique le pointage du faisceau. Au cours de sa propagation entre la station sol et un satellite géostationnaire, le faisceau optique est dévié, éventuellement déformé, par la turbulence atmosphérique. Ceci induit de fortes fluctuations du signal détecté au niveau du satellite, réduisant ainsi le débit de données.

L'objectif de la thèse a porté sur la modélisation des performances d'un lien optique entre le sol et un satellite géostationnaire. On se place dans le cas où un simple miroir de basculement est suffisant pour compenser les perturbations induites par la turbulence. En théorie, il est possible d'effectuer une correction parfaite des effets de la turbulence sur le faisceau montant en utilisant le principe de la lumière inverse. En pratique, la correction appliquée n'est pas parfaite du fait de l'angle de pointage en avant induit par le déplacement du satellite. En effet, les turbulences vues par les deux faisceaux sont légèrement différentes. La performance de la liaison a été évaluée en comparant l'intensité minimale détectable avec l'intensité pour laquelle la fonction de répartition vaut 5 %, seuil au-delà duquel les codes correcteur d'erreur perdent de leur efficacité. Les modèles existants, trop lents, étant inadaptés à l'estimation de cette fonction de répartition, un modèle dédié nommé WPLOT, qui prend en compte les erreurs de pointage et leur évolution temporelle, a été développé. Ce modèle a été validé par comparaison avec le modèle de référence de l'ONERA, le code TURANDOT.

Le modèle WPLOT a été utilisé pour effectuer une étude paramétrique de performance, aboutissant au choix des principaux paramètres d'une future station sol. Parallèlement, WPLOT permet de créer des séries temporelles du flux reçu par le satellite. A ce titre, il doit être mis en œuvre pour développer et optimiser les futurs codes de correction d'erreur.



Principe de la correction de pointage avec du pointage en avant. L'analyse est faite sur le lien descendant et l'onde du faisceau est corrigée à l'émission pour compenser les défauts dans le sens montant.

Concevoir de nouvelles sources infrarouge compactes pour les détecteurs de gaz et de substances chimiques, et les caméras infrarouge

Distinctions

Best Student Paper
Award conférence SPIE
Bruxelles (2016)

Prix doctorant ONERA
(2017)

Mathilde MAKHSIYAN

Thèse soutenue le 14 septembre 2017
Ecole doctorale : ED 447 (EDX) - Polytechnique

Titre de la thèse

Nano-émetteurs thermiques multi-spectraux

Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrant : Patrick Bouchon - ONERA

Directeur de thèse : Riad Haïdar - ONERA

Financement

Direction Générale de l'Armement (DGA) & ONERA

Défi scientifique

Photonique et
systèmes optroniques

www.onera.fr/pss



Contact : Patrick.Bouchon @ onera.fr

Résumé

Les sources infrarouges sont indispensables à la détection locale de gaz dans de nombreux domaines, que ce soit pour l'environnement (détection de polluants et gaz à effets de serre), la détection d'activité (capteurs de CO₂) ou la défense (détection de menaces biologiques et chimiques). Elles sont également nécessaires pour le développement et les applications de caméras multi-spectrales infrarouges qui requièrent des mires de calibration et de simulation. Pour toutes ces applications, les systèmes doivent être à la fois compacts et économes en énergie ; par conséquent, il est nécessaire de disposer de sources infrarouges performantes.

Les sources thermiques, telles que les corps noirs de laboratoire ou les ampoules à incandescence, suivent la loi du rayonnement du corps noir et émettent dans toutes les directions et sur un large spectre. Le rendement pour la bande spectrale et angulaire recherchée est alors très faible et on comprend la nécessité de développer des sources capables d'émettre uniquement dans un domaine spatial et spectral limité.

L'objectif de cette thèse est de concevoir des sources thermiques infrarouges compactes et à coût modéré, à spectre accordable et à pertes réduites, pouvant être juxtaposées dans un même dispositif. Pour cela, ces travaux s'organisent autour de deux axes. Le premier concerne l'étude de nouveaux matériaux nanostructurés résonants, appelés métamatériaux ou métasurfaces selon les directions de la structuration, permettant de contrôler l'émissivité spectrale et spatiale afin de maîtriser la réponse spectrale en tout point. Cette étude repose à la fois sur des simulations numériques et sur des mesures expérimentales et démontre le potentiel de ces résonateurs pour la conception de sources thermiques accordables. Cependant, ces matériaux étant composés de métal, ils présentent des pertes par absorption dans l'infrarouge qui limitent leurs performances. Le deuxième axe de recherche est alors de gérer les pertes liées à l'utilisation de métaux grâce à une ingénierie des champs dans des métamatériaux, menant à des émissions spectralement très fines. Les résultats obtenus sur ce contrôle des pertes ouvrent de nombreuses perspectives pour tout le domaine des métamatériaux.

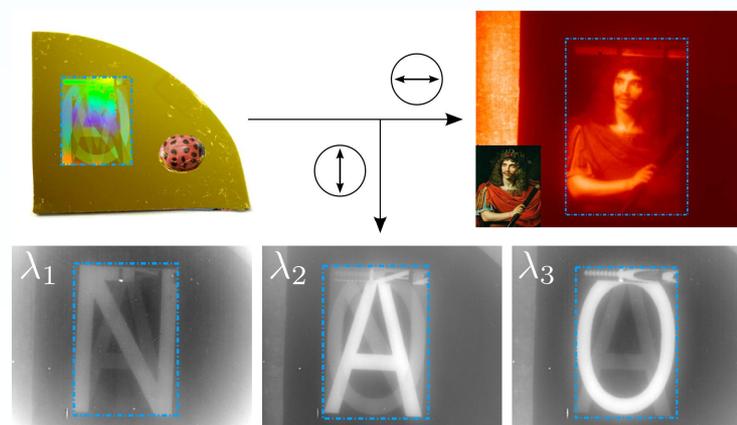


Image visible d'une surface d'or nanostructurée, et images d'émissions infrarouge dans les deux polarisations et à différentes longueurs d'onde

Développer de nouveaux composants optiques pour miniaturiser les cameras multispectrales infrarouge

Antoine BIERRET

Thèse soutenue le 13 décembre 2017

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

Titre de la thèse

Composants nanostructurés pour le filtrage spectral à l'échelle du pixel dans le domaine infrarouge

Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrants : Grégory Vincent - ONERA

Fabrice Prado - C2N

Directeur de thèse : Riad Haïdar - ONERA

Financement

Délégation Générale de l'Armement (DGA) & ONERA

Défi scientifique

Photonique et systèmes optroniques

www.onera.fr/pss



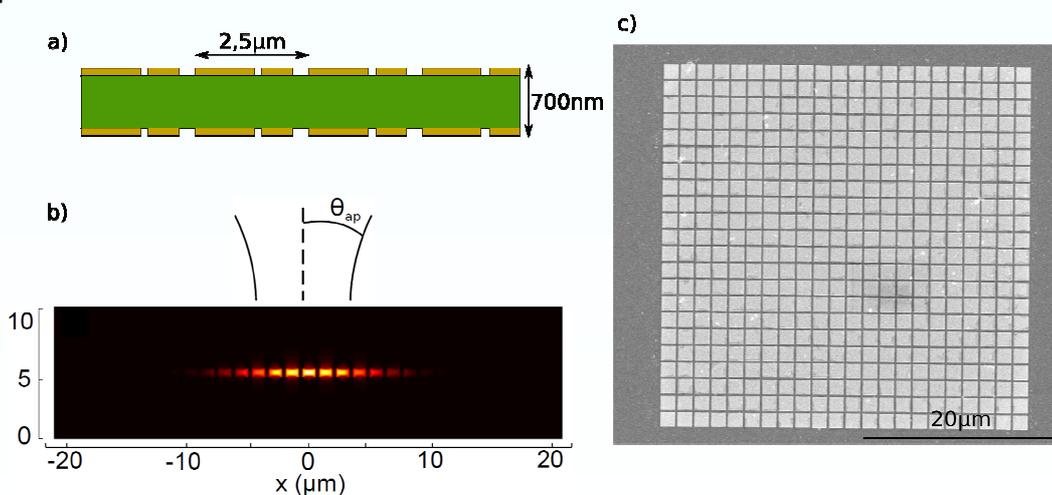
Contact : [Gregory.Vincent @ onera.fr](mailto:Gregory.Vincent@onera.fr)

Résumé

L'analyse spectrale d'une scène infrarouge permet une meilleure identification des objets la composant. Parmi les multiples méthodes existantes, ces travaux s'intéressent à l'étude de l'apport des nanotechnologies pour le filtrage spectral et plus particulièrement pour la colorisation de pixel.

Cette thèse porte sur la conception de filtres nanostructurés sur des longueurs comparables à celles d'un pixel de détection infrarouge (typiquement 15 à 30 μm de côté). Pour cela, on se concentre sur des filtres à résonance de mode guidé, constitués d'un réseau sub-longueur d'onde associé à une couche mince diélectrique. Tandis que cette structure est habituellement étudiée sur des surfaces très grandes devant la longueur d'onde d'intérêt, la thèse présente une utilisation sur des dimensions de la taille d'un pixel de détection, soit de l'ordre de la longueur d'onde. Une étude numérique du comportement spectral et angulaire de cette structure a été menée et deux possibilités pour obtenir un filtrage sur de petites dimensions ont été envisagées : d'une part l'utilisation d'une cavité résonante dans le guide d'onde à l'aide de miroirs latéraux, et d'autre part l'utilisation de réseaux métalliques. L'analyse de la réponse optique des structures à réseau métallique montre qu'il est possible d'obtenir une extension spatiale limitée à quelques longueurs d'onde du champ électromagnétique dans le guide d'onde à la résonance. Des filtres de longueur inférieure à 30 μm ont été étudiés numériquement, puis ont été fabriqués et caractérisés.

Finalement, la possibilité de réaliser des mosaïques de filtres de petite taille a été examinée. Ces travaux démontrent que les dimensions, les transmissions résonantes et les tolérances angulaires des filtres à résonance de mode guidé les rend compatibles avec une telle utilisation. Il a alors été possible de montrer un exemple d'architecture simple de caméra multispectrale infrarouge mettant en jeu une mosaïque de filtres.



a) Composant métallo-diélectrique structuré périodiquement : la période spatiale est inférieure à la longueur d'onde d'utilisation. b) Champ magnétique à l'intérieur du composant illuminé par un faisceau focalisé de $9\mu\text{m}$ de largeur à mi-hauteur. c) Image d'un composant vu du dessus, prise au microscope électronique à balayage. En clair : les plots métalliques.

Etudier et modéliser la diffusion des ondes radar par la surface de la mer pour améliorer les observations par satellites

Zaynab GUERRAOU

Thèse soutenue le 26 septembre 2017

Ecole doctorale : ED 548 - Mer et Sciences - Toulon

Titre de la thèse

Rétrodiffusion micro-onde par la surface océanique en incidence élevée : approche conjointe théorique et expérimentale

Encadrement

Département Electromagnétisme et Radar (DEMR)

Encadrant : Sébastien Angelliaume - ONERA

Directeur de thèse : Charles-Antoine Guérin - Université de Toulon

Financement

Région Provence-Alpes-Côte d'Azur & ONERA

Défi scientifique

Electromagnétisme et radar

www.onera.fr/pss



Région
Provence
Alpes
Côte d'Azur

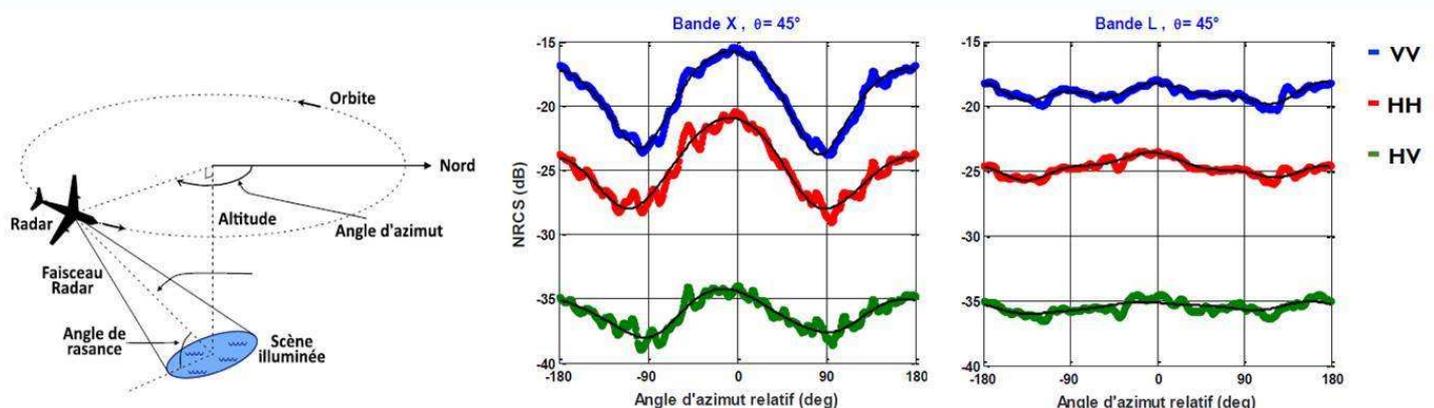


Contact : [Sebastien.Angelliaume @ onera.fr](mailto:Sebastien.Angelliaume@onera.fr)

Résumé

Un nombre croissant de données satellitaires et aéroportées acquises dans le domaine microondes sur la surface de mer est aujourd'hui disponible. L'interprétation correcte de ces observations dépend d'une part de la précision des modèles de diffusion électromagnétiques, et d'une autre part de la maîtrise des propriétés hydrodynamiques et statistiques de la surface. Ces dernières années ont connu une amélioration considérable des modèles électromagnétiques et spectraux. Cependant, certains phénomènes sont encore mal compris et non pris en compte par ces modèles. En particulier, la variation angulaire de la surface de mer n'est à ce jour pas totalement caractérisée et modélisée.

Ce travail de thèse concerne l'étude de cette variation azimutale et des asymétries directionnelles de la surface de mer. Une première étape consiste à effectuer une analyse expérimentale de cette variation azimutale, et ce en se basant sur les données de la littérature mais également sur d'autres jeux de données acquises par l'ONERA et le DSTO. Cette analyse permet de caractériser les asymétries directionnelles en fonction de la géométrie d'observation, l'état de mer et la fréquence électromagnétique. Une seconde étape consiste à proposer des mécanismes physiques pouvant être à l'origine des asymétries directionnelles. L'asymétrie upwind-crosswind étant essentiellement liée à la fonction d'étalement du spectre directionnel, notre étude théorique a essentiellement porté sur la caractérisation de cette asymétrie. Nous étudions l'influence de la prise en compte des formes déferlantes, initialement à travers des formes simples de vagues fortement asymétriques, et ensuite à travers une distribution de pentes expérimentale prenant en compte ces formes de vagues. Les asymétries obtenues par un modèle deux échelles prenant en compte ces formes de vagues sont en accord qualitatif avec les asymétries observées pour les bandes de fréquences X et L. Une étape supplémentaire consiste ensuite à calculer les asymétries obtenues par un code de diffusion rigoureux sur des profils numérisés d'une expérience en soufflerie et permet la validation des résultats obtenus avec un modèle deux échelles.



Variations azimutales en bande X (à gauche) et L (à droite) en polarisation HH (rouge), VV (bleu) et HV (vert), angle d'incidence nominal de 45°

Mieux modéliser la propagation à grande distance des ondes dans la troposphère pour mieux caractériser l'atmosphère

Charles-Antoine L' HOUR

Thèse soutenue le 19 avril 2017

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

Titre de la thèse

Modélisation de la propagation en milieux inhomogènes basée sur les faisceaux gaussiens – Application à la propagation en atmosphère réaliste et à la radio-occultation entre satellites

Encadrement

Département Electromagnétisme et Radar (DEMR)

Encadrant : Vincent Fabbro - ONERA

Directeurs de thèse : Jérôme Sokoloff - Université Paul Sabatier
Alexandre Chabory - ENAC

Financement

Région Occitanie & ONERA

Défi scientifique

Electromagnétisme et radar

www.onera.fr/pss



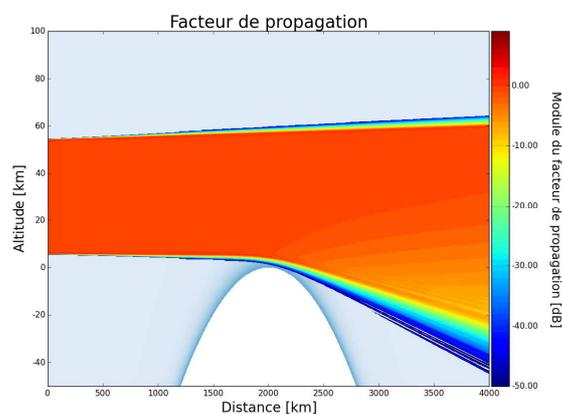
Université de Toulouse



Contact : Vincent.Fabbro @ onera.fr

Résumé

Le développement et l'utilisation des systèmes de détection ou de communication, tels que les radars ou les transmissions d'une station sol vers un aéronef, nécessitent de modéliser et de prévoir les phénomènes atmosphériques impactant leurs performances. Parmi ces phénomènes, la réfraction troposphérique joue un rôle important. Son effet sur les signaux GNSS transmis entre satellites peut également être exploité lorsque la liaison est occultée par la Terre (Radio Occultation). Pour des domaines de grandes dimensions, les méthodes classiques de modélisation de la propagation telles que l'Optique Géométrique et la méthode de l'Équation Parabolique souffrent d'une efficacité limitée. Le travail de recherche effectué dans cette thèse propose un nouveau modèle de propagation 2D des ondes électromagnétiques en milieu inhomogène pour des problèmes à grande échelle, en utilisant le formalisme faisceau gaussien. Le travail de recherche est organisé en quatre parties. La première dresse un état de l'art des méthodes de propagation classiques. Au regard de leurs limitations, le formalisme faisceau gaussien est proposé. La deuxième partie concerne le développement d'une nouvelle formulation du faisceau gaussien en milieu inhomogène, en supposant que le gradient d'indice de réfraction est vertical et constant. Ceci permet d'obtenir une description analytique (appelée GBAR, Gaussian Beam for Atmospheric Refraction) de la propagation d'un faisceau. La troisième partie rend compte de l'utilisation de la nouvelle formulation analytique en conditions troposphériques réalistes et pour un champ incident quelconque. Pour ce faire, le milieu de propagation réaliste est subdivisé en cellules élémentaires pour chacune desquelles est associé le gradient d'indice correspondant, considéré vertical et constant. De cette façon, les équations GBAR peuvent être utilisées pour décrire la propagation d'un faisceau de cellule en cellule en assurant la continuité des propriétés du faisceau. D'autre part, la formulation GBAR est complétée par la procédure de décomposition multi-faisceaux qui permet de décrire le champ en faisceaux élémentaires et ainsi de traiter la propagation en conditions difficiles telles qu'une forte inversion de gradient. Enfin, la méthode est appliquée à des grilles issues du modèle météo WRF (Weather Research and Forecasting). Les performances intéressantes de la méthode proposée sont constatées par rapport à la méthode de l'Équation Parabolique. La quatrième et dernière partie s'attache à appliquer le formalisme développé à la Radio-Occultation. Plus précisément elle consiste à modéliser le problème direct de la propagation des signaux GNSS puis de leur inversion pour estimer le profil d'indice de réfraction aux péri-gées, c'est-à-dire les points les plus proches de la surface terrestre le long des trajectoires des signaux transmis entre un satellite GNSS et un satellite LEO. La méthode est d'abord validée sur un cas canonique, puis appliquée à un cas réaliste. L'erreur induite par le modèle d'inversion testé est de l'ordre de 10 % sur les cas considérés.



Propagation d'une onde entre satellites en Radio Occultation réfractée par la troposphère

Concevoir de nouveaux traitements des signaux des satellites de géolocalisation pour améliorer les performances des systèmes de navigation en milieu urbain

Christophe CHARBONNIERAS

Thèse soutenue le 4 décembre 2017

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

Titre de la thèse

Mesure d'intégrité par l'exploitation des signaux de navigation par satellites

Encadrement

Département Electromagnétisme et Radar (DEMR)

Encadrants : Jonathan Israël - ONERA

Marion Aubault - CNES

Guillaume Carrié - Thales Alenia Space

Directeur de thèse : François Vincent - ISAE-SUPAERO

Financement

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) & Thales Alenia Space (TAS)

Défi scientifique

Electromagnétisme et radar

www.onera.fr/pss



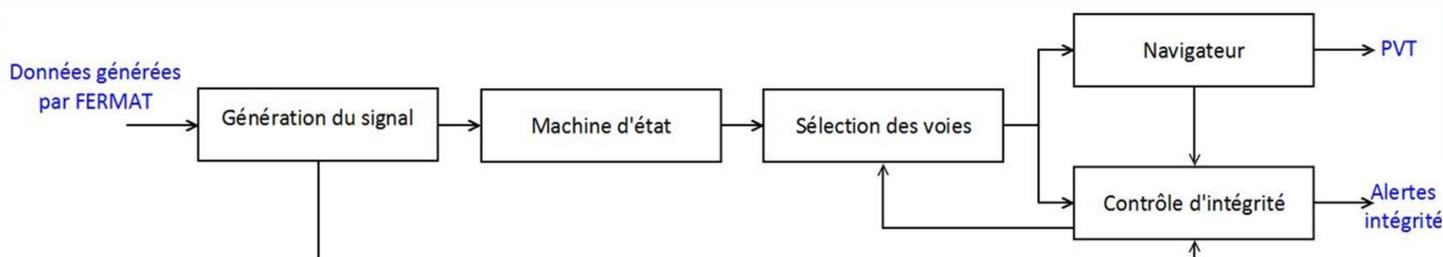
Université de Toulouse

Contact : Jonathan.Israel@onera.fr

Résumé

Dans le cadre des systèmes de positionnement par satellite GNSS (Global Navigation Satellite Systems), l'intégrité de la navigation d'un utilisateur est gérée en réception par la détection, l'identification voire l'exclusion de mesures de pseudo-distance jugées erronées. Généralement basés sur le concept a posteriori RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring), les algorithmes de contrôle autonome d'intégrité fournissent de hautes performances pour l'aviation civile. Néanmoins, les techniques RAIM ne sont pas compatibles avec la navigation terrestre en milieu contraint. En effet, le contexte urbain est notamment caractérisé par un masquage récurrent des signaux satellitaires directs ainsi que la réception de multi-trajets générés par l'environnement proche du récepteur. RAIM ne prend pas en compte l'ensemble des données disponibles en réception, dégradant ainsi fortement ses performances. Il est donc nécessaire de développer des méthodes de contrôle d'intégrité compatibles avec un tel contexte de navigation. Pour cela, la thèse propose d'étudier l'apport d'informations GNSS a priori non utilisées par les techniques RAIM. Deux paramètres principaux ont été exploités : le signal GNSS brut reçu et les estimations de directions d'arrivée des signaux satellitaires DOA (Direction Of Arrival). La première étape a consisté à implémenter une méthode a priori qui évalue la cohérence du positionnement estimé par rapport au signal brut directement reçu. Cette méthode, Direct-RAIM (D-RAIM) a démontré une forte sensibilité de détection, permettant d'anticiper d'éventuels risques sur la navigation. Toutefois, le caractère a priori de l'approche engendre de potentielles non-détection d'erreurs en cas de modèle de signal défectueux. Afin de contourner cette limitation, un couplage WLSR RAIM – D-RAIM a été développé, nommé Hybrid-RAIM (H-RAIM). Cette approche permet de combiner robustesse et sensibilité apportées par ces techniques respectives.

Le second axe de recherche a mis en évidence la contribution de l'information des DOA dans un contrôle autonome d'intégrité. Théoriquement, l'évolution jointe des DOA est directement liée à l'attitude du réseau. Cet aspect permet donc de détecter toute incohérence sur une ou plusieurs voies en cas d'estimation(s) de DOA biaisée(s), par rapport à l'ensemble de la constellation. L'algorithme RANSAC (RANdom SAMple Consensus) a été utilisé afin de détecter tout comportement aberrant dans l'estimation des DOA, et ainsi mesurer la confiance que l'utilisateur peut placer dans chaque voie. L'algorithme WLSR RAIM RANSAC a ainsi été implémenté. L'intégration de la composante DOA permet d'ajouter un degré de liberté dans le contrôle autonome d'intégrité côté récepteur et ainsi d'affiner la détection voire l'exclusion d'erreurs.



Récepteur logiciel GNSS développé permettant l'estimation de la position et le contrôle d'intégrité

Simuler l'effet des perturbations de l'ionosphère sur les mesures radar pour améliorer leur sensibilité

Marie-José ABI AKL

Thèse soutenue le 17 novembre 2017

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

Titre de la thèse

Propagation dans l'ionosphère en présence de turbulences : application aux radars HF

Encadrement

Département Electromagnétisme et Radar (DEMR)

Encadrants : Florent Jangal & Stéphane Saillant - ONERA

Directeurs de thèse : Marc Hélier & Muriel Darces - UPMC

Financement

ONERA

Défi scientifique

Electromagnétisme et radar

www.onera.fr/pss

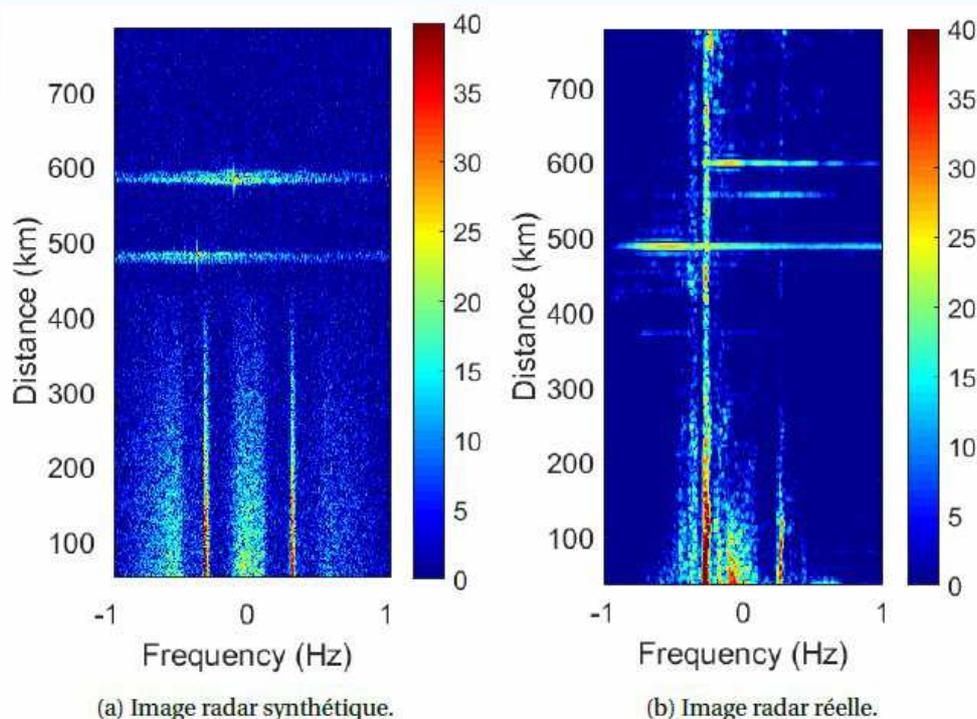


Contact : [Stephane.Saillant @ onera.fr](mailto:Stephane.Saillant@onera.fr)

Résumé

Le radar haute fréquence (HF : 3 MHz à 30 MHz) mode hybride est une solution prometteuse pour assurer la surveillance permanente, jusqu'à 2000 km, de zones maritimes et terrestres. Ce mode est une combinaison des modes de fonctionnement des radars à ondes de ciel et à ondes de surface. Lorsque l'intégration du signal est effectuée sur une cible lente, les instabilités ionosphériques affectent les images Doppler-distance. Pour rendre compte de ce phénomène en simulation, un module logiciel basé sur des modèles probabilistes du fouillis ionosphériques a été développé dans le but de simuler le comportement spatial et temporel de l'ionosphère dans le traitement radar.

La version finale de ce module est basée sur le profil de densité électronique de Booker, aléatoirement modifié en espace à partir de la fonction de densité spectrale de puissance de Shkarofsky. L'aspect temporel a été aussi pris en compte dans le traitement radar en appliquant aux chemins de phases aléatoires ainsi générés un filtrage passe-bas en prenant en considération les variations du TEC (Contenu Electronique Total). La sensibilité des étalements en décalage Doppler et en distance aux paramètres de la densité spectrale de puissance et à la valeur de la fréquence de coupure du filtre passe-bas a également été étudiée. Enfin, les images synthétisées ont été comparées aux images réelles obtenues à partir d'un radar HF situé dans le Sud de la France.



Comparaison entre une image radar réelle et une image radar simulée dans le cas d'une représentation des perturbations ionosphériques distinctes

Développer des modèles d'atténuation troposphérique pour le dimensionnement des nouveaux systèmes de télécommunications par satellites

Gaëtan FAYON

Thèse soutenue le 12 décembre 2017

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

Titre de la thèse

Modélisation Statistique de la Diversité Multi-Site aux Fréquences comprises entre 20 et 50 GHz

Encadrement

Département Electromagnétisme et Radar (DEMR)

Directeurs de thèse : Laurent Féral - UPS/LAPLACE/GRE
Laurent Castanet - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

Electromagnétisme et Radar

www.onera.fr/pss



Université de Toulouse



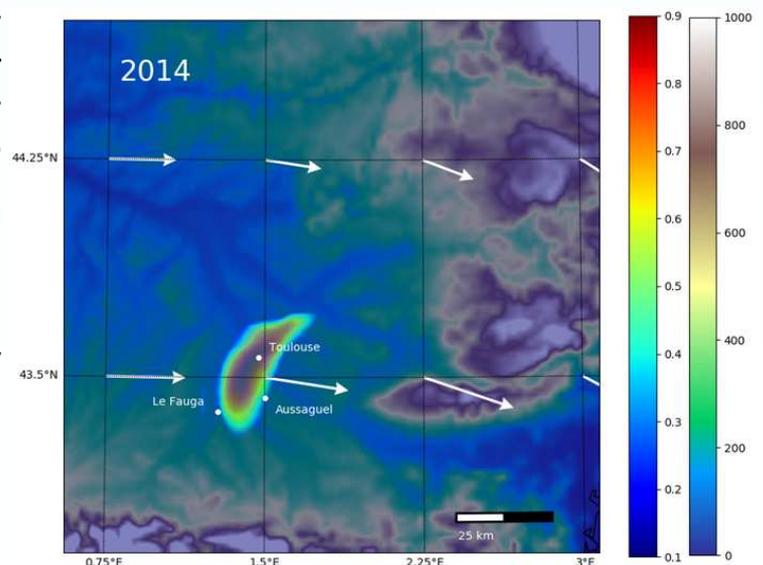
Contact : [Laurent.Castanet @ onera.fr](mailto:Laurent.Castanet@onera.fr)

Résumé

Du fait de la congestion des bandes de fréquences conventionnelles et de la nécessité d'acheminer des débits de plus en plus importants, l'évolution des télécommunications par satellite fournissant des services multimédia à très haut débit se traduit actuellement par une montée en fréquence pour atteindre une capacité globale de l'ordre du Tb/s. Cependant, cette montée en fréquence rend les futurs systèmes de télécommunications extrêmement vulnérables aux atténuations troposphériques, notamment aux précipitations qui constituent le principal contributeur à l'affaiblissement troposphérique total. Dans ce contexte, la seule utilisation des techniques de codages et de modulation adaptatives, même combinée avec de la gestion de puissance, ne suffit plus. Afin d'exploiter la décorrélation en distance des champs de précipitations, l'utilisation de stations terrestres en diversité de site est étudiée par les opérateurs afin de maintenir un bilan de liaison favorable, en jouant sur une certaine redondance des stations sols pour rediriger les signaux selon les conditions météorologiques locales. Si plusieurs modèles permettant de dimensionner de tels systèmes existent déjà, leur paramétrage n'a pu s'appuyer pour le moment que sur un nombre limité de bases de données expérimentales, à la fois en terme de durée d'acquisition et de climats représentés.

Cette thèse propose la définition d'un nouveau modèle, le modèle WRF-EMM, permettant de générer des statistiques de propagation sur une zone géographique de 100 x 100 km² en couplant le modèle de prévisions météorologiques à haute résolution WRF (*Weather Research and Forecasting*) à un module électromagnétique EMM (*ElectroMagnetic Module*) optimisé pour l'occasion. Aux latitudes moyennes, les sorties de ce simulateur sont utilisées pour alimenter les modèles actuels de dimensionnement des systèmes de télécommunications par satellite en diversité de site. Les résultats obtenus sont suffisamment proches des résultats expérimentaux pour envisager d'utiliser le modèle WRF-EMM pour compléter de façon artificielle les bases de données expérimentales existantes et finalement paramétrer les modèles de propagation en respectant les spécificités climatologiques et orographiques locales. En parallèle au développement du modèle WRF-EMM, cette thèse propose également la mise en place d'une nouvelle métrique de test permettant d'intégrer les variabilités interannuelles dans le processus de validation des modèles, ce qui n'était pas le cas jusqu'à maintenant.

Fonction de corrélation spatiale de l'atténuation due à la pluie générée avec le simulateur WRF-EMM. Due aux effets des vents dominants et du relief, cette fonction n'est plus isotrope et cette anisotropie doit être prise en compte dans les prédictions système



Etudier de nouvelles méthodes pour améliorer la simulation de la signature radar d'un objet

Benjamin ALZAIX

Thèse soutenue le 25 avril 2017

Ecole doctorale : ED 039 - Mathématiques et Informatique de Bordeaux

Titre de la thèse

Analyse mathématique et numérique de l'équation intégrale d'Herberthson dédiée à la diffraction électromagnétique d'ondes planes

Encadrement

Département Electromagnétisme et Radar (DEMR)

Encadrant : Bastiaan Michielsen - ONERA

Directeurs de thèse : Luc Giraud - INRIA

Jean-René Poirier - INPT-ENSEEIH

Financement

ONERA

Défi scientifique

Electromagnétisme et radar

www.onera.fr/pss

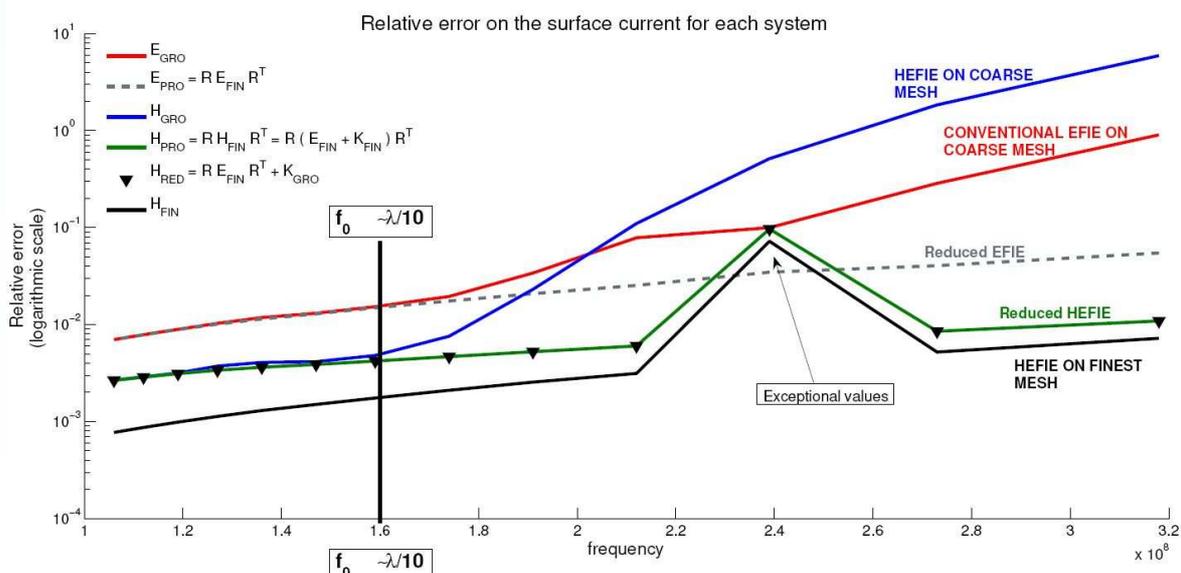


Université
de Toulouse



Résumé

Cette thèse porte sur la diffraction d'une onde plane électromagnétique par une surface lisse parfaitement conductrice (PEC). Elle présente l'analyse des propriétés d'une nouvelle formulation des principales équations intégrales de frontières de la théorie de la diffraction électromagnétique, par exemple l'EFIE (Electric Field Integral Equation). L'idée de base est d'adapter les équations intégrales conventionnelles à la diffraction d'une onde plane en supposant que la fonction de phase de l'onde plane incidente détermine la fonction de phase de la distribution de courant induite sur la surface, notamment aux fréquences élevées où les équations intégrales sont très coûteuses. Alors, la distribution de courant induite par l'onde incidente est une modulation peu oscillante, appelée « pseudo courant », d'une fonction de phase connue. Cette fonction de phase est incorporée dans le noyau distributionnel des nouveaux opérateurs intégraux. Nous explorons une propriété importante offerte par ces nouvelles formulations, c'est-à-dire, la possibilité de réduire le nombre de degrés de liberté requis pour obtenir une solution précise du problème. Bien que le pseudo-courant nécessite moins de degrés de liberté pour obtenir une approximation précise, le calcul des coefficients de Galerkin de l'HEFIE nécessite encore des intégrations précises. En considérant deux maillages, un maillage grossier pour représenter le pseudo-courant et un maillage fin pour les intégrations et en utilisant les règles d'intégration associées au maillage fin, on obtient un système HEFIE réduit donnant les distributions de courant correctes plus efficacement aux hautes fréquences que ne le ferait l'EFIE. En traitant les nouvelles équations comme perturbations (additives) des équations conventionnelles, nous avons réussi à réduire considérablement le coût numérique supplémentaire dû au fait que les coefficients des nouvelles formulations dépendent de la direction de propagation de l'onde incidente. Ainsi, même pour une suite de directions d'incidence, les nouvelles formulations peuvent être avantageuses.



Comparaison des performances des différentes formulations étudiées :
erreur relative en fonction de la finesse du maillage.

Exploiter les données de vol de la mission spatiale GOCE pour améliorer la précision des instruments embarqués sur les satellites

Raphaël CHEN

Thèse soutenue le 13 février 2017

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

Titre de la thèse

Etude du bruit des accéléromètres électrostatiques ultrasensibles de la mission GOCE

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrant : Manuel Rodrigues - ONERA

Directeur de thèse : Stéphane Holé - UPMC & ESPCI

Financement

ONERA

Défi scientifique

Capteurs et environnement spatial

www.onera.fr/pss



Résumé

Le satellite Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer (GOCE) est le premier satellite d'exploration du programme Living Planet de l'ESA. Il a été lancé en mars 2009 et a terminé sa mission en octobre 2013. L'objectif principal de la mission était la détermination des composantes du gradient de gravité pour des applications de géophysique, de géodésie et d'océanographie. Le satellite GOCE embarquait des accéléromètres de l'ONERA à la base du gradiomètre 3 axes, instrument scientifique, et du système de compensation de traînée permettant de minimiser les perturbations du freinage aérodynamique du satellite. Le gradiomètre comporte trois paires d'accéléromètres électrostatiques asservis fournissant les mesures d'accélérations linéaires et angulaires du satellite, à partir desquelles est déduit le gradient de gravité une fois combinée aux mesures du senseur d'étoile et du GPS.

Le résultat scientifique de cette mission, bien qu'un franc succès, met en évidence une erreur de restitution du gradient de gravité deux fois plus importantes que prévu. C'est dans ce cadre de recherche des causes de l'erreur que cette thèse a été produite. Une grande partie de la thèse repose sur l'expertise des accéléromètres par l'équipe ONERA afin d'évaluer la performance des accéléromètres de GOCE en vol et d'en extrapoler les résultats pour d'éventuelles futures missions, comme MICROSCOPE.

La thèse propose une analyse détaillée des sources potentielles d'erreur et quelques pistes de l'origine du défaut. La performance en vol a également été détaillée sur les 4 ans de mission.

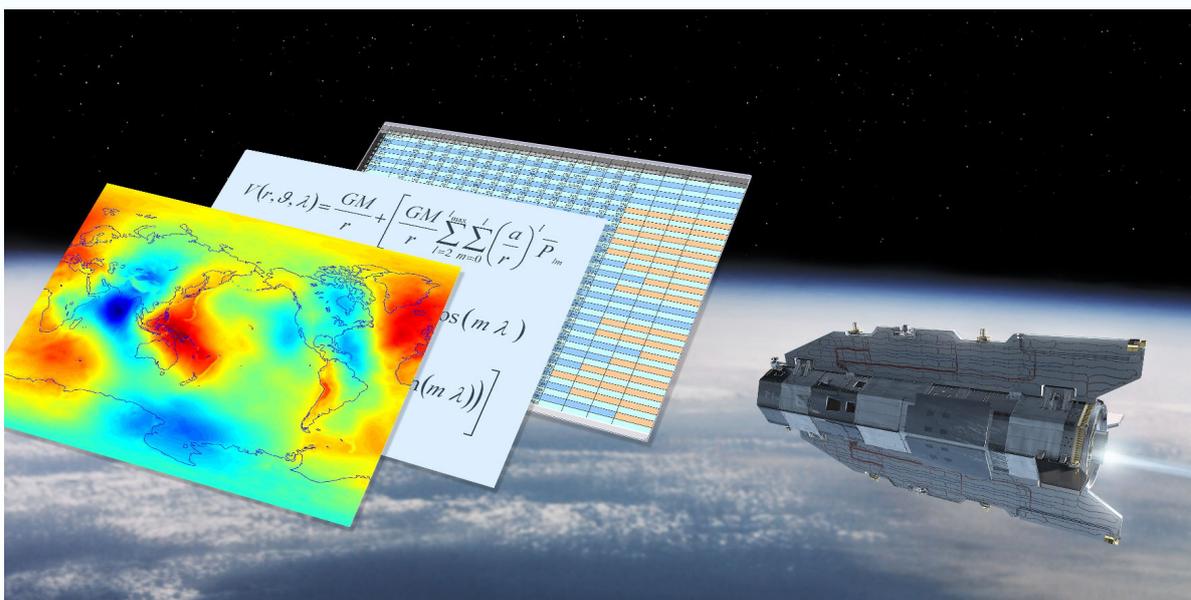


Illustration du satellite GOCE en orbite et carte du géoïde terrestre

Caractériser l'effet des champs magnétiques sur les composants HF de forte puissance des réacteurs de type Tokamak et des charges utiles des satellites pour mieux les dimensionner

Nicolas FIL

Thèse soutenue le 10 novembre 2017

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

Titre de la thèse

Caractérisation et modélisation des propriétés d'émission électronique sous champ magnétique pour des systèmes RF hautes puissances sujets à l'effet Multipactor

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrants : Julien Hillairet - CEA

Jérôme Puech - CNES

Directeur de thèse : Mohamed Belhaj - ONERA

Financement

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) & Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA)

Défi scientifique

Capteurs et environnement spatial

www.onera.fr/pss



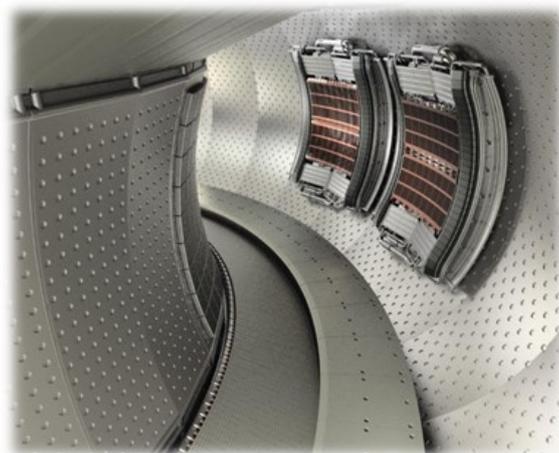
Université de Toulouse



Contact : Mohamed.Belhaj @ onera.fr

Résumé

La fusion nucléaire contrôlée par confinement magnétique avec les réacteurs de type Tokamak et les applications spatiales ont en commun d'utiliser des composants Haute-Fréquence (HF) sous vide à forte puissance. Ces composants peuvent être sujets à l'effet multipactor qui augmente la densité électronique dans le vide au sein des systèmes, ce qui est susceptible d'induire une dégradation des performances des équipements, de détériorer les composants du système et de les rendre partiellement, voire totalement, inutilisables. Ces recherches consistent à améliorer la compréhension et la prédiction de ces phénomènes. L'effet multipactor dépend des propriétés d'émission électronique des matériaux des composants HF. Dans un premier temps, nous avons donc réalisé une étude de sensibilité de l'effet multipactor au rendement d'émission électronique totale (noté TEEY). Cette étude a permis de montrer que l'effet multipactor est sensible à des variations d'énergies autour de la première énergie critique et dans la gamme d'énergies entre la première énergie critique et l'énergie du maximum. Nous avons aussi comparé six modèles d'émission électronique totale usuels ; un seul permet d'obtenir des seuils multipactor proches des données expérimentales. De plus, les composants HF utilisés dans les réacteurs Tokamaks et dans le domaine du spatial peuvent être soumis à un champ magnétique continu qui est généré respectivement par les bobines du Tokamak ainsi que le plasma au sein de la chambre du réacteur et par des aimants permanents utilisés dans les circulateurs et isolateurs HF. Les études multipactor précédentes ne prennent pas en compte l'influence du champ magnétique sur l'émission électronique des matériaux. Nous avons donc développé un nouveau dispositif expérimental afin d'étudier ce phénomène. Le dispositif a été conçu pour réaliser des mesures les plus représentatives de la situation réelle d'utilisation des composants HF. Le fonctionnement du dispositif et la méthode de mesure ont été analysés et optimisés à l'aide de modélisations numériques avec le logiciel PIC SPIS (pour Spacecraft Plasma Interaction System). SPIS permet de simuler les interactions plasma – matériaux et en particulier de déterminer les trajectoires électroniques dans un milieu représentatif de l'environnement expérimental. Une fois que l'utilisation du dispositif a été optimisée et que le protocole de mesures a été validé, nous avons étudié l'influence d'un champ magnétique uniforme et continu sur le TEEY du cuivre. Nous avons démontré que le rendement d'émission électronique totale du cuivre est influencé par la présence d'un champ magnétique et par conséquent également l'effet multipactor. Ainsi, la présence d'un champ magnétique doit être prise en compte vis-à-vis de l'émission électronique et lors des calculs prédictifs de puissance seuil multipactor.



Intérieur du Tokamak (WEST) à Cadarache montrant les antennes HF

Développer des méthodes innovantes pour mieux simuler la charge électrostatique des satellites en environnement spatial

Antoine BRUNET

Thèse soutenue le 13 décembre 2017

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

Titre de la thèse

Modélisation multi-échelle de l'effet d'un générateur solaire sur la charge électrostatique d'un satellite

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrant : Pierre Sarrailh - ONERA

Directeurs de thèse : Jean-François Roussel & François Rogier - ONERA

Financement

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) & ONERA

Défi scientifique

Capteurs et environnement spatial

www.onera.fr/pss

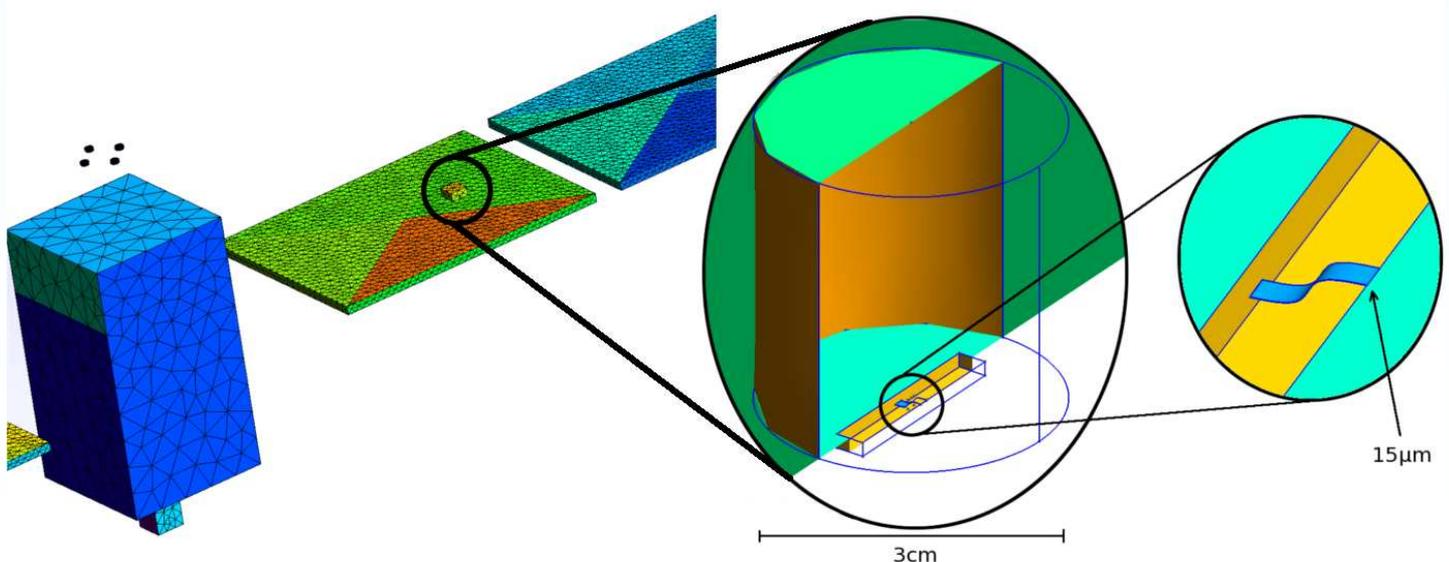


Université de Toulouse

Contact : Pierre.Sarrailh @ onera.fr

Résumé

L'estimation de la charge d'un satellite et du risque de décharge nécessite, dans certains cas, la prise en compte dans les modèles numériques d'échelles spatiales très différentes. En particulier, les interconnecteurs présents à la surface des générateurs solaires d'un satellite sont susceptibles de modifier son équilibre électrostatique lors de missions spatiales rencontrant un environnement plasma dense. Une modélisation classique de cet effet nécessiterait le maillage d'éléments à des échelles submillimétriques, sur un satellite de plusieurs dizaines de mètres d'envergure, ce qui rendrait la simulation extrêmement onéreuse en temps de calcul. De plus, ces interconnecteurs sont parfois fortement chargés positivement par rapport à l'environnement, ce qui empêche l'application du modèle de Maxwell-Boltzmann classiquement utilisé pour les populations d'électrons. Dans une première partie, nous avons développé une méthode itérative de type Patch adaptée à la résolution du problème non-linéaire de Poisson-Boltzmann pour la simulation du plasma spatial. Cette méthode numérique multigrille permet la simulation de l'impact d'éléments de petite taille à la surface d'un satellite complet. Dans une seconde partie, nous avons développé un schéma correctif permettant d'utiliser le modèle de Maxwell-Boltzmann pour la population d'électrons, malgré la présence de surfaces satellites chargées positivement, en y ajoutant un terme de correction calculé à l'aide de la méthode Particle-in-Cell. Nous avons montré que ce schéma permet, tout en limitant le coût en calculs, de déterminer avec précision les courants collectés par les surfaces du satellite, qu'elles soient chargées négativement ou positivement.



Représentation multi-échelle d'un interconnecteur de cellule solaire sur un satellite de télécommunication tout-électrique

Etudier l'influence des rayons cosmiques sur les composants électroniques pour augmenter la durée de vie des satellites

Ahmad AL YOUSSEF

Thèse soutenue le 25 octobre 2017

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

Titre de la thèse

Etude par modélisation des évènements singuliers (SET/SEU/SEL) induits par l'environnement radiatif dans les composants électroniques

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrant : Samuel Ducret - SOFRADIR

Directeurs de thèse : Laurent Artola & Guillaume Hubert - ONERA

Financement

SOFRADIR & ONERA

Défi scientifique

Capteurs et environnement spatial

www.onera.fr/pss



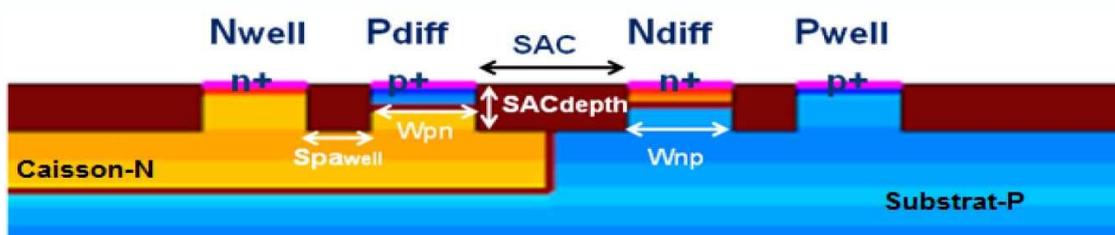
Contact : Laurent.Artola @ onera.fr

Résumé

L'environnement radiatif spatial est particulièrement critique pour la fiabilité des circuits intégrés et systèmes électroniques embarqués. Cet environnement chargé en particules énergétiques peut conduire à des pannes transitoires (SET) ou permanentes (SEU) et dans certains cas destructives (type Latchup, SEL). L'effet d'une seule particule est identifié comme un événement singulier (SEE).

L'objectif de cette thèse est d'étudier les effets singuliers (SET/SEU/SEL) de la technologie CMOS utilisée par Sofradir dans des conditions de températures cryogéniques, et plus particulièrement l'effet Latchup. Une analyse des données expérimentales d'événements transitoires (SET) mesurés sur différents circuits de lecture irradiés par faisceau d'ions lourds pour une large gamme de température de 50K à 300K a mis en évidence une dépendance à la température limitée de la sensibilité SET des deux circuits de lecture des imageurs infrarouges (ROIC). Les sensibilités SEE des deux ROIC sont faibles et conformes aux exigences de Sofradir. La dépendance mesurée de la multiplicité des SET selon leur durée a été quantifiée et analysée. Aucun événement Latchup n'a été mesuré. Cette robustesse au Latchup aux températures cryogéniques a été investiguée. Un modèle de simulation a été développé en sélectionnant les modèles physiques les plus pertinents afin de décrire les comportements spécifiques du composant à basses températures. La méthodologie de cette étude s'appuie sur une analyse théorique (simulations TCAD/ SPICE) du déclenchement du Latchup pour la technologie académique. Cette étude a permis de comprendre les paramètres impliqués dans les mécanismes de déclenchement à basses températures. Cette analyse montre une bonne corrélation des tendances avec les données expérimentales de la littérature.

Afin de généraliser l'étude à la technologie de Sofradir, des simulations TCAD ont été réalisées sur trois structures CMOS correspondant à différentes géométries d'inverseurs utilisés par Sofradir lors du design de ses circuits de lecture. Les simulations montrent une immunité de la technologie Sofradir vis-à-vis du Latchup à basse température. En revanche, certains événements Latchup ont été observés à haute température. Une étude spécifique des effets technologiques de l'inverseur sur la sensibilité Latchup a alors été conduite. L'impact des paramètres dopage et design sont étudiés afin de proposer des solutions de durcissement au Latchup. Enfin, une modélisation électrique du Latchup a été proposée afin de s'intégrer à la plateforme de prédiction SEE, MUSCA SEP3 développée par l'ONERA dans le but de permettre à la fois, l'évaluation, la caractérisation et l'aide au développement de circuits CMOS en environnement spatial.



Structure d'un inverseur CMOS Sofradir

Améliorer la prédiction de la dégradation des capteurs d'images en environnement spatial

Marie-Cécile URSULE

Thèse soutenue le 26 septembre 2017

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

Titre de la thèse

**Compréhension des mécanismes physiques à l'origine
des dégradations électriques extrêmes des pixels
dans les capteurs d'images irradiés**

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Directeurs de thèse : Thierry Nuns & Christophe Inguibert - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

Capteurs et
environnement spatial

www.onera.fr/pss



Université
de Toulouse

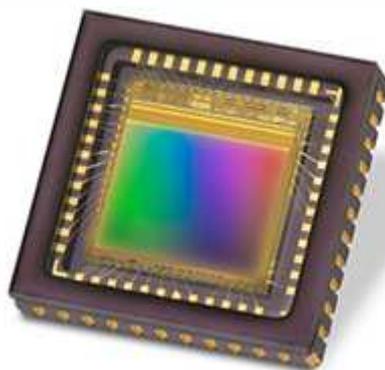


Contact : [Thierry.Nuns @ onera.fr](mailto:Thierry.Nuns@onera.fr)

Résumé

Dans le domaine du spatial, les capteurs d'images sont utilisés à bord des satellites pour l'observation terrestre, spatiale ou encore pour le calcul d'attitude (senseurs stellaires). Les rayonnements de l'environnement spatial entraînent une dégradation des performances de l'électronique. En effet, les interactions rayonnement-matière génèrent des déplacements atomiques ainsi que l'ionisation de la matière provoquant l'apparition de divers bruits. Au cours de cette thèse, nous nous sommes particulièrement intéressés à l'augmentation du courant d'obscurité des pixels. Ce courant parasite correspond à la génération de porteurs de charges sans lumière par simple excitation thermique, induisant ainsi l'augmentation du bruit de fond des images et une réduction de la dynamique. À cause des effets statistiques sur les interactions produisant des déplacements atomiques, l'augmentation du courant d'obscurité n'est pas homogène sur l'ensemble de la matrice de pixels des imageurs. Il apparaît une distribution des amplitudes de dégradation que l'on appelle DCNU (Dark Current Non Uniformity). Les pixels fortement dégradés, appelés pixels chauds, sont particulièrement pénalisants pour les missions spatiales. Ce courant parasite peut être critique pour certaines missions et pousse la communauté spatiale (ESA, industriels) à développer des méthodes de prédiction performantes. L'ONERA a développé une méthode originale de prédiction des courants d'obscurité induits par les radiations de l'environnement spatial, basée sur la méthode de Monte Carlo et la librairie GEANT4. Cette méthode permet, à partir de données géométriques des pixels, de reproduire la distribution de courant d'obscurité sur la matrice de pixels générée par les déplacements atomiques qui sont à l'origine des courants les plus extrêmes. Cette thèse a porté sur trois axes de recherches. Le premier axe a consisté à améliorer les performances de l'outil numérique pour des cas extrêmes de modélisations (un grand volume de pixels ou un fort flux de particules irradiantes) pour lesquels les modélisations Monte Carlo sont trop longues. Grâce à des simplifications statistiques (théorème central limite), nous avons pu mettre en place des méthodes de calcul alternatives. Dans le deuxième axe de recherche, nous avons étudié l'impact de la dégradation d'un pixel sur ses proches voisins. Les diverses modélisations ont montré que des effets de bords sont à prévoir pour de petites géométries de pixel. Enfin, le troisième axe porte sur l'étude et la modélisation des effets du champ électrique sur le courant d'obscurité. L'impact des effets Poole-Frenkel et tunnel assisté par phonons a été ajouté à l'outil permettant une meilleure prédiction de la dégradation des capteurs d'images.

*Exemple d'imageur CMOS :
capteur JADE, Teledyne e2v*



Simuler l'effet des flux d'électrons dans les équipements embarqués à bord des satellites pour réduire leurs effets sur les composants

Juliette PIERRON

Thèse soutenue le 09 novembre 2017

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

Titre de la thèse

Modèle de transport d'électrons à basse énergie (10 eV-2 keV) pour applications spatiales (OSMOSEE, GEANT4)

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrants : Mohamed Belhaj - ONERA

Mélanie Raine - CEA

Jérôme Puech - CNES

Directeurs de thèse : Jean-Pierre David & Christophe Inguibert - ONERA

Financement

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) & Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA)

Défi scientifique

Capteurs et environnement spatial

www.onera.fr/pss



Université de Toulouse



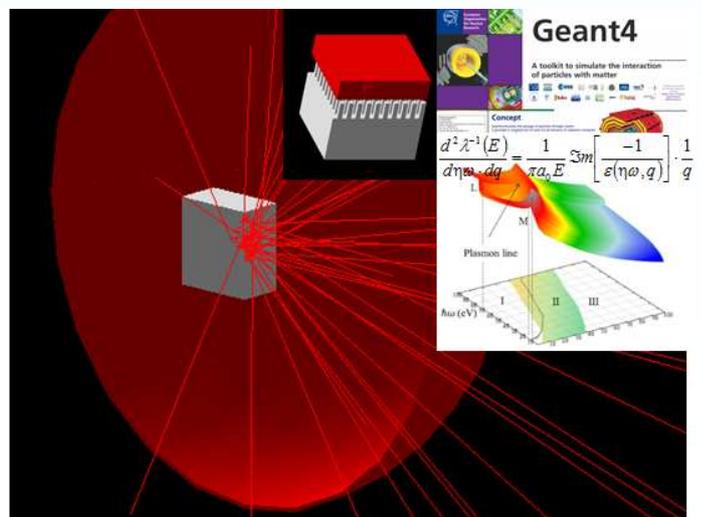
Contact : [Christophe.Inguibert @ onera.fr](mailto:Christophe.Inguibert@onera.fr)

Résumé

L'espace est un milieu hostile pour les équipements embarqués à bord des satellites. Les importants flux d'électrons qui les bombardent continuellement peuvent pénétrer à l'intérieur de leurs composants électroniques et engendrer des dysfonctionnements. C'est le cas, par exemple, de l'effet multipactor, qui correspond à l'apparition d'une avalanche d'électrons dans les composants radiofréquences, et des effets de dose qui se produisent dans les composants microélectroniques. La prise en compte de ces effets nécessite des outils numériques 3D très performants, tels que des codes de transport d'électrons utilisant la méthode statistique de Monte-Carlo, valides jusqu'à quelques eV. Dans ce contexte, l'ONERA a développé, en partenariat avec le CNES, le code OSMOSEE, dédié au transport des électrons de basse énergie (10 eV – 2 keV) dans l'aluminium. De son côté, le CEA a développé, pour le silicium, le module basse énergie MicroElec dans le code GEANT4.

Afin d'obtenir une meilleure compréhension du transport des électrons à basse énergie, l'objectif de cette thèse, dans un effort commun entre l'ONERA, le CNES et le CEA, est d'étendre ces codes à différents matériaux. Pour décrire les interactions entre les électrons, nous avons choisi d'utiliser le modèle des fonctions diélectriques. Ces fonctions, en étant déterminées à partir de la mesure des indices optiques, permettent de s'affranchir de la disparité de structure des bandes électroniques des matériaux, qui jouent un rôle prépondérant à basse énergie. La validation des codes, pour l'aluminium, l'argent et le silicium, par comparaison avec des mesures issues du dispositif DEESSE de l'ONERA a montré qu'il existe deux régimes de transport dans le domaine d'énergie étudié. A très basse énergie, les électrons sont principalement déviés par les noyaux et, en conséquence, restent dans les premiers nanomètres du matériau. A plus haute énergie, les électrons pénètrent en profondeur dans le matériau et parviennent plus difficilement à s'en échapper. Ce résultat permet de mieux comprendre comment l'état de la surface des matériaux, tel que l'oxydation, la contamination ou la rugosité, modifie fortement ses propriétés d'émission électronique. Ces paramètres, qui peuvent avoir un impact important sur le niveau de rendement d'émission secondaire, ne sont habituellement pas pris en compte dans les codes de transport de Monte-Carlo, qui ne simulent que des matériaux idéalement lisses. La modélisation de la rugosité de la surface, via la version du code MicroElec développée au cours de cette thèse, a montré qu'il est possible de réduire le nombre d'électrons émis par un matériau d'environ 80 % en ajoutant à sa surface des structures rugueuses, en forme de damiers ou de rainures, de grande hauteur et de faible largeur. Ce résultat offre des perspectives intéressantes pour limiter l'effet multipactor dans les composants radiofréquences.

*Simulation du transport des électrons
avec GEANT4*



Mieux reproduire l'évolution des ceintures de radiation lors d'un orage géomagnétique pour mieux en comprendre les effets sur les satellites

Damien HERRERA

Thèse soutenue le 9 octobre 2017

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

Titre de la thèse

**Prise en compte du temps local dans la modélisation
des ceintures de radiation terrestres**

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Directeurs de thèse : Vincent Maget & Sébastien Bourdarie - ONERA

Financement

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) & ONERA

Défi scientifique

Capteurs et
environnement spatial

www.onera.fr/pss



Université
de Toulouse

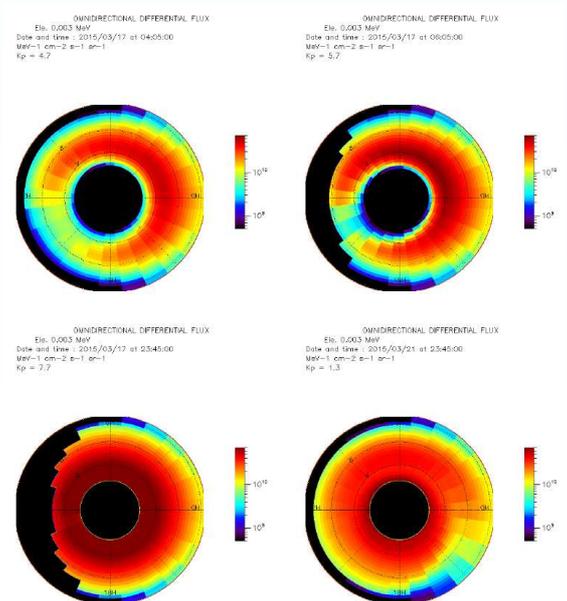


Contact : Vincent.Maget @ onera.fr

Résumé

Depuis le début de l'ère spatiale, les ceintures de radiation terrestres font l'objet d'études du fait de leur dangerosité pour les satellites et aussi pour l'être humain. Lors d'une forte activité solaire, l'injection de particules dans cet environnement radiatif peut induire des flux jusqu'à 1000 fois plus élevés que par temps calme. Il est donc important d'en comprendre la physique ainsi que la dynamique au cours de ce que l'on appelle un orage géomagnétique. Pour cela, l'ONERA développe la famille de modèles Salammbô reproduisant de façon robuste et en trois dimensions la dynamique des particules piégées dans ces ceintures. Bien que précis au-delà d'environ 100 keV, la physique et les hypothèses prises en compte dans ce modèle restent insuffisantes en deçà. En effet, aux basses énergies les ceintures de radiation ne peuvent plus être considérées comme homogènes autour de la Terre. L'objectif de cette thèse a donc été de prendre en compte une quatrième dimension, le temps magnétique local (MLT), afin de mieux reproduire l'évolution des structures fines lors d'un orage géomagnétique. La première partie a porté sur l'optimisation du schéma numérique. L'ajout d'une quatrième dimension induit, via l'apparition d'un terme d'advection, une forte diffusion numérique qu'il convient de limiter, tout en tenant compte du temps de calcul. L'équation statistique implémentée a alors été discrétisée selon un schéma de type Beam-Warming du second ordre couplé à un limiteur Superbee, garantissant une propagation satisfaisante de la distribution initiale. Les différents mécanismes physiques pilotant la dynamique des particules piégées ont été implémentés dans le code, en mettant l'accent sur la dépendance en MLT de l'interaction onde-particule. Les champs électriques magnétosphériques sont pris en compte car ils constituent l'un des moteurs principaux du mouvement des particules de basses énergies. Le modèle Salammbô 4D a ensuite été validé par comparaison avec le modèle 3D sur une simulation de l'orage magnétique de mars 2015. Les résultats ont montré une bonne restitution de la dynamique des ceintures de radiation, avec en plus l'accès à la phase principale de l'orage. Cet événement a ensuite été modélisé à plus basse énergie pour constater la dynamique asymétrique des électrons piégés avec le rôle prépondérant du champ électrique de convection. La comparaison avec les données du satellite THEMIS a montré une bonne modélisation des différents processus physiques, notamment celui de « dropout » par traversée de la magnétopause. Enfin, la mise en place d'une condition limite dynamique modulée par les paramètres du vent solaire et dépendante du MLT ouvre de nombreuses perspectives.

Modélisation de l'orage géomagnétique du 16 au 25 mars 2015 pour des électrons de 3 keV. Flux différentiel d'électrons équatoriaux à 3 keV pendant la phase de déclenchement (en haut à gauche), au début de la phase principale (en haut à droite), à Kpmax (en bas à gauche) et 4 jours après Kpmax (en bas à droite)



Quantifier l'influence des perturbations du vent solaire sur la dynamique des ceintures de radiation terrestres dans le cadre de la Météorologie de l'Espace

Rémi BENACQUISTA

Thèse soutenue le 23 novembre 2017

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

Titre de la thèse

Impact des structures du vent solaire sur les ceintures de radiation terrestres

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrants : Sandrine Rochel & Vincent Maget - ONERA

Directeur de thèse : Daniel Boscher - ONERA

Financement

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) & Région Occitanie

Défi scientifique

Capteurs et
environnement spatial

www.onera.fr/pss



Université
de Toulouse

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

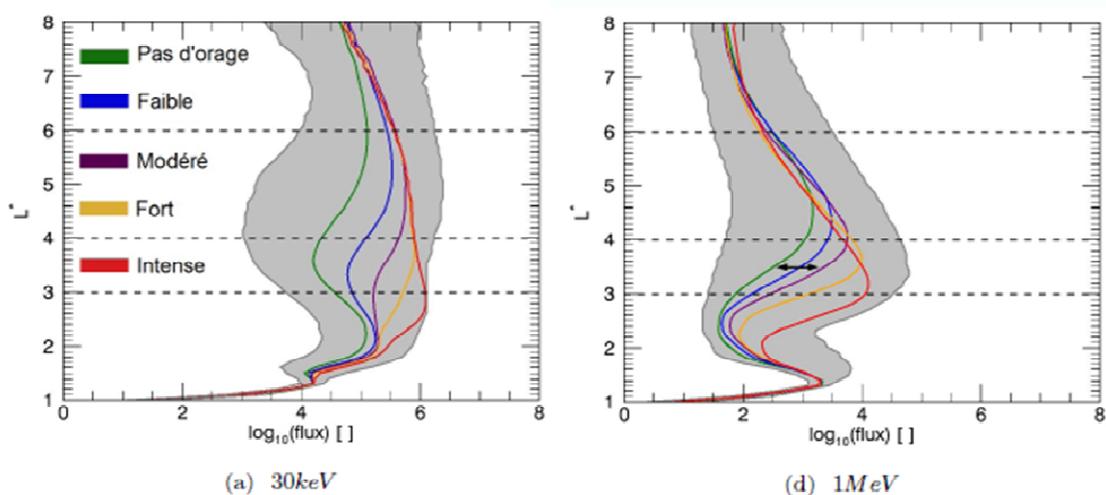
Contact : Sandrine.Rochel @ onera.fr

Résumé

Les ceintures de radiation correspondent à la région toroïdale de la magnétosphère interne dans laquelle se trouvent les particules de hautes énergies, potentiellement néfastes pour les satellites. Le couplage entre le vent solaire et la magnétosphère donne lieu à de très fortes variations des flux de particules qui peuvent augmenter ou diminuer sur plusieurs ordres de grandeurs. Les flux peuvent alors atteindre des niveaux très élevés sur des périodes de temps variables.

L'objectif de cette thèse est d'observer et caractériser ces variations de flux d'électrons au passage de différents types d'événements d'origine solaire tels que les régions d'interaction en co-rotation (CIRs) et les éjections de masse coronale interplanétaires (ICMEs). Pour cela, nous avons traité et analysé les données de plusieurs types : paramètres du vent solaire, indices géomagnétiques et flux d'électrons dans les ceintures de radiation.

Dans les trois premiers chapitres, nous rendons compte de la complexité de l'environnement spatial terrestre en présentant le système Soleil-Terre ainsi que les différentes données utilisées. Les travaux de thèse sont ensuite organisés en quatre chapitres. Dans un premier temps, nous avons utilisé les mesures des satellites NOAA-POES afin de caractériser les flux d'électrons dans les ceintures de radiation. Nous avons ensuite étudié les différences entre les variations de flux causées par les CIRs et les ICMEs en fonction de l'énergie des électrons et du paramètre L^* . Après avoir montré le fort lien entre les intensités d'orages magnétiques et les variations de flux, nous nous sommes focalisés sur les ICMEs et la variabilité des orages magnétiques qu'elles causent. Enfin, nous avons souhaité insister sur l'importance des enchaînements d'événements. Après avoir quantifié la tendance marquée qu'ont les ICMEs à former des séquences, nous avons réalisé une étude statistique sur les orages magnétiques qu'elles causent. Enfin, trois études de cas sur des enchaînements rapides d'événements permettent d'illustrer différents effets possibles sur les ceintures de radiation.



Définition de niveaux d'alertes d'intensité d'orages géomagnétiques et niveaux de flux seuils associés, pour différentes énergies et distances radiales

Simulation Numérique Avancée

Défi 5 - CFD 2030

- LAGRANGE MARTER Isabelle** - Méthode d'interface immergée pour la simulation directe de l'atomisation primaire..... 122
- HERVO Loïc** - Simulation numérique de l'écoulement d'un mélange air et phase dispersée pour l'allumage d'une chambre de combustion aéronautique via un formalisme Euler Lagrange 124
- PINTO Brijesh** - Wavelet-based multiscale simulation of incompressible flows 126

Mieux simuler l'injection de carburant dans les chambres de combustion pour réduire les émissions polluantes et améliorer les performances des turboréacteurs

Isabelle LAGRANGE MARTER

Thèse soutenue le 12 décembre 2017

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

Titre de la thèse

Méthode d'interface immergée pour la simulation directe de l'atomisation primaire

Encadrement

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Encadrant : Davide Zuzio - ONERA

Directeur de thèse : Jean-Luc Estivalèzes - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

CFD 2030

www.onera.fr/pss



Université
de Toulouse

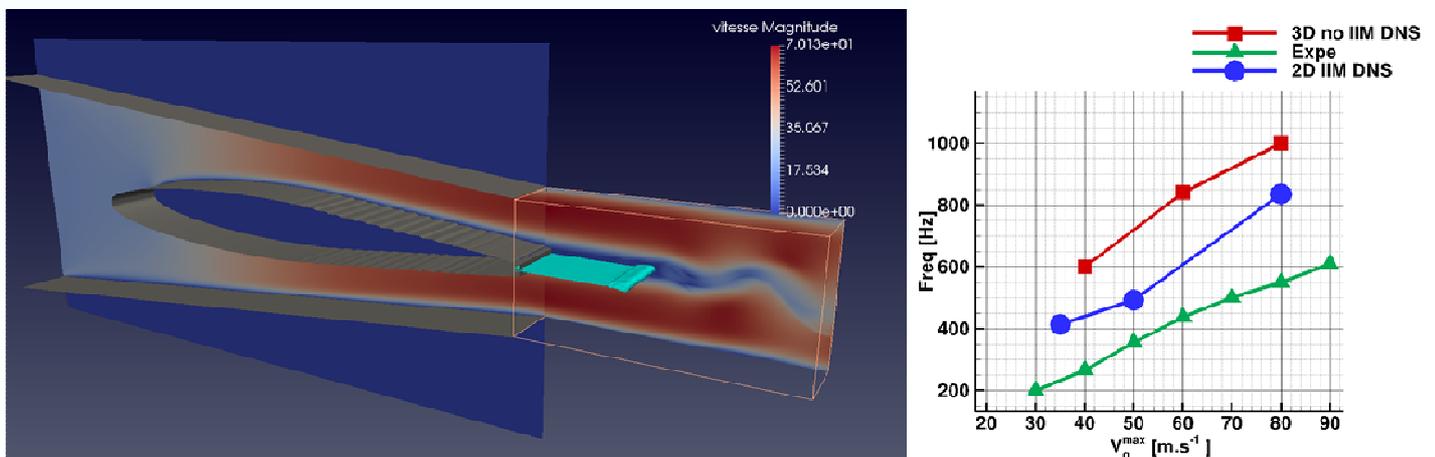


Contact : [Davide.Zuzio @ onera.fr](mailto:Davide.Zuzio@onera.fr)

Méthode d'interface immergée pour la simulation directe de l'atomisation primaire

Résumé

Dans les injecteurs aéronautiques l'atomisation du carburant, injecté sous forme de jet ou nappe, résulte du cisaillement engendré par un fort écoulement d'air généré dans l'injecteur. La simulation numérique directe (DNS) d'écoulements avec interface permet de simuler l'ensemble du processus d'atomisation. Cependant, une des complexités de l'atomisation vient d'une forte influence de l'écoulement gazeux dans les conduites de l'injecteur, rendant impérative la simulation de l'injecteur complet. Ceci étant impossible avec des maillages cartésiens structurés, l'objectif de cette thèse est de développer une méthode d'interface immergée permettant l'inclusion d'objets solides dans un domaine de calcul afin de réaliser des DNS du système d'injection complet. Les équations de Navier-Stokes incompressibles diphasiques sont résolues à l'aide d'un algorithme de projection, l'interface liquide-gaz étant transportée avec une méthode couplée VoF/Level Set (CLSVOF) conservative en masse et quantité de mouvement. Le maillage ne coïncidant pas avec la frontière solide, représentée par une deuxième fonction Level Set, la présence du solide est prise en compte à la localisation exacte du solide en modifiant l'écoulement grâce à la méthode d'interface immergée. Pour cela, des conditions de bord sont imposées sur les champs de vitesse et pression lors de la discrétisation des équations. La méthode d'interface immergée a également été adaptée à la méthode CLSVOF afin de traiter les cellules de maillage contenant à la fois les deux fluides et le solide. La méthode d'interface immergée proposée a été validée et appliquée à la simulation numérique de nappes liquides cisailées pour une configuration d'injecteur utilisée en essais à l'ONERA. Les comparaisons entre les résultats numériques et expérimentaux permettent de constater l'existence d'une forte interaction entre le battement de la nappe et l'écoulement d'air : en particulier, les fréquences d'oscillation primaire de la nappe calculées avec injecteur complet sont bien plus proches des fréquences mesurées par les expériences que les calculs ne prenant pas en compte les entrées d'air.



Simulation DNS de l'atomisation assistée d'une nappe liquide cisailée avec Interface Immergée - Fréquence d'oscillation en fonction de la vitesse d'air

Simuler l'allumage d'une chambre de combustion pour en évaluer les performances et réduire le coût des essais de réallumage

Loïc HERVO

Thèse soutenue le 15 décembre 2017

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

Titre de la thèse

Simulation numérique de l'écoulement d'un mélange air et phase dispersée pour l'allumage d'une chambre de combustion aéronautique via un formalisme Euler Lagrange

Encadrement

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Directeurs de thèse : Bénédicte Cuenot - CERFACS
Jean-Mathieu Senoner - ONERA

Financement

Délégation Générale de l'Armement (DGA) & ONERA

Défi scientifique

CFD 2030

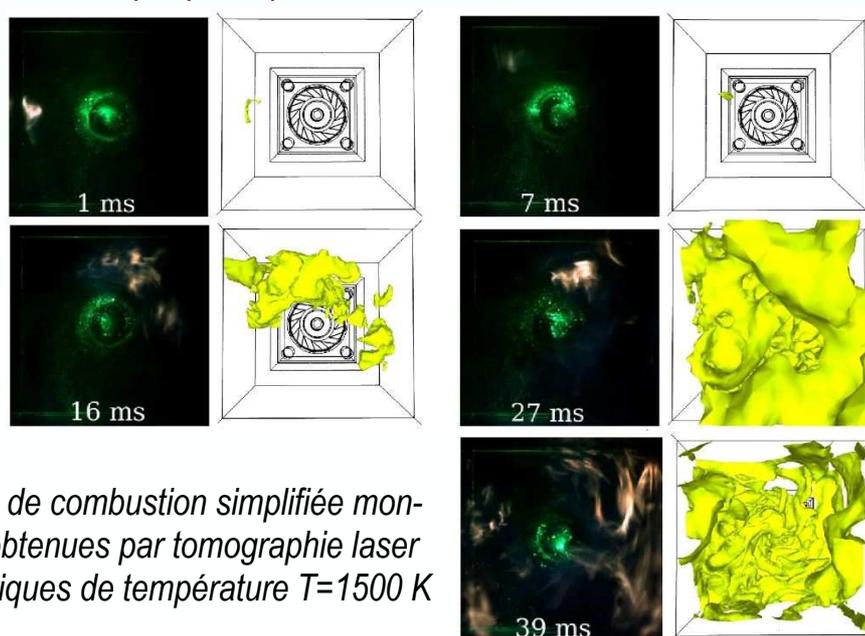
www.onera.fr/pss



Contact : Jean-Mathieu.Senoner @ onera.fr

Résumé

Pour garantir la capacité des moteurs aéronautiques à s'allumer même dans des conditions de haute altitude, de coûteux essais sont aujourd'hui nécessaires. Disposer d'outils de simulation numérique capables de prédire précisément les performances d'allumage d'une chambre de combustion pourrait permettre de limiter le recours aux essais et d'accélérer la phase de conception d'une chambre de combustion. L'objectif de cette thèse est de contribuer au développement et à la validation d'outils numériques permettant la Simulation aux Grandes Echelles (SGS) de l'allumage d'un écoulement turbulent diphasique dans une chambre de combustion. Pour ce faire, une méthode de dépôt d'énergie modélisant l'apport d'énergie lié au claquage de la bougie d'allumage a été implémentée dans le code CEDRE. Cette méthode a été validée sur une simulation de l'allumage d'un écoulement laminaire purement gazeux d'air et de propane. Ensuite, une SGS de l'écoulement d'air dans la maquette mono-secteur du banc MERCATO a été effectué à l'aide du solveur Navier-Stokes CHARME de la chaîne de calcul CEDRE. Cette simulation reproduit fidèlement l'écoulement turbulent non-réactif dans la chambre de combustion, comme l'attestent les comparaisons avec les données expérimentales pour les champs de vitesse moyens et fluctuants. Une méthode d'injection simplifiée appelée FIMUR a ensuite été implémentée dans le solveur lagrangien SPARTE de la chaîne de calcul CEDRE afin de permettre la simulation de l'écoulement turbulent diphasique dispersé non réactif de la même configuration. Dans cette méthode, des gouttes sont injectées directement au nez de l'injecteur avec une distribution de vitesse fonction de corrélations expérimentales basées sur des données géométriques et une distribution de taille issue des données expérimentales. Une SGS de l'écoulement diphasique non-réactif dans la chambre MERCATO a ensuite été réalisée avec cette méthode. La comparaison des champs particuliers moyens de vitesse et de taille obtenus par simulation numérique avec les données expérimentales est satisfaisante. Enfin, des SGS de l'allumage de la chambre MERCATO ont été effectuées à partir du champ diphasique non-réactif simulé et de la méthode de dépôt d'énergie développée. Selon l'instant du dépôt d'énergie, les simulations conduisent à des allumages réussis ou non. La propagation de la flamme dans la chambre pour un allumage réussi a fait l'objet d'une analyse détaillée pour tenter de déterminer les principaux facteurs l'influençant.



Séquence d'allumage d'une chambre de combustion simplifiée montée sur le banc MERCATO. Images obtenues par tomographie laser comparées à des isoncontours numériques de température $T=1500$ K

Développer une nouvelle méthode pour la simulation numérique d'écoulements turbulents

Brijesh PINTO

Thèse soutenue le 26 juin 2017

Ecole doctorale : ED 522 (SI-MMEA) - Sciences et Ingénierie en Matériaux,
Mécanique, Energétique et Aéronautique - Poitiers

Titre de la thèse

Wavelet-based multiscale simulation of incompressible flows

Encadrement

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Encadrante : Marta de la Llave Plata - ONERA

Directeur de thèse : Eric Lamballais - Université de Poitiers

Financement

ONERA

Défi scientifique

CFD 2030

www.onera.fr/pss



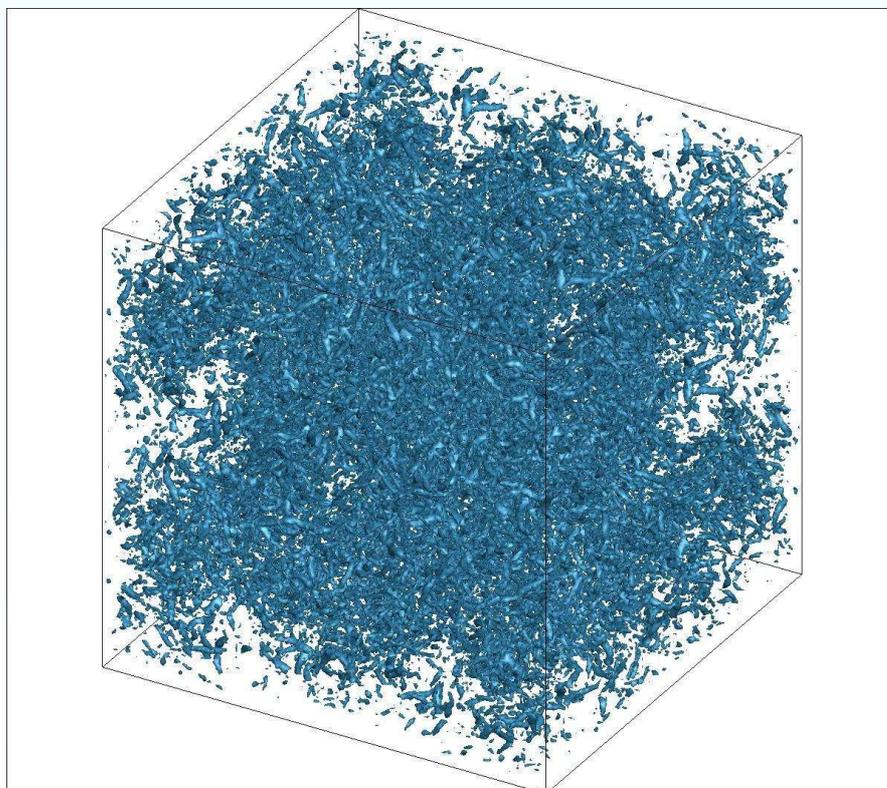
Contact : [Marta.De_La_Llave_Plata @ onera.fr](mailto:Marta.De_La_Llave_Plata@onera.fr)

Wavelet-based multiscale simulation of incompressible flows

Résumé

This thesis focuses on the development of an accurate and efficient method for performing Large-Eddy Simulation (LES) of turbulent flows.

An LES approach based upon the Variational Multiscale (VMS) method is considered. VMS produces an a priori scale-separation of the governing equations, in a manner which makes no assumptions on the boundary conditions and mesh uniformity. In order to ensure that scale separation in wavenumber is achieved, we have chosen to make use of the Second Generation Wavelets (SGW), a polynomial basis which exhibits optimal space frequency localisation properties. Once scale-separation has been achieved, the action of the subgrid model is restricted to the wavenumber band closest to the cutoff. We call this approach wavelet-based VMS-LES (WAV-VMS-LES). This approach has been incorporated within the framework of a high-order incompressible flow solver based upon pressure-stabilised discontinuous Galerkin FEM (DG-FEM). The method has been assessed by performing highly under-resolved LES upon the 3D Taylor-Green Vortex test case at two different Reynolds numbers.



Taylor-Green vortex configuration at Reynolds 20000. Iso-surfaces of the Q-criterion

Traitement de l'Information et Systèmes

Défi 1 - Optimisation pluridisciplinaire et optimisation

ACHARD Timothée - Techniques de calcul de gradient aéro-structure haute-fidélité pour l'optimisation de voilures flexibles 132

Défi 2 - Systèmes intelligents

PONTES DUFF PEREIRA Igor - Large-scale and infinite dimensional dynamical model approximation..... 134

VIEL Christophe - Lois de guidage coopératives et estimateurs d'état pour système multi-agent avec réduction des communications par méthode event-triggered 136

BOLTING Jan - Contributions to Tight Formation Flight Control of Small UAS 138

PEREIRA FIGUEIRA José Marcio - De l'utilisation des outils de simulation pour l'estimation des limites d'appontage des hélicoptères..... 140

BRUNOT Mathieu - Identification of rigid industrial robots - A system identification perspective... 142

EVAIN Hélène - Nouvelles configurations de grappes d'actionneurs gyroscopiques pour le contrôle de satellites agiles 144

PERRET Quentin - Exécution prédictible sur processeurs pluri-cœurs 146

GUET Fabrice - Etude de l'application de la théorie des valeurs extrêmes pour l'estimation fiable et robuste du pire temps d'exécution probabiliste..... 148

DELMAS Kevin - Synthèse automatique d'architectures tolérantes aux fautes 150

STOLLE Martin - Towards Vision-Based Autonomous Cross-Country Soaring for UAVs..... 152

ROGEMAN Hélène - Amélioration de performance de la navigation basée vision pour la robotique autonome : une approche par couplage vision/commande 154

Défi 11 - Perception artificielle multimodale

GUERRY Joris - Reconnaissance visuelle robuste par réseaux de neurones dans des scénarios d'exploration robotique..... 156

BRIGOT Guillaume - Prédire la structure des forêts à partir d'images PolInSAR par apprentissage de descripteurs LIDAR..... 158

DEROME Maxime - Vision stéréoscopique temps-réel pour la navigation autonome d'un robot en environnement dynamique..... 160

Développer de nouvelles méthodes de calculs d'optimisation multidisciplinaires pour améliorer simultanément les performances aérodynamique et structure d'une aile d'avion souple

Timothée ACHARD

Thèse soutenue le 08 décembre 2017

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

Titre de la thèse

**Techniques de calcul de gradient aéro-structure haute-fidélité
pour l'optimisation de voilures flexibles**

Encadrement

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Directeurs de thèse : Roger Ohayon - CNAM

Christophe Blondeau - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

Optimisation
pluridisciplinaire
et évaluation

www.onera.fr/pss

le cnam

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Contact : Christophe.Blondeau @ onera.fr

Résumé

L'optimisation multidisciplinaire (MDO) à base de gradients est efficace et très utilisée pour le dimensionnement structural d'ailes flexibles. Cependant, dans le contexte de simulations numériques haute-fidélité, le calcul efficace des gradients reste un défi majeur.

L'objectif de ce travail est d'étudier les approches les mieux adaptées aux spécificités du calcul de sensibilité des efforts aéroélastiques par rapport à des paramètres structuraux. Deux techniques de calcul de gradient haute-fidélité adaptées aux systèmes aéroélastiques fortement couplés sont proposées. La technique la plus intrusive repose sur les formulations directe et adjointe qui nécessitent un effort d'implémentation logicielle substantiel. Alternativement, nous proposons une approche découplée et non-intrusive, moins lourde à implémenter et cependant capable de fournir une approximation précise des gradients. Ces deux techniques ont été intégrées dans le logiciel CFD **elsA** de l'ONERA. La précision, l'efficacité et l'applicabilité de ces méthodes sont démontrées sur le cas-test avion de transport civil Common Research Model (CRM). Nous résolvons un problème inverse dont l'objectif est de retrouver, en conditions de vol de croisière, une loi cible de vrillage voilure.

Ces deux méthodes s'avèrent comparables en matière de précision et de coût. Elles offrent ainsi une souplesse supplémentaire de mise en œuvre en fonction du niveau d'intégration recherché dans le processus MDO.



Aile d'avion flexible : de la simulation à la réalité

Distinction

Prix doctorant ONERA
(2016)

Igor PONTES DUFF PEREIRA

Thèse soutenue le 11 janvier 2017

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

Titre de la thèse

**Large-scale and infinite dimensional dynamical model
approximation**

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Directeurs de thèse : Charles Poussot-Vassal & Cédric Seren - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

Systemes intelligents

www.onera.fr/pss



Université
de Toulouse



Résumé

In the engineering area (e.g. aerospace, automotive, biology, circuits), dynamical systems are the basic framework used for modeling, controlling and analyzing a large variety of systems and phenomena. Due to the increasing use of dedicated computer-based modeling design software, numerical simulation turns to be more and more used to simulate a complex system or phenomenon and shorten both development time and cost. However, the need of an enhanced model accuracy inevitably leads to an increasing number of variables and resources to manage at the price of a high numerical cost. This counterpart is the justification for model reduction. In general, a reduced-order approximation is considered to be a finite dimensional model. This representation is quite general and a wide range of linear dynamical systems can be converted in this form, at least in principle. However, in some cases, it may be more relevant to find reduced-order models having some more complex structures. As an example, some transport phenomena systems have their Hankel singular values which decay very slowly and are not easily approximated by a finite dimensional model. In addition, for some applications, it is valuable to have a structured reduced-order model which reproduces the physical behaviors. That is why, in this thesis, reduced-order models having delay structures have been more specifically considered.

This work has focused, on the one hand, in developing new model reduction techniques for reduced order models having delay structures, and, on the other hand, in finding new applications of model approximation. The major contribution of this thesis covers approximation topics and includes several contributions to the area of model reduction. A special attention was given to the H2 optimal model approximation problem for delayed structured models. For this purpose, some new theoretical and methodological results were derived and successfully applied to both academic and industrial benchmarks. In addition, the last part of this manuscript is dedicated to the analysis of time-delayed systems stability using interpolatory methods. Some theoretical statements as well as an heuristic are developed enabling to estimate in a fast and accurate way the stability charts of those systems.

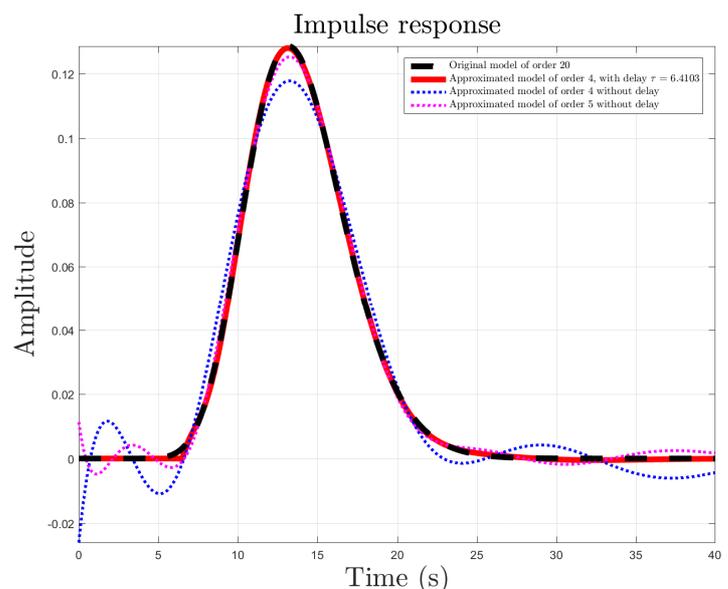


Illustration of the benefit obtained by a delayed model approximation: the delayed model of order 4 (solid red line) well restitues the original model of order 20 (black dashed). Such accuracy cannot be recovered by a delay-free model of order 4 and 5 (dotted lines)

Développer de nouvelles méthodes de communication entre véhicules autonomes pour améliorer leur coopération

Christophe VIEL

Thèse soutenue le 26 septembre 2017

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

Titre de la thèse

**Lois de guidage coopératives et estimateurs d'état pour
système multi-agent avec réduction des communications
par méthode event-triggered**

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Encadrant : Sylvain Bertrand - ONERA

Directeurs de thèse : Michel Kieffer - L2S Centrale-Supelec
Hélène Piet-Lahanier - ONERA

Financement

Délégation Générale de l'Armement (DGA) & ONERA

Défi scientifique

Systemes intelligents

www.onera.fr/pss



Contact : Helene.Piet-Lahanier @ onera.fr

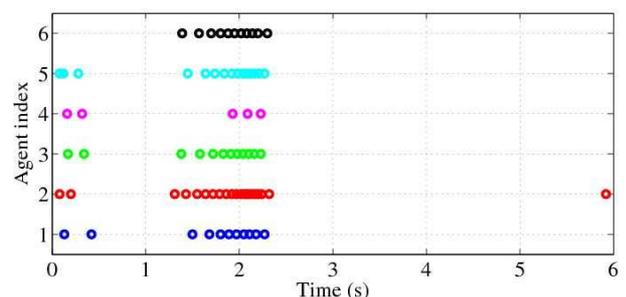
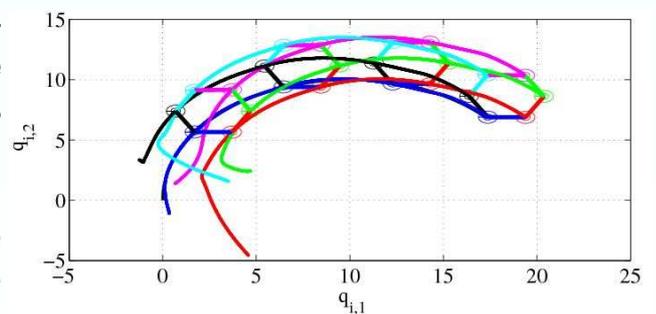
Résumé

Les systèmes multi-agents (MAS) et la commande coopérative ont fait l'objet de nombreuses recherches ces dernières années. Les missions envisagées sont des missions complexes telles l'exploration ou la surveillance de zones, la recherche et le suivi de cibles d'intérêt. Cependant, la coopération, pour être performante, requière des échanges de communication entre les agents. Lorsque ceux-ci sont nombreux, cet échange peut conduire à des saturations du réseau, à l'augmentation des délais de transmission ou l'occurrence de pertes de paquets, d'où l'intérêt de réduire le nombre de communication. Dans les méthodes event-triggered, une communication n'est envoyée que lorsque une condition, basée sur des paramètres choisis et un seuil prédéfini, est remplie. La principale difficulté est de définir une condition qui permettra de limiter les échanges sans dégrader l'exécution de la mission choisie. Dans le cas d'un système distribué, chaque agent doit maintenir une estimation de la valeur de l'état des autres agents afin de remplacer l'absence d'informations due à la réduction de communication. Les lois de commandes et des estimateurs distribués développés dans cette thèse ont permis d'obtenir un consensus ou une formation pour un système multi-agent en réduisant le nombre de communication par méthode event-triggered, tout en prenant en compte la présence de perturbations. Deux aspects principaux ont été étudiés qui sont l'obtention d'un consensus (convergence vers un même état) et la réalisation d'un vol en formation suivant une trajectoire prédéfinie. Pour réduire les communications, un estimateur précis de l'état des agents est proposé, couplé à un estimateur de l'estimation de l'erreur, ainsi qu'un protocole de communication adapté. Différentes structures d'estimateurs sont proposées pour reconstruire les informations manquantes. La condition d'event-triggered distribuée proposée est basée sur l'écart relatif entre les positions et vitesses réelles et désirées des agents, ainsi que l'erreur relative entre la valeur estimée de l'état de l'agent et la valeur réelle. L'effet des perturbations, méconnaissances des dynamiques ou bruit d'état, sur les performances obtenues en termes de qualité du consensus ou de la formation et de la réduction des communications a été analysé. Enfin, les méthodes proposées ont été adaptées pour tenir compte des dégradations de performances dues aux pertes de données et aux délais de communication. Pour les deux types d'approches présentées les conditions de stabilité du MAS ont été obtenues par l'intermédiaire de fonctions de Lyapunov et l'absence de paradoxe de Zeno (conduisant à un échange permanent) a été étudiée.

Suivi de trajectoire par une formation de structure prédéfinie avec réduction des communications.

Haut : Evolution de la trajectoire des agents.

Bas : Evolution des occurrence de communications inter agent durant le déplacement



Développer de nouvelles lois de guidage pour permettre le vol en formation serrée de petits drones

Jan BOLTING

Thèse soutenue le 26 septembre 2017

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

Titre de la thèse

Contributions to Tight Formation Flight Control of Small UAS

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Directeurs de thèse : François Defay - ISAE-SUPAERO

Jean-Marc Biannic - ONERA

Financement

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

Défi scientifique

Systèmes intelligents

www.onera.fr/pss



Université
de Toulouse

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

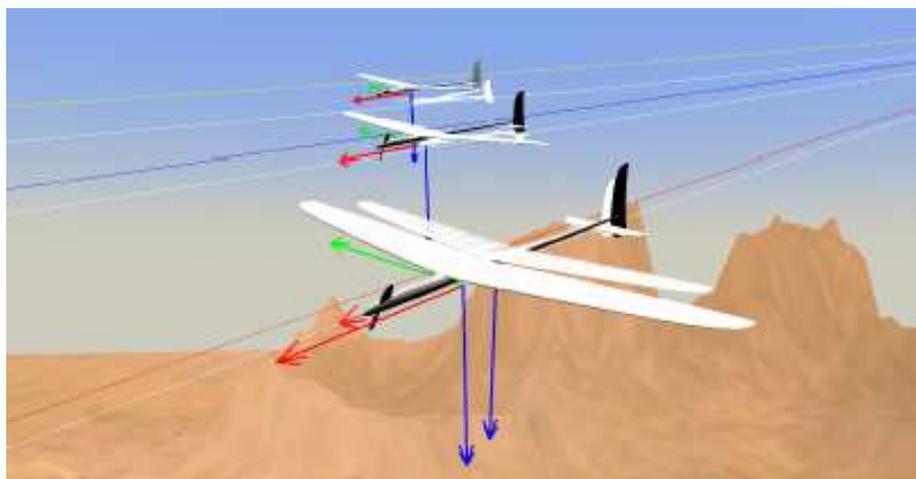
Contact : Jean-Marc.Biannic @ onera.fr

Résumé

Les mini-drones à propulsion électrique sont susceptibles d'avoir une endurance inférieure à celle de drones plus grands, en raison principalement de l'efficacité aérodynamique limitée des petites ailes de faible allongement. La capacité de stockage limitée des batteries embarquées sur les mini-drones réduit également l'endurance totale. L'exploitation des interactions aérodynamiques, inspirée par les oiseaux migratoires, ainsi que le ravitaillement en vol, sont des approches prometteuses pour améliorer l'endurance des mini-drones tout en permettant une distribution de la charge utile.

Dans le contexte du vol en formation classique des avions, on a observé qu'une réduction significative de la consommation d'énergie de l'avion suiveur peut être obtenue dès lors qu'il se place dans les tourbillons de sillage du prédécesseur. Dans notre contexte, cela implique des déplacements très précis du mini-drone suiveur dont la position relative (latérale et verticale) doit rester à une fraction d'envergure du mini-drone prédécesseur. Par ailleurs, la procédure d'amarrage utilisée dans l'échange de batteries entre drones en vol implique des exigences de performance de guidage similaires, voire plus strictes. Ces fortes contraintes de performance s'accompagnent en outre d'exigences de robustesse particulièrement élevées sur les lois de commande en raison des perturbations mal connues induites par les turbulences de sillage.

Les travaux proposés dans cette thèse apportent des contributions théoriques visant à permettre un contrôle précis des trajectoires grâce à des techniques avancées fondées sur un schéma de guidage prédictif discret par modes glissants. On s'intéresse d'autre part à des algorithmes avancés de localisation permettant de caractériser des régions de confiance garanties de la position des membres d'une formation afin d'alimenter des stratégies d'évitement de collisions.



Tight Formation Flight Benchmark

Simuler les conditions d'appontage des hélicoptères pour déterminer les limites d'opérabilité en mer

José Marcio PEREIRA FIGUEIRA

Thèse soutenue le 16 novembre 2017

Ecole doctorale : ED 353 - Mécanique, Physique, Micro et Nanoélectronique -
Marseille

Titre de la thèse

**De l'utilisation des outils de simulation pour l'estimation
des limites d'appontage des hélicoptères**

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Encadrant : Armin Taghizad - ONERA

Directeur de thèse : Malek Abid - Université d'Aix-Marseille

Financement

République fédérative du Brésil

Défi scientifique

Systemes intelligents

www.onera.fr/pss



Contact : Armin.Taghizad @ onera.fr

De l'utilisation des outils de simulation pour l'estimation des limites d'appontage des hélicoptères

Résumé

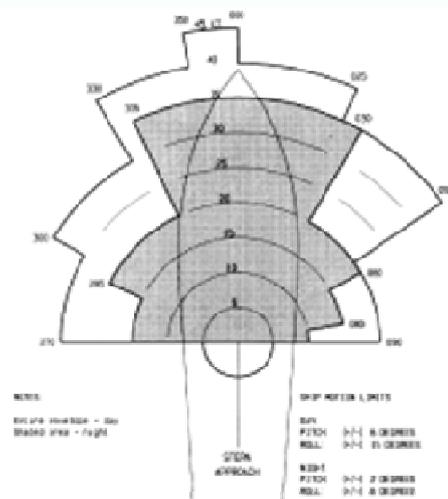
Les limites du domaine de vol d'un hélicoptère sont habituellement déterminées dans un environnement terrestre. Toutefois, ces limites ne sont pas suffisantes dans les opérations à bord des navires en raison de facteurs tels que le sillage aérodynamique du navire et le mouvement du pont. A ce jour il n'existe pas de méthodologie approuvée, soit analytique soit simulée, pour analyser les problèmes de compatibilité hélicoptère-navire.

L'objet du présent travail est d'utiliser les modèles de simulation existants à l'ONERA pour développer une méthodologie hors ligne de détermination des SHOLs (Ship Helicopter Operation Limits). L'approche a consisté à intégrer les modèles existants dans un environnement de simulations hors ligne et les compléter par un modèle de pilote virtuel, un module de prédiction de la charge de pilotage et un module d'analyse et d'acceptation des conditions d'appontage.

Deux campagnes de simulation pilotées ont été effectuées sur le simulateur *PycsHel* afin de fournir les données nécessaires pour les développements de cette étude. Sur la base de ces résultats, une technique de prédiction de la charge de travail de pilotage a été développée et validée. Par la suite, un modèle de pilote virtuel capable d'exécuter la tâche d'appontage dans sa complexité a été mis au point. Ce modèle extrait de la littérature a subi d'importantes améliorations au cours de cette thèse afin d'assurer la stabilité et le guidage efficace de l'appareil en environnement perturbé du navire. Enfin, un ensemble de critères objectifs liés aux performances propres de l'hélicoptère ont été développés et se sont ajoutés aux critères subjectifs liés à la charge de travail. Un code de simulation hors ligne, appelé *ShoSim*, a été développé afin de réaliser des scénarios d'appontage avec le pilote virtuel et vérifier l'acceptabilité des conditions de vol selon les critères subjectifs et objectifs. Les conditions testées au cours des simulations pilotées ont été réévaluées par cet outil. Le mémoire de thèse décrit l'ensemble des développements effectués au cours de ce travail et présente les résultats des comparaisons avec les expérimentations pour la validation de la méthode.



a-Manœuvre d'appontage sur navire



b-Exemple de SHOL

Fournir aux roboticiens des outils automatiques pour l'identification de modèles dynamiques de bras robotisés industriels

Mathieu BRUNOT

Thèse soutenue le 30 novembre 2017

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

Titre de la thèse

Identification of rigid industrial robots - A system
identification perspective

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Directeurs de thèse : Francisco-Javier Carrillo - ENIT-LGP
Alexandre Janot - ONERA

Financement

Région Occitanie & ONERA

Défi scientifique

Systèmes intelligents

www.onera.fr/pss



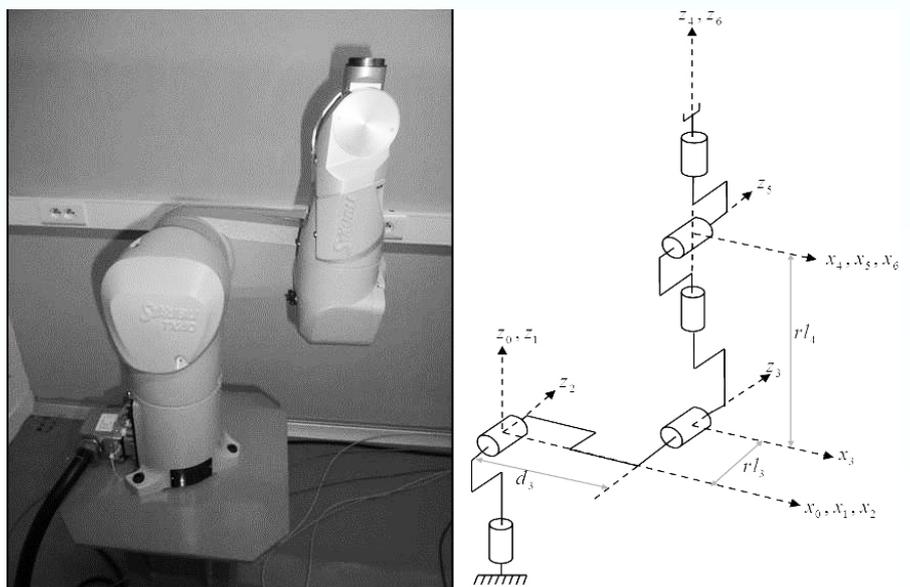
Université
de Toulouse



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

Résumé

In modern manufacturing, industrial robots are essential components that allow saving cost, increase quality and productivity for instance. To achieve such goals, high accuracy and speed are simultaneously required. The design of control laws compliant with such requirements demands high-fidelity mathematical models of those robots. For this purpose, dynamic models are built from experimental data. The main objective of this thesis is thus to provide robotic engineers with automatic tools for identifying dynamic models of industrial robot arms. To achieve this aim, a comparative analysis of the existing methods dealing with robot identification is made. That allows discerning the advantages and the limitations of each method. From those observations, contributions are presented on three axes. The study firstly focuses on the estimation of the joint velocities and accelerations from the measured position, which is required for the model construction. The usual method is based on a home-made prefiltering process that needs a reliable knowledge of the system's bandwidths, whereas the system is still unknown. To overcome this dilemma, we propose a method able to estimate the joint derivatives automatically, without any setting from the user. The second axis is dedicated to the identification of the controller. For the vast majority of the method its knowledge is indeed required. Unfortunately, for copyright reasons, that is not always available to the user. To deal with this issue, two methods are suggested. Their basic philosophy is to identify the control law in a first step before identifying the dynamic model of the robot in a second one. The first method consists in identifying the control law in a parametric way, whereas the second one relies on a non-parametric identification. Finally, the third axis deals with the home-made setting of the decimate filter. The identification of the noise filter is introduced similarly to methods developed in the system identification community. This allows estimating automatically the dynamic parameters with low covariance and it brings some information about the noise circulation through the closed-loop system. All the proposed methodologies are validated on an industrial robot with 6 degrees of freedom. Perspectives are outlined for future developments on robotic systems identification and other complex problems.



Link frames of the TX40 Stäubli robot

Développer de nouvelles lois de commandes robustes aux pannes d'actionneurs pour le contrôle d'attitude de satellites agiles

Distinction

Prix Amelia Earhart du
Zonta International
(2016)

Sélection pour le
programme « Fly your
Thesis! » de l'ESA
(2017)

Hélène EVAIN

Thèse soutenue le 18 décembre 2017
Ecole doctorale : ED 309 (EDSYS) - Systèmes - Toulouse

Titre de la thèse

Nouvelles configurations de grappes d'actionneurs gyroskopiques pour le contrôle de satellites agiles

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Directeurs de thèse : Daniel Alazard - ISAE-SUPAERO
Mathieu Rognant - ONERA

Financement

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) & ONERA

Défi scientifique

Systèmes intelligents

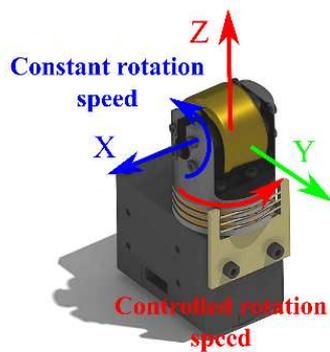
www.onera.fr/pss



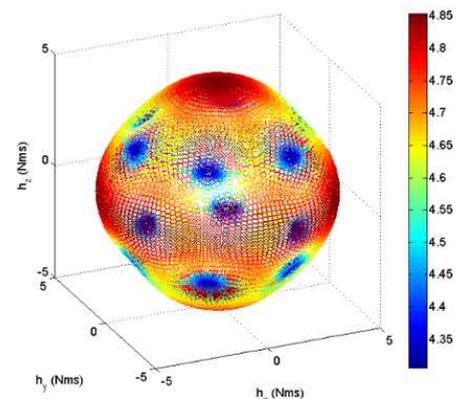
Contact : Mathieu.Rognant@onera.fr

Résumé

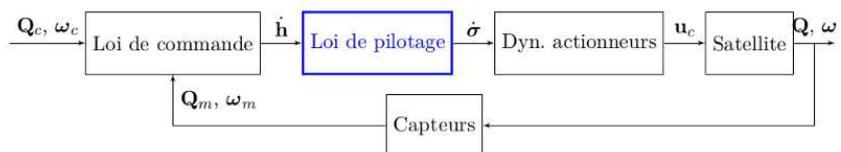
Dans cette thèse, le problème du contrôle d'attitude de satellites agiles à l'aide de grappes d'actionneurs gyroscopiques (AGs) est considéré et plus particulièrement son application au contrôle de micro/nanosatellites (10-100 kg). Afin d'analyser les configurations de grappe les plus pertinentes pour les nanosatellites, des outils d'analyse topologique sont développés. Après une comparaison des différentes configurations, le choix se porte sur une grappe pyramidale de six actionneurs gyroscopiques. Des analyses plus approfondies de cette grappe (avec et sans cas de panne d'actionneurs gyroscopiques) permettent de déduire des contraintes que la loi de pilotage doit vérifier pour être adaptée à ce système, en particulier pour le passage de singularités. Le cahier des charges initialement défini pour la thèse est alors étoffé et précisé. Pour y répondre, après analyse de la littérature, une nouvelle structure de loi de pilotage ainsi qu'une formulation différente des équations cinématiques sont développées. Cette structure est basée sur l'algorithme du filtre de Kalman étendu. Elle a pour avantages de répondre aux exigences en termes de calcul temps réel au bord des satellites, de flexibilité sur la gestion des contraintes et de facilité d'adaptation en cas de pannes. En outre, une procédure de génération de boucle de commande, englobant la loi de pilotage et un contrôleur robuste du système, est proposée. La généralisation de cette boucle de commande est illustrée sur des bras manipulateurs à base fixe et spatiaux. En parallèle, l'étude du passage des singularités internes intraversables dans les grappes d'actionneurs gyroscopiques mène à une nouvelle stratégie d'évitement de ces singularités. Elle consiste à insérer une connaissance de la topologie du système pour améliorer la précision dans le pilotage. Des simulations sur des modèles de satellites représentatifs illustrent les résultats de la loi de pilotage dans différents cas de panne. La grappe d'actionneurs et la boucle de commande développées ont été testées avec succès en microgravité dans le cadre du programme Fly Your Thesis! 2017 de l'ESA.



(a) AG conçu pour les nanosatellites



(b) Capacités en moment cinétique d'une grappe pyramidale de 6 AGs



(c) Schéma-bloc du contrôle d'attitude d'un satellite par une grappe d'AGs

Illustration d'un Actionneur Gyroscopique (a), des capacités d'une grappe pyramidale de 6 Actionneurs (b) et de l'architecture de commande associée (c)

Distinctions

Best Paper Award
Conférence ERTSS
(2016)

Prix doctorant ONERA
(2017)

Quentin PERRET

Thèse soutenue le 25 avril 2017

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

Titre de la thèse

Exécution prédictible sur processeurs pluri-cœurs

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Encadrants : Pascal Maurère & Benoît Triquet - Airbus Opérations SAS

Directeurs de thèse : Claire Pagetti & Eric Noulard - ONERA

Financement

CIFRE Airbus



Université
de Toulouse

AIRBUS



ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

Défi scientifique

Systèmes intelligents

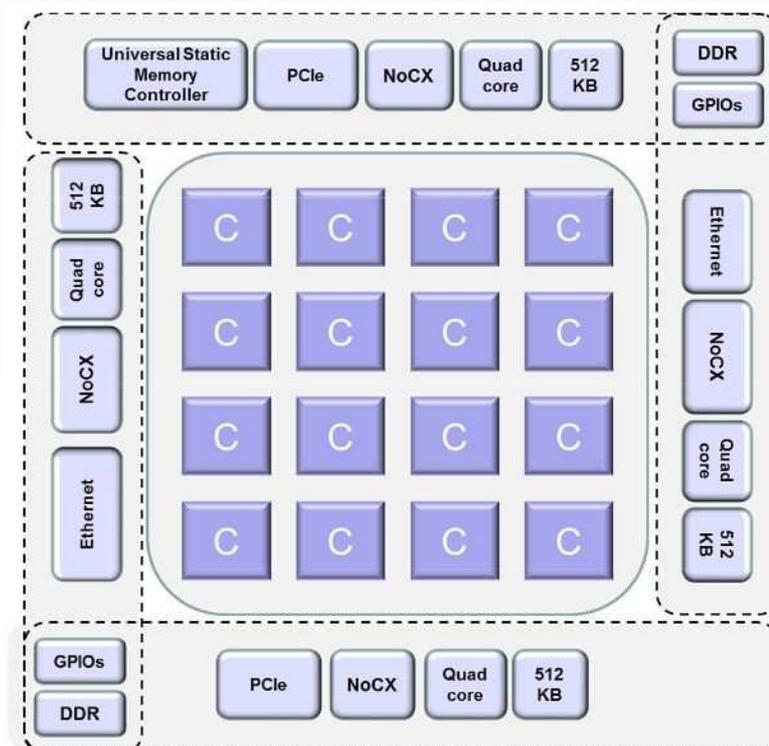
www.onera.fr/pss

Contact : Claire.Pagetti @ onera.fr

Exécution prédictible sur processeurs pluri-cœurs

Résumé

Les besoins en puissance de calcul à bord des avions augmentent régulièrement depuis 25 ans. Pour accompagner ces évolutions, les avionneurs doivent concevoir des calculateurs toujours plus puissants devant héberger des applications toujours plus massives et nombreuses. L'émergence de technologies prometteuses telles que les processeurs pluri-cœurs semble ainsi être une bonne opportunité pour répondre aux attentes mais présente également de nouveaux défis pour l'exécution prédictible de logiciel. Dans ce contexte, nous proposons un atelier d'intégration de bout en bout qui permet le partage et l'exploitation de la puissance de calcul parallèle d'une cible pluri-cœurs avec des applications contraintes, réalisant ainsi un premier pas vers la conception de calculateurs avioniques à base de processeurs pluri-cœurs. Plus précisément, nous proposons une analyse détaillée d'un processeur « sur étagère », le Kalray MPPA-256, et identifions certaines de ses ressources partagées comme étant les points de contention réduisant la prédictibilité lors d'exécutions parallèles. Pour résoudre ce problème, nous définissons formellement un modèle d'exécution isolant temporellement les applications concurrentes. Son implantation est réalisée au sein d'un hyperviseur qui garantit le respect des comportements attendus en ligne. Nous formalisons une notion de partition comme l'association d'une application avec un budget de ressources matérielles. Considérant des applications industrielles de grande taille, nous calculons automatiquement l'ordonnancement et le placement d'une application sur les ressources de sa partition en utilisant la programmation par contraintes.



architecture du Kalray MPPA

Développer de nouvelles méthodes d'analyse des systèmes temps réel complexes pour mieux en estimer les temps d'exécution

Fabrice GUET

Thèse soutenue le 13 décembre 2017

Ecole doctorale : ED 475 (MITT) - Mathématiques Informatique

Télécommunications de Toulouse

Titre de la thèse

Etude de l'application de la théorie des valeurs extrêmes
pour l'estimation fiable et robuste du pire temps d'exécution
probabiliste

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Encadrant : Luca Santinelli - ONERA

Directeur de thèse : Jérôme Morio - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

Systèmes intelligents

www.onera.fr/pss



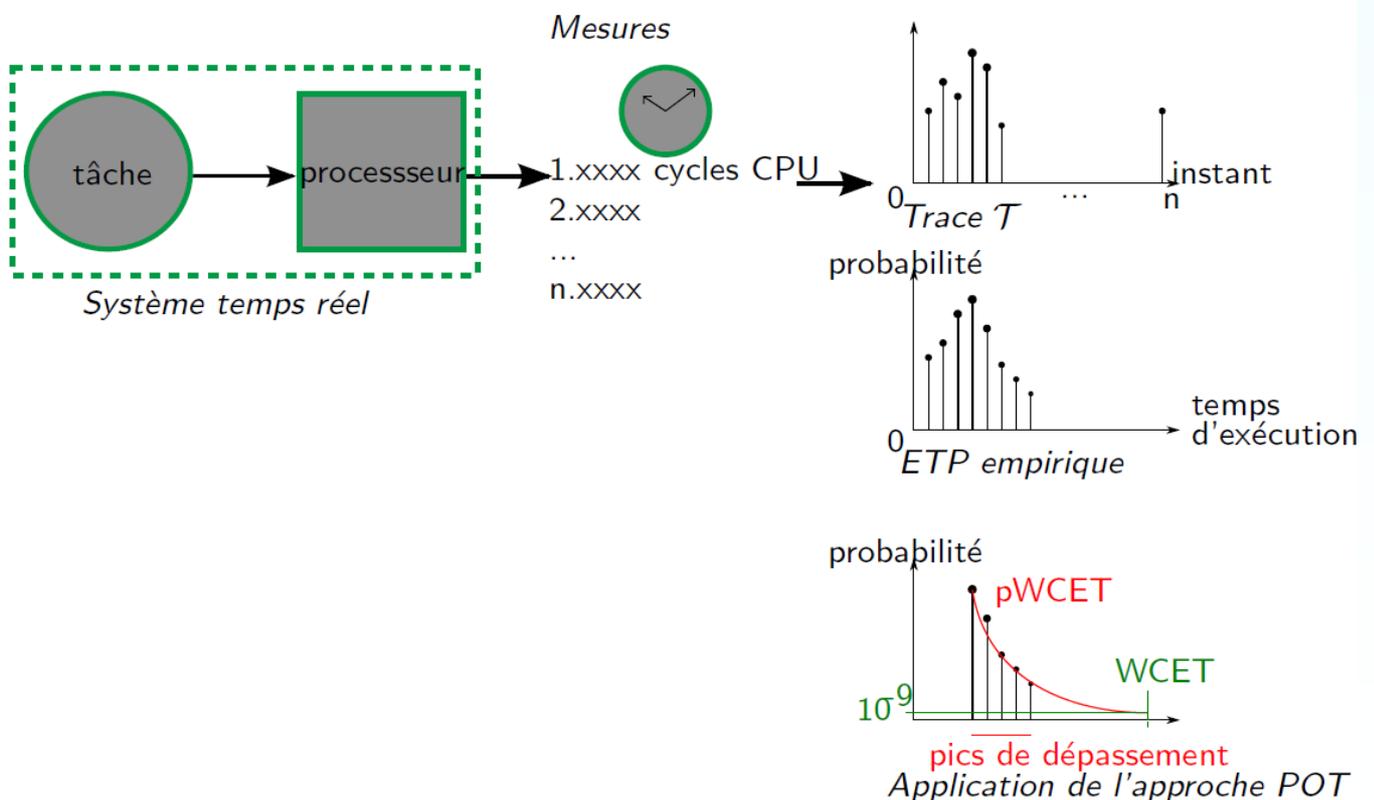
Université
de Toulouse



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

Résumé

Dans les systèmes informatiques temps réel, les tâches logicielles sont contraintes par le temps. Pour garantir la sûreté du système critique contrôlé par le système temps réel, il est primordial d'estimer de manière sûre le pire temps d'exécution de chaque tâche. Les performances des processeurs actuels du commerce permettent de réduire en moyenne le temps d'exécution des tâches, mais la complexité des composants d'optimisation de la plateforme rendent difficile l'estimation du pire temps d'exécution. Il existe différentes approches d'estimation du pire temps d'exécution, souvent ségréguées et difficilement généralisables ou au prix de modèles coûteux. Les approches probabilistes basées mesures existantes sont vues comme étant rapides et simples à mettre en œuvre, mais souffrent d'un manque de systématisme et de confiance dans les estimations qu'elles fournissent. Les travaux de cette thèse étudient les conditions d'application de la théorie des valeurs extrêmes à une suite de mesures de temps d'exécution pour l'estimation du pire temps d'exécution probabiliste, et ont été implémentées dans l'outil \diagxtrm. Les capacités et les limites de l'outil ont été étudiées grâce à diverses suites de mesures issues de systèmes temps réel différents. Enfin, des méthodes sont proposées pour déterminer les conditions de mesures propices à l'application de la théorie des valeurs extrêmes et donner davantage de confiance dans les estimations.



Estimation du pire temps d'exécution probabiliste par l'approche des pics de dépassement (POT)

Développer de nouvelles méthodes d'analyse pour assurer la sûreté de fonctionnement des systèmes embarqués critiques

Kevin DELMAS

Thèse soutenue le 19 décembre 2017

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

Titre de la thèse

Synthèse automatique d'architectures tolérantes aux fautes

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Directeurs de thèse : Claire Pagetti & Rémi Delmas - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

Systemes intelligents

www.onera.fr/pss



Université
de Toulouse



Contact : [Kevin.Delmas @ onera.fr](mailto:Kevin.Delmas@onera.fr)

Résumé

La sûreté de fonctionnement occupe une place prépondérante dans la conception de systèmes critiques, puisqu'un dysfonctionnement peut être dangereux pour les utilisateurs ou l'environnement. Dans certains domaines, comme l'aéronautique, les concepteurs doivent également démontrer aux autorités de certification que les risques encourus sont acceptables. Des standards, comme l'ARP4754 dans le domaine aéronautique, décrivent des processus de développement intégrant la sûreté de fonctionnement et facilitant les activités de certification. La phase de définition d'une architecture est une étape importante de ces recommandations. Le concepteur doit définir une architecture contenant un ensemble de mécanismes de sûreté permettant de mitiger ou tout du moins limiter la probabilité d'occurrence des risques identifiés. L'objectif de ce travail est de développer une méthode automatique et générique de synthèse d'architecture assurant formellement le respect d'exigences de sûreté. Cette activité de synthèse est alors formalisée comme un problème d'exploration de l'espace des architectures c'est-à-dire trouver un candidat appartenant à un espace de recherche fini, respectant les exigences de sûreté. Ainsi nous proposons dans ce manuscrit un processus de résolution complet et correct des problèmes d'exploration basé sur l'utilisation des solveurs SMT. Les contributions principales sont :

- la formalisation de la synthèse comme un problème de Satisfiabilité Modulo Théorie (SMT) afin d'utiliser les solveurs existants pour générer automatiquement une solution assurant formellement le respect des exigences ;
- le développement de méthodes d'analyse spécialement conçues pour évaluer efficacement la conformité d'une architecture vis-à-vis d'un ensemble d'exigences ;
- la définition d'un langage KCR permettant de formuler les problèmes d'exploration et l'implantation des méthodes de résolution présentées dans ce travail au sein de l'outil KCR Analyser.

L'approche est évaluée sur un ensemble de cas d'étude et les résultats montrent que la méthode de résolution basée sur SMT permet de résoudre plus rapidement et avec plus de garanties les problèmes d'exploration considérés par rapport aux approches existantes.



Augmenter l'autonomie des drones à voilure fixe en les dotant de moyens de détection des courants ascendants

Martin STOLLE

Thèse soutenue le 03 avril 2017

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

Titre de la thèse

**Towards Vision-Based Autonomous Cross-Country Soaring
for UAVs**

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Directeurs de thèse : Carsten Döll & Yoko Watanabe - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

Systèmes intelligents

www.onera.fr/pss



Université
de Toulouse



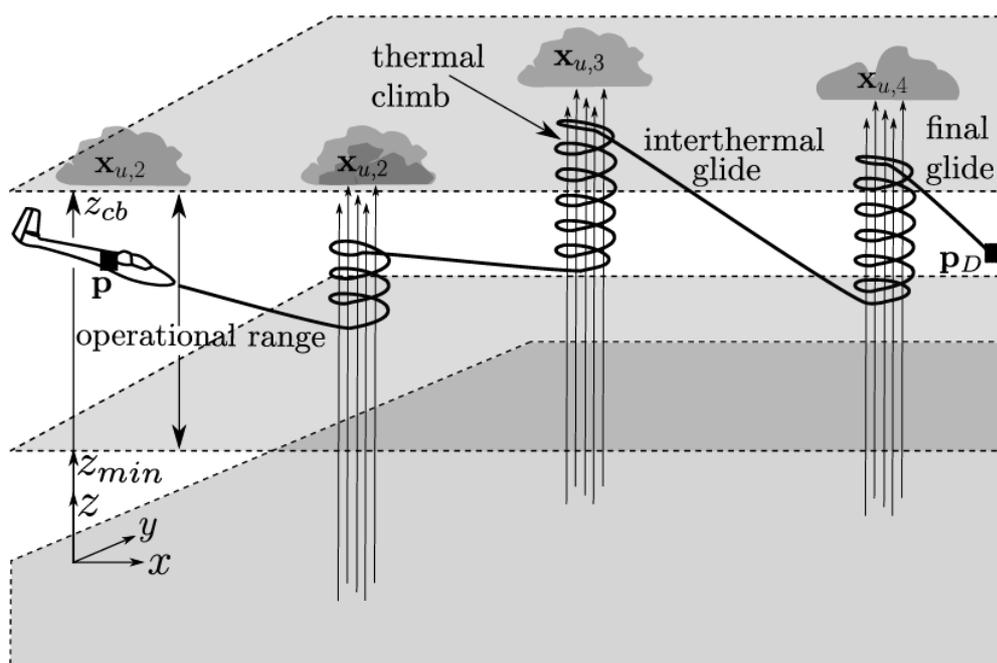
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Contact : [Carsten.Doll @ onera.fr](mailto:Carsten.Doll@onera.fr)

Résumé

Small fixed-wing Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) provide utility to research, military, and industrial sectors at comparably reasonable cost, but still suffer from both limited operational ranges and payload capacities. Thermal soaring flight for UAVs offers a significant potential to reduce the energy consumption. However, without remote sensing of updrafts, a glider UAV can only benefit from an updraft when encountering it by chance. In this thesis, a new framework for autonomous cross-country soaring is elaborated, enabling a glider UAV to visually localize sub-cumulus thermal updrafts and to efficiently harvest energy from them.

Relying on the Unscented Kalman Filter, a monocular vision-based method is established, for remotely estimating sub-cumulus updraft parameters. Its capability of providing convergent and consistent state estimates has been assessed by Monte Carlo Simulations. Model uncertainties, image processing noise, and poor observer trajectories can degrade the estimated updraft parameters. Therefore, a second focus of this thesis is the design of a robust probabilistic path planner for map-based autonomous cross-country soaring. The proposed path planner balances between the flight time and the outlanding risk by taking into account the estimation uncertainties in the decision making process. It is shown that the computational load of the suggested path planner is implementable on a low-cost computer platform. The suggested updraft estimation and path planning algorithms are jointly assessed in a 6 Degrees Of Freedom flight simulator, highlighting significant performance improvements with respect to state of the art approaches in autonomous cross-country soaring.



Cross-Country flight in cumulus soaring conditions

Développer de nouvelles méthodes pour améliorer les performances de navigation des robots autonomes

Hélène ROGEMAN

Thèse soutenue le 13 décembre 2017

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

Titre de la thèse

**Amélioration de performance de la navigation basée vision
pour la robotique autonome : une approche par couplage
vision/commande**

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Encadrant : Julien Marzat - ONERA

Directeur de thèse : Guy Le Besnerais - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

Systemes intelligents

www.onera.fr/pss

université
PARIS-SACLAY

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Contact : Julien.Marzat @ onera.fr

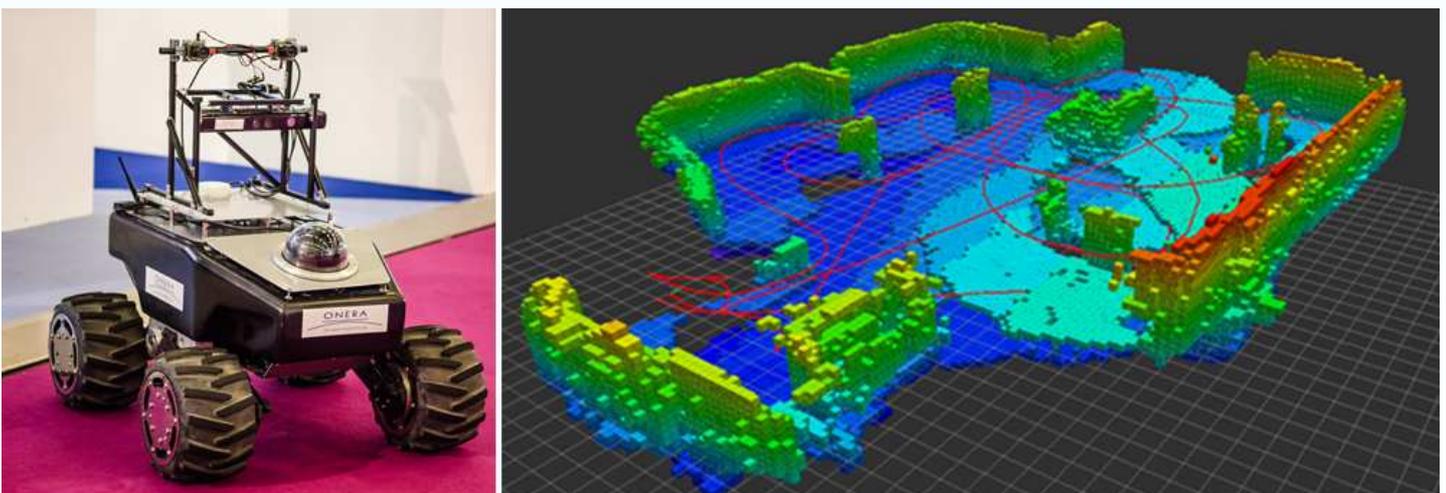
Résumé

L'objectif de cette thèse est de réaliser des missions diverses de navigation autonome en environnement intérieur et encombré avec des robots terrestres. La perception de l'environnement est assurée par un banc stéréo embarqué sur le robot et permet entre autres de calculer la localisation de l'engin grâce à un algorithme d'odométrie visuelle. Mais quand la qualité de la scène perçue par les caméras est faible, la localisation visuelle ne peut pas être calculée de façon précise.

Deux solutions sont proposées pour remédier à ce problème. La première solution est l'utilisation d'une méthode de fusion de données multi-capteurs pour obtenir un calcul robuste de la localisation. La deuxième solution est la prédiction de la qualité de scène future afin d'adapter la trajectoire du robot pour s'assurer que la localisation reste précise. Dans les deux cas, la boucle de commande est basée sur l'utilisation de la commande prédictive afin de prendre en compte les différents objectifs de la mission : ralliement de points, exploration, évitement d'obstacles.

Une deuxième problématique étudiée est la navigation par points de passage avec évitement d'obstacles mobiles à partir des informations visuelles uniquement. Les obstacles mobiles sont détectés dans les images puis leur position et vitesse sont estimées afin de prédire leur trajectoire future et ainsi de pouvoir anticiper leur déplacement dans la stratégie de commande.

De nombreuses expériences ont été réalisées en situation réelle et ont permis de montrer l'efficacité des solutions proposées.



Modèle 3D d'une zone initialement inconnue reconstruit à l'aide des algorithmes de perception basée vision et d'exploration embarqués sur robot mobile

Utiliser une combinaison originale de réseaux de neurone pour améliorer la reconnaissance visuelle pour les robots mobiles

Joris GUERRY

Thèse soutenue le 20 novembre 2017

Ecole doctorale : ED 447 (EDX) - Polytechnique

Titre de la thèse

Reconnaissance visuelle robuste par réseaux de neurones dans des scénarios d'exploration robotique

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Encadrant : Bertrand Le Saux - ONERA

Directeur de thèse : David Filliat - ENSTA ParisTech

Financement

ONERA

Défi scientifique

Perception artificielle
multimodale

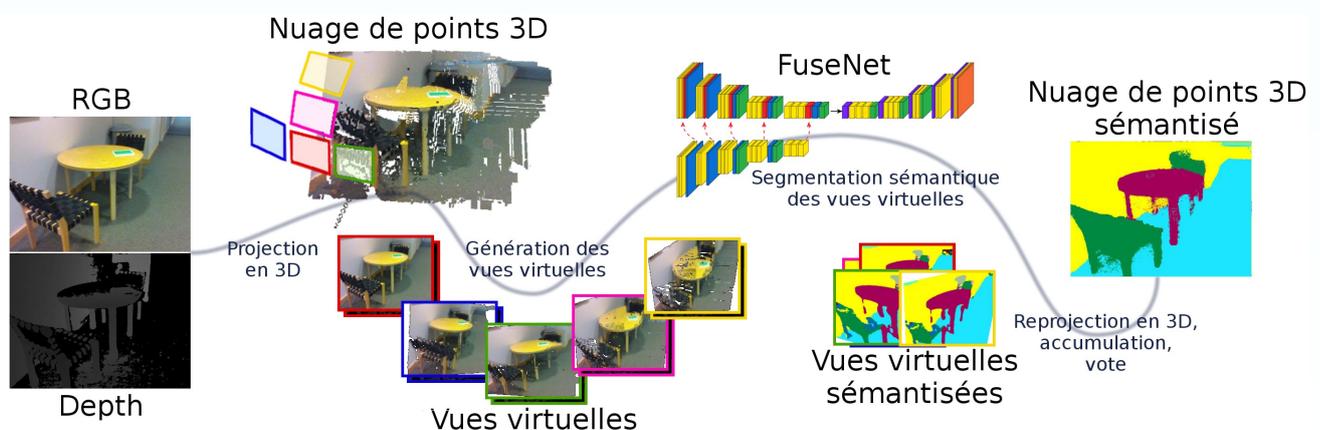
www.onera.fr/pss



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

Résumé

L'objectif principal ce travail de thèse est la reconnaissance visuelle pour un robot mobile dans des conditions difficiles. En particulier nous nous intéressons aux réseaux de neurones qui présentent aujourd'hui les meilleures performances en vision par ordinateur. Nous avons étudié le principe de sélection de méthodes pour la classification d'images 2D en utilisant un réseau de neurones sélecteur pour choisir le meilleur classifieur disponible étant donnée la situation observée. Cette stratégie fonctionne lorsque les données peuvent être facilement partitionnées vis-à-vis des classifieurs disponibles, ce qui est le cas quand des modalités complémentaires sont utilisées. Nous avons donc utilisé des données RGB-D (2.5D) en particulier appliquées à la détection de personnes. Nous proposons une combinaison de réseaux de neurones détecteurs indépendants propres à chaque modalité (couleur & carte de profondeur) basés sur une même architecture (le Faster RCNN). Nous partageons des résultats intermédiaires des détecteurs pour leur permettre de se compléter et d'améliorer la performance globale en situation difficile (perte de luminosité ou bruit d'acquisition de la carte de profondeur). Nous établissons un nouvel état de l'art dans le domaine et proposons un jeu de données plus complexe et plus riche à la communauté (ONERA.ROOM). Enfin, nous avons fait usage de l'information 3D contenue dans les images RGB-D au travers d'une méthode multi-vue. Nous avons défini une stratégie de génération de vues virtuelles 2D cohérentes avec la structure 3D. Pour une tâche de segmentation sémantique, cette approche permet d'augmenter artificiellement les données d'entraînement pour chaque image RGB-D et d'accumuler différentes prédictions lors du test. Nous obtenons de nouveaux résultats de référence sur les jeux de données SUNRGBD et NYUDv2. Ces travaux de thèse nous ont permis d'aborder de façon originale des données robotiques 2D, 2.5D et 3D avec des réseaux de neurones. Que ce soit pour la classification, la détection et la segmentation sémantique, nous avons non seulement validé nos approches sur des jeux de données difficiles, mais également amené l'état de l'art à un nouveau niveau de performance.



SnapNet-R : Segmentation sémantique de données RGB-D par réseau de neurones convolutif multi-vue

Développer de nouveaux traitements de fusion de données satellitaires pour mieux connaître le milieu forestier à l'échelle planétaire

Guillaume BRIGOT

Thèse soutenue le 20 décembre 2017

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

Titre de la thèse

Prédire la structure des forêts à partir d'images PolInSAR par apprentissage de descripteurs LIDAR

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Directeurs de thèse : Marc Simard - Jet Propulsion Laboratory
Elise Koeniguer - ONERA

Financement

TOTAL & ONERA

Défi scientifique

Perception artificielle
multimodale

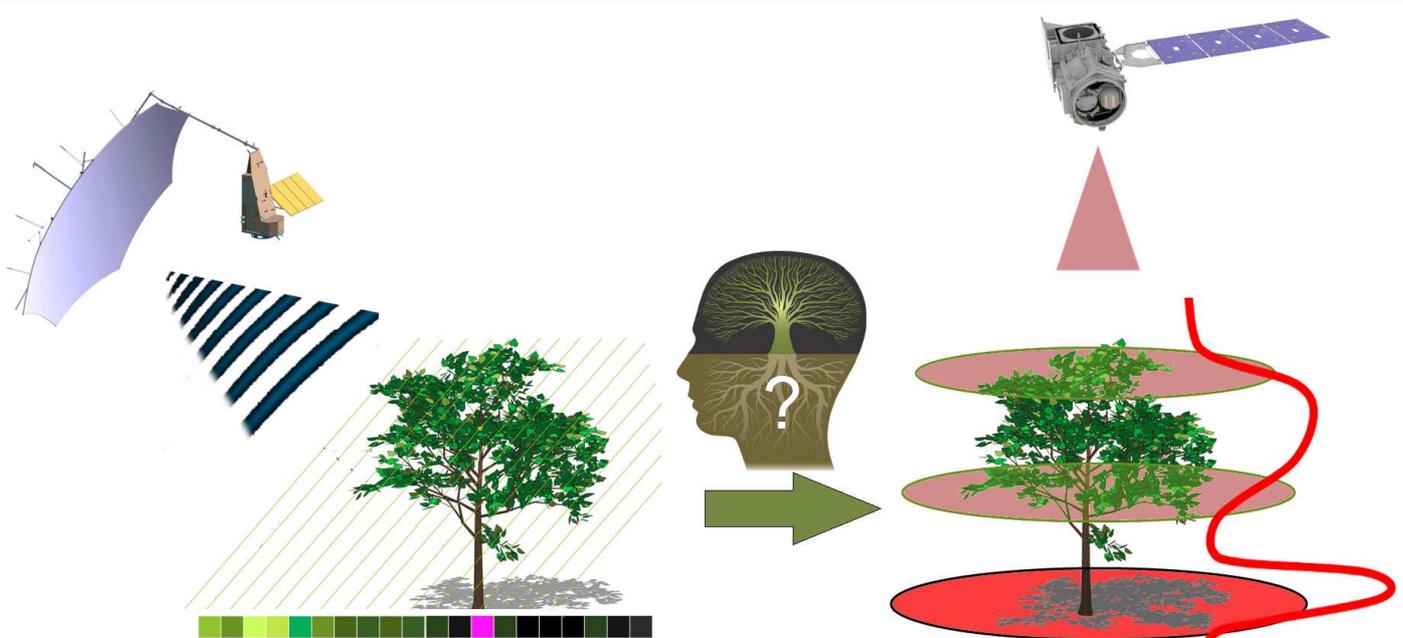
www.onera.fr/pss



Contact : [Elise.Koeniguer @ onera.fr](mailto:Elise.Koeniguer@onera.fr)

Résumé

Ce travail de thèse a pour objectif la prédiction des paramètres structurels des forêts à grande échelle, grâce aux images de télédétection. La démarche consiste à étendre la précision des données LIDAR spatiales, en les utilisant là où elles sont disponibles, en tant que donnée d'apprentissage pour les images radar à synthèse d'ouverture polarimétriques et interférométrique (PolInSAR). A partir de l'analyse des propriétés géométriques de la forme de cohérence PolInSAR, nous avons proposé un ensemble de paramètres susceptibles d'avoir une corrélation forte avec les profils de densité LIDAR en milieu forestier. Cette description a été utilisée comme données d'entrée de techniques SVM, de réseaux de neurones, et de forêts aléatoires, afin d'apprendre un ensemble de descripteurs de forêts issus du LIDAR : la hauteur totale, le type de profil vertical, et la couverture horizontale. L'application de ces techniques à des données réelles aéroportées de forêts boréales en Suède et au Canada, et l'évaluation de leur précision, démontrent la pertinence de la méthode. Celle-ci préfigure les traitements qui pourront être appliqués à l'échelle planétaire lors des futures missions satellites dédiées à la forêt : Biomass, Tandem-L et NiSAR.



Mettre en œuvre une démarche de machine learning permet de faire le lien entre une image radar, et un profil LIDAR pour la cartographie de paramètres 3D de forêt

Savoir détecter les objets mobiles présents autour des drones pour améliorer leurs capacités de navigation autonome

Maxime DEROME

Thèse soutenue le 22 juin 2017

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

Titre de la thèse

**Vision stéréoscopique temps-réel pour la navigation
autonome d'un robot en environnement dynamique**

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Encadrants : Aurélien Plyer & Martial Sanfourche - ONERA

Directeur de thèse : Guy Le Besnerais - ONERA

Financement

Délégation Générale de l'Armement (DGA) & ONERA

Défi scientifique

Perception artificielle
multimodale

www.onera.fr/pss



université
PARIS-SACLAY



Contact : [Guy.Le_Besnerais @ onera.fr](mailto:Guy.Le_Besnerais@onera.fr)

Résumé

L'objectif de cette thèse est de concevoir un système de perception stéréoscopique embarqué, permettant une navigation robotique autonome en environnement dynamique (i.e. comportant des objets mobiles). Plusieurs contraintes fortes liées à ce contexte ont été prises en compte dans les choix algorithmiques : approche purement géométrique pour rester générique par rapport au type d'objet ; méthodes d'estimation dense pour maximiser la couverture du champ visuel ; sélection d'algorithmes rapides et à faible latence pour viser une exécution embarquée sur plate-forme robotique. La démarche présentée dans ce manuscrit et les contributions qui sont faites sont les suivantes :

Dans un premier temps, nous étudions plusieurs algorithmes d'appariement stéréo qui permettent d'estimer, par triangulation, une carte de profondeur. Nous mettons en évidence un algorithme qui ne figure pas sur les benchmarks classiques, mais offre un excellent compromis précision/temps de calcul. Dans un deuxième temps, nous souhaitons percevoir les objets mobiles et estimer leur mouvement. Pour cela nous calculons le déplacement du banc stéréo par odométrie visuelle pour pouvoir isoler dans le mouvement apparent 2D ou 3D la part induite par le mouvement propre à chaque objet. Partant du constat que seul l'algorithme d'estimation du flot optique FOLKI permet un calcul en temps-réel, nous proposons plusieurs modifications de celui-ci qui améliorent légèrement ses performances au prix d'une augmentation de son temps de calcul. Concernant le flot de scène, aucun algorithme existant ne permet d'atteindre la vitesse d'exécution souhaitée, nous proposons donc une nouvelle approche découplant structure et mouvement. A notre connaissance, il s'agit du seul algorithme publié de calcul du flot de scène capable de s'exécuter à cadence vidéo sur des images représentatives. Dans un troisième temps, nous présentons différents modèles statistiques et différents résidus sur lesquels fonder une détection d'objets mobiles par seuillage. Nous proposons une modélisation statistique rigoureuse qui tient compte de toutes les incertitudes d'estimation, notamment celles de l'odométrie visuelle, ce qui n'avait pas été fait à notre connaissance dans ce contexte.. Enfin, pour valider expérimentalement notre système de perception en embarqué sur une plate-forme robotique, nous implémentons nos codes sous ROS et certains codes en CUDA pour une accélération sur GPU.

Détection stéréoscopique temps-réel d'objets mobiles. En haut : carte de résidus issue d'une analyse des mouvements apparents (flot optique) ; en bas : résultat du seuillage de la carte de résidu, sous forme de boîtes englobantes autour de chaque objet mobile détecté.



Habilitations à Diriger des Recherches soutenues en 2017

CHEMOUIL David - Etudes formelles en modélisation du besoin et spécification légère	164
PIOT Estelle - Travaux sur l'analyse de stabilité des écoulements et la propagation dans les conduits avec impédance acoustique en paroi	166
CHEDEVERGNE François - Exemples d'approches pour la modélisation d'écoulements complexes : oscillations de poussée, jet synthétique par plasma et écoulements de paroi	168
JANOT Alexandre - On the identification of continuous-time inverse dynamic model of electromechanical systems operating in closed loop with an instrumental variable approach: application to industrial robots	170
MUSSOT Christian - Contributions aux méthodes numériques pour le filtrage et la recherche opérationnelle	172
MICHAU Vincent - Maîtrise du Front d'Onde.....	174
BUR Reynald - Dynamique et contrôle de l'interaction onde de choc / couche limite	176
DANDOIS Julien - Contrôle actif des écoulements en basse vitesse et en transsonique	178
PERNET Sébastien - Quelques méthodes performantes pour la simulation des phénomènes de propagation et de diffraction d'ondes.....	180

David CHEMOUIL

HDR soutenue le 20 janvier 2017
Université Toulouse 3 Paul Sabatier
Spécialité : Informatique

Études formelles en modélisation du besoin et spécification légère

Composition du jury

Jean-Paul BODEVEIX
José FIADEIRO
Régine LALEAU
Dominique MÉRY
Yamine AÏT-AMEUR
Antoine BEUGNARD
Patrick HEYMANS
Virginie WIELS

Professeur à l'Université Paul Sabatier, Toulouse
Professeur au Royal Holloway, université de Londres
Professeure à l'Université Paris-Est Créteil
Professeur à l'Université de Lorraine, Nancy
Professeur à l'ENSEEIH, Toulouse
Professeur à Telecom Bretagne, Brest
Professeur à l'Université de Namur
HDR, ONERA, Toulouse



Université
de Toulouse



Résumé

Ces travaux se concentrent sur la correction en termes de fonctionnalité et sûreté des systèmes aéronautiques et spatiaux (essentiellement des systèmes logiciels ou avioniques). La littérature scientifique abonde d'études montrant que l'essentiel des coûts de développement et d'opération d'un système logiciel critique (dont la sûreté doit être garantie avec un grand taux de confiance) peut être attribué à des lacunes ou erreurs dans la prise en compte et dans l'expression juste des besoins auxquels le système doit répondre. En génie logiciel il s'agit là d'activités dites d'analyse, qui s'intéressent à ce que doit faire le système (le problème), par opposition aux activités de conception, qui s'intéressent à l'établissement de la solution. Deux axes de recherches ont été suivis :

- l'ingénierie du besoin cherche à comprendre, analyser un problème ;
- par la suite, la spécification formelle cherche à poser le dit problème, une fois analysé, d'une manière appropriée pour des évaluations outillées.

Le premier axe a consisté à proposer un nouveau cadre de modélisation du besoin par buts et agents, nommé Khi, et à donner une sémantique à celui-ci au moyen d'USL, une logique temporelle multi-agents originale. Cette logique est plus expressive que les logiques du domaine tout en conservant les mêmes propriétés métathéoriques. Nous avons ensuite dégagé des familles de propriétés à évaluer sur des modèles Khi et nous avons formalisé celles-ci au moyen d'USL.

Le second axe a abouti à la production d'un langage de spécification formelle, appelé Electrum, qui peut être vu comme une extension au moyen de la logique temporelle linéaire (LTL) du langage Alloy. Diverses études ont montré l'adéquation d'Electrum pour l'aide à la conception de systèmes dans lesquelles les dimensions comportementales et structurales sont relativement riches et intriquées. Nous avons d'autre part dégagé des résultats théoriques sur la logique sous-jacente à Electrum.

Les perspectives de nos recherches s'inscrivent dans la continuité des pistes dégagées précédemment. En premier lieu, une question importante serait de caractériser un fragment d'USL suffisant pour la traduction de Khi et pour lequel le model-checking disposerait d'une complexité «raisonnable» en pratique. Hors de l'ingénierie du besoin proprement dite, USL pourrait bien avoir des applications intéressantes, notamment pour les analyses de «systèmes de systèmes» et possiblement pour la sécurité. En second lieu, en ce qui concerne Electrum, des recherches doivent être menées pour améliorer l'efficacité des analyses automatiques et, d'autre part, pour déterminer comment encore améliorer l'expressivité pour l'utilisateur.

Estelle PIOT

HDR soutenue le 25 janvier 2017
Université Toulouse 3 Paul Sabatier
Spécialité : Dynamique des fluides

**Travaux sur l'analyse de stabilité des écoulements et la
propagation dans les conduits avec impédance acoustique en
paroi**

Composition du jury

Yves GERVAIS	Professeur des Universités, Directeur de l'Institut PPrime
Christophe AIRIAU	Professeur des Universités, IMFT
Yves AURÉGAN	Directeur de recherches CNRS, LAUM
Grégoire CASALIS	Professeur, ISAE-SUPAERO
Emmanuel PERREY DEBAIN	Professeur des Université, UTC Compiègne
Jean-Christophe ROBINET	Professeur des Universités, Arts & Métiers Paris-Tech



Université
de Toulouse



Résumé

Les travaux présentés portent sur la propagation acoustique dans des conduits avec écoulement lorsque les parois sont revêtues de matériaux acoustiques appelés liners, qui sont un système passif de réduction du bruit. Estelle Piot s'est intéressée en particulier à la notion d'impédance acoustique de paroi et aux problématiques qui apparaissent en présence d'écoulement. Pour cela, elle s'est appuyée à la fois sur des études expérimentales au sein du banc aéro-thermo-acoustique (B2A) de l'ONERA, sur des études théoriques mettant en œuvre des techniques d'homogénéisation et d'analyse spectrale, et sur des outils numériques capitalisés au sein du code Elvin, dédié à l'identification d'impédance en présence d'écoulement.

Tous ces travaux ont été menés en collaboration avec des partenaires académiques et industriels, par le biais de thèses et de projets de recherche fondamentaux ou applicatifs. Le champ des perspectives sur cette thématique de recherche est largement ouvert, tant sur les questions de mesure et modélisation de l'impédance, sur l'étude de l'interaction entre un liner et un écoulement turbulent, sur la conception de dispositifs de réduction de bruit en conduit ou, en ce qui concerne des applications non-directement liées à l'acoustique, sur l'étude de l'impact d'une impédance de paroi sur un écoulement de couche limite.

François CHEDEVERGNE

HDR soutenue le 30 janvier 2017
Université Toulouse 3 Paul Sabatier
Spécialité : Dynamique des fluides

**Exemples d'approches pour la modélisation d'écoulements
complexes : oscillations de poussée, jet synthétique par
plasma et écoulements de paroi**

Composition du jury

Christophe AIRIAU	Professeur à l'IMFT / Toulouse
Grégoire CASALIS	Professeur à l'ISAE-SUPAERO
Rémi MANCEAU	Professeur à l'Université de Pau
Marc MEDALE	Professeur à l'Université d'Aix-Marseille
Eric MOREAU	Professeur à l'Université de Poitiers
Pierre SAGAUT	Professeur à l'Université d'Aix-Marseille



Université
de Toulouse



Résumé

Différentes thématiques de recherche étudiées durant le parcours professionnel de François Chedevergne sont retracées, allant des oscillations de poussée dans les moteurs à propergol solide à la caractérisation d'un actionneur plasma à jets synthétiques en passant par la modélisation des écoulements turbulents. Les études menées ont nécessité la mise en œuvre d'approches spécifiques aux objectifs recherchés et qui mêlent des aspects théoriques, de modélisation numérique et de simulations.

On aborde tout d'abord les activités de recherche relatives aux instabilités dans les moteurs à propergol solide. Traiter la question des oscillations de poussée par le prisme de la stabilité linéaire a permis de mettre en évidence une instabilité propre aux écoulements en conduit à paroi débitante et qui explique très bien les observations faites sur les moteurs à propergol solide. Parallèlement, pour compléter le scénario crédible d'apparition des oscillations de poussée, des travaux complémentaires sur la question de la transition laminaire/turbulent ont été entrepris sur la base de simulations numériques.

On se concentre ensuite sur les développements réalisés autour de l'actionneur JSP (Jets Synthétiques par Plasma) de l'ONERA. Dans le but de disposer d'un outil précis qui apporte des informations inaccessibles par la mesure, en particulier la description du fonctionnement aérodynamique dans la cavité de l'actionneur, un modèle, dit basse-fréquence, de l'actionneur a été développé et validé par confrontation à plusieurs expériences. Ce modèle a ensuite été étendu au cas haute-fréquence mais une étape de validation est encore nécessaire. Ces modèles s'appuient sur des simulations numériques avec dépôt d'énergie permettant de reproduire l'effet du plasma dans la cavité de l'actionneur JSP.

Enfin, plusieurs problématiques spécifiques sont regroupées dans la thématique modélisation de la turbulence en proche paroi. Ainsi, on traite successivement de la reconstruction des fluctuations de pression à la paroi à partir de données statistiques de couche limite, des effets des rugosités sur les transferts pariétaux et du développement d'une loi de paroi numérique.

Alexandre JANOT

HDR soutenue le 30 mars 2017

Institut National Polytechnique de Toulouse (INPT)

Spécialité : Identification des systèmes et Robotique

**On the identification of continuous-time inverse dynamic
model of electromechanical systems operating in closed loop
with an instrumental variable approach: application to
industrial robots**

Composition du jury

Johan SCHOUKENS

Professeur, Université de Bruxelles

Eric ROGERS

Professeur, Université de Southampton

Philippe POIGNET

Professeur, Université de Montpellier 2

Lennart LJUNG

Professeur, Université de Linköping

Peter YOUNG

Professeur émérite Université de Lancaster

Hugues GARNIER

Professeur, Université de Lorraine

Philippe BIDAUD

Professeur, ONERA

Maxime GAUTIER

Professeur émérite, Université de Nantes

Pierre-Olivier VANDANJON

Chargé de recherches HDR, IFSTTAR Nantes

Francisco CARRILLO

Professeur, Ecole National d'Ingénieur de Tarbes



**Université
de Toulouse**



Résumé

The works focus on the identification of industrial robots that belongs to the field of the identification of continuous-time inverse dynamic models in closed loop. First, a generic instrumental approach relevant for the identification of rigid industrial robots is proposed. The set of instruments is the inverse dynamic model constructed from simulated data calculated from the simulation of the direct dynamic model. This algorithm termed the IDIM-IV method validates the inverse and direct dynamic models simultaneously, improves the noise immunity of estimates with respect to corrupted data in the observation matrix and has a rapid convergence. This new approach is experimentally validated and compared with other standard methods. Then, a statistical test able to assess the validity of the set of instruments as well as the consistency of the least-squares estimates is presented. This test is based on the use of the Two-Stage-Least-Squares method and the regressed Durbin-Wu-Hausman test that are commonly used in econometrics. It is shown how these two methods can be extended to robot identification. Finally, the perspectives that the IDIM-IV method can offer to the communities of robotics and automatic control are enlightened. A method combining grey- and black-box methods is presented. This new method is based on combination of the State-Dependent Parameter method and the inverse dynamic model. Then, it is shown why the robotic and the automatic control approaches should be linked and why some technological aspects such as real-time programming of online closed-loop identification methods should be considered.

Christian MUSSO

HDR soutenue le 13 avril 2017

Université de Toulon

Spécialité : Physique

**Contributions aux méthodes numériques pour le filtrage et la
recherche opérationnelle**

Composition du jury

Frédéric DAMBREVILLE	Expert Senior, DGA
Pierre DEL MORAL	Directeur de Recherche, INRIA, Bordeaux
Arnaud DOUCET	Professeur, Université d'Oxford, Royaume-Uni
Alain APPRIOU	Directeur de Recherche, ONERA, Palaiseau
Claude JAUFFRET	Professeur, Université de Toulon
François Le GLAND	Directeur de Recherche, INRIA, Bordeaux

Résumé

Le filtrage non-linéaire a pour objet d'estimer la distribution a posteriori de l'état (position, vitesse, accélération) d'un système dynamique à partir d'observations partielles (fonction d'une partie de celui-ci). Les applications relevant de cette modélisation sont nombreuses : pistage par mesures d'angles, navigation par corrélation de terrain, détection de cibles dans des images infrarouges à faible signal sur bruit, intégration longue pour le signal GPS brouillé ou pour le signal radar, etc.

Les filtres classiques comme ceux de Kalman échouent lorsque le contexte est fortement non-linéaire en particulier multimodal. Les filtres particuliers, connus aussi sous le nom de méthodes de Monte-Carlo séquentielles, sont introduits début des années 90. Elles sont des solutions approchées du filtre optimal bayésien, leur domaine d'emploi est plus large que celui des filtres de Kalman. Le principe est le suivant : on fait évoluer des particules (trajectoires cible candidates) suivant la dynamique a priori de l'état puis on les corrige en fonction de la mesure courante. Théoriquement, ces trajectoires aléatoires pondérées convergent vers l'état. Cependant, en pratique, ces filtres classiques nécessitent un grand nombre de particules et sont peu robustes.

Nous proposons dans ce mémoire des filtres particuliers présentant une meilleure robustesse et répondant aux exigences temps réel des applications militaires émergentes. Le principe de ces nouveaux filtres consiste à guider les particules dans les zones les plus vraisemblables lors de la phase de correction. Ce faisant, cet algorithme séquentiel optimise l'échantillonnage préférentiel. Il améliore la vitesse de convergence du filtre ainsi que la précision de l'estimée de l'état.

Ce filtre a été récemment appliqué pour la détection d'un avion à partir d'images infrarouges réelles fortement bruitées. Dans ces conditions, les approches classiques échouent comme celles qui consistent à effectuer une détection au niveau de chaque image. En effet, le nombre de plots par image devient prohibitif avec pour conséquence la saturation de l'algorithme de pistage. Dans le cadre « Track Before Detect », qui consiste à différer la détection et de réaliser au préalable une intégration au niveau signal, le filtre particulier proposé permet en temps réel de détecter et de pister la cible.

Nous présentons une autre application des méthodes de simulations Monte Carlo dans le domaine de la recherche opérationnelle. Il s'agit d'optimiser le déploiement de capteurs pour maximiser la probabilité de détection d'une cible « intelligente » avec un comportement aléatoire (markovienne). Nous proposons un algorithme séquentiel d'horizon long se basant sur une structure d'arbre dont les branches sont les distributions des cibles. La probabilité de détection est significativement améliorée par rapport aux stratégies académiques.

Vincent MICHAU

HDR soutenue le 08 juin 2017

Université Paris-Saclay

Spécialité : Physique

Maîtrise du Front d'Onde

Composition du jury

Frédérique de FORNEL

Patrick GEORGES

Sylvain GIGAN

Michel LEFEBVRE

Marc OLLIVIER

Gérard ROUSSET

Université de Bourgogne

Laboratoire Charles Fabry

Laboratoire Kastler-Brossel

ONERA

Institut d'Astrophysique Spatiale

Observatoire de Paris

Résumé

Ces travaux de recherche s'inscrivent dans la thématique "Haute Résolution Angulaire", définie comme l'étude et le développement des méthodes et des instruments permettant d'approcher la limite de résolution théorique de la diffraction, en dépit des aberrations évolutives. Au delà de la mesure de front d'onde pour l'optique adaptative et l'optique active, ils ont porté sur les effets de la propagation optique dans la basse atmosphère et sur les moyens de les corriger.

En astronomie, les perturbations de l'onde sont en général modélisées par les fluctuations de sa phase. Cette approche n'est plus valide dès que des conditions de propagation plus sévères sont rencontrées. Les travaux menés sur les limites d'application de l'optique adaptative classique, notamment dans les conditions de propagation proches du sol, et sur la recherche d'une approche alternative pour les liens optiques, sont particulièrement développés.

Reynald BUR

HDR soutenue le 08 septembre 2017

Université d'Orléans

Spécialité : Energétique

Dynamique et contrôle de l'interaction onde de choc / couche limite

Composition du jury

Holger BABINSKY

Professor, University of Cambridge

Jean-Paul BONNET

Directeur de Recherche, Institut PPRIME

Georges GEROLYMOS

Professeur, Sorbonne Universités / UPMC

Azeddine KOURTA

Professeur, PRISME / Université d'Orléans

Alain MERLEN

Professeur, Université de Lille 1

Jean-Christophe ROBINET

Professeur, DynFluid / ENSAM

Denis SIPP

Directeur de Recherche, ONERA



Résumé

Le phénomène d'interaction onde de choc / couche limite apparaît dès lors que l'écoulement atteint le régime supersonique, ce qui est fréquemment le cas pour les applications aéronautique (avions de transport et de combat, missiles) et spatial (lanceurs, corps de rentrée). Ce phénomène est étudié dans un canal transsonique dans lequel l'interaction forte entre le choc droit (en λ) et la couche limite turbulente provoque un décollement massif de l'écoulement. La position de l'onde de choc est soit quasi-stationnaire dans le canal, soit forcée par une came elliptique en rotation placée en aval de l'interaction. Des mesures optiques non intrusives ont permis de déterminer la nature tridimensionnelle du décollement ainsi que la réponse de l'interaction au forçage quasi-harmonique, en quantifiant l'évolution de la zone décollée et de la couche de cisaillement durant un cycle d'oscillation du choc. Ces écoulements sont alors contrôlés par des actionneurs passif, de type générateurs de tourbillon, et actif par aspiration localisée au niveau de la zone décollée. Les générateurs de tourbillon placés en amont de l'interaction sont efficaces pour réduire le décollement, grâce à une meilleure distribution de la quantité de mouvement dans la couche limite. Pour le cas de l'oscillation forcée, le contrôle par aspiration permet de réduire plus efficacement l'amplitude des oscillations du choc, avec des débits d'aspiration modérés. La dynamique de l'interaction est étudiée à la fois à partir de visualisations strioscopiques obtenues par une caméra à haute cadence, et par un calcul de stabilité globale puis par une analyse de la réceptivité de l'écoulement à un forçage externe. Le calcul montre que tous les modes sont stables et, donc, que l'écoulement est un amplificateur sélectif de bruit. L'interaction est définie par la coexistence de deux fréquences caractéristiques distinctes, le battement du choc à basse fréquence et la dynamique de la couche de cisaillement à plus haute fréquence, liée aux instabilités de Kelvin-Helmholtz.

Julien DANDOIS

HDR soutenue le 21 septembre 2017
Université Pierre et Marie Curie — UPMC (Paris 6)
Spécialité : Mécanique

**Contrôle actif des écoulements en basse vitesse et en
transsonique**

Composition du jury

Jean-Paul BONNET	Directeur de recherche Émérite, Laboratoire PPRIME.
Azeddine KOURTA	Professeur, Laboratoire PRISME, Polytech Orléans.
Bernd NOACK	Directeur de recherche, LIMSI.
Olivier CADOT	Professeur, ENSTA.
Marianna BRAZA	Directrice de Recherche, IMFT.
Jean-Camille CHASSAING	Maître de conférence, IJLRA, UPMC.



Résumé

Ces travaux de recherche s'inscrivent dans le domaine du contrôle actif des écoulements basse vitesse et transsonique. Ces activités incluent le développement d'actionneurs et de capteurs, la validation et l'amélioration des simulations numériques, la réduction de modèles et le contrôle en boucle fermée. Concernant les actionneurs, les études se sont focalisées sur l'amélioration des performances des jets synthétiques et la compréhension de l'effet des sweeping jets. Concernant la réduction de modèles, des modèles auto-régressifs et d'état ont été testés en simulation ainsi que sur des données expérimentales. Le contrôle en boucle fermée du décollement a été étudié en simulation numérique et en essai en soufflerie. Des modifications de l'algorithme d'extremum seeking classique ont été proposées pour décroître le temps de convergence de la boucle. En termes d'applications, le contrôle du décrochage par des fentes à débit continu, pulsé et synthétiques a été étudié en simulation et en soufflerie à travers différents essais. Les difficultés du contrôle du décrochage dues aux fortes vitesses locales au bord d'attaque sont présentées. Concernant le phénomène de tremblement transsonique, l'analyse de bases de données expérimentales et en particulier des signaux des capteurs de pression instationnaire a permis de montrer que ce phénomène consistait en la convection de cellules de décrochage (« buffet cells » or « stall cells ») vers le saumon. En ce qui concerne le régime laminaire, la fréquence du tremblement est beaucoup plus grande qu'en turbulent. Une simulation des grandes échelles a permis de montrer que l'oscillation du choc est due à un phénomène de respiration du bulbe de décollement laminaire au pied de choc. En ce qui concerne le contrôle du tremblement, des simulations numériques ainsi que des essais en soufflerie ont montré la capacité de générateurs de tourbillons passifs ou fluidiques ainsi que d'un dispositif de bord de fuite fluidique à retarder l'apparition du tremblement.

Sébastien PERNET

HDR soutenue le 11 décembre 2017
Université Toulouse 3 Paul Sabatier
Spécialité : Mathématiques appliquées

Quelques méthodes performantes pour la simulation des phénomènes de propagation et de diffraction d'ondes

Composition du jury

François ALOUGES	Professeur à l'Ecole Polytechnique.
Xavier ANTOINE	Professeur à l'IECL, Nancy.
Hélène BARUCQ	DR INRIA MAGIQUE3D, Pau.
Abderrahmane BENDALI	Professeur Emerite, INSA Toulouse.
Christophe BESSE	Professeur à l'Université Paul Sabatier, Toulouse
Anne-Sophie BONNET-BEN DHIA	DR CNRS, POEMS, ENSTA ParisTech
Christophe GEUZAIN	Professeur à l'Université de Liège
Jean-Pierre RAYMOND	Professeur à l'Université Paul Sabatier, Toulouse



Université
de Toulouse



Résumé

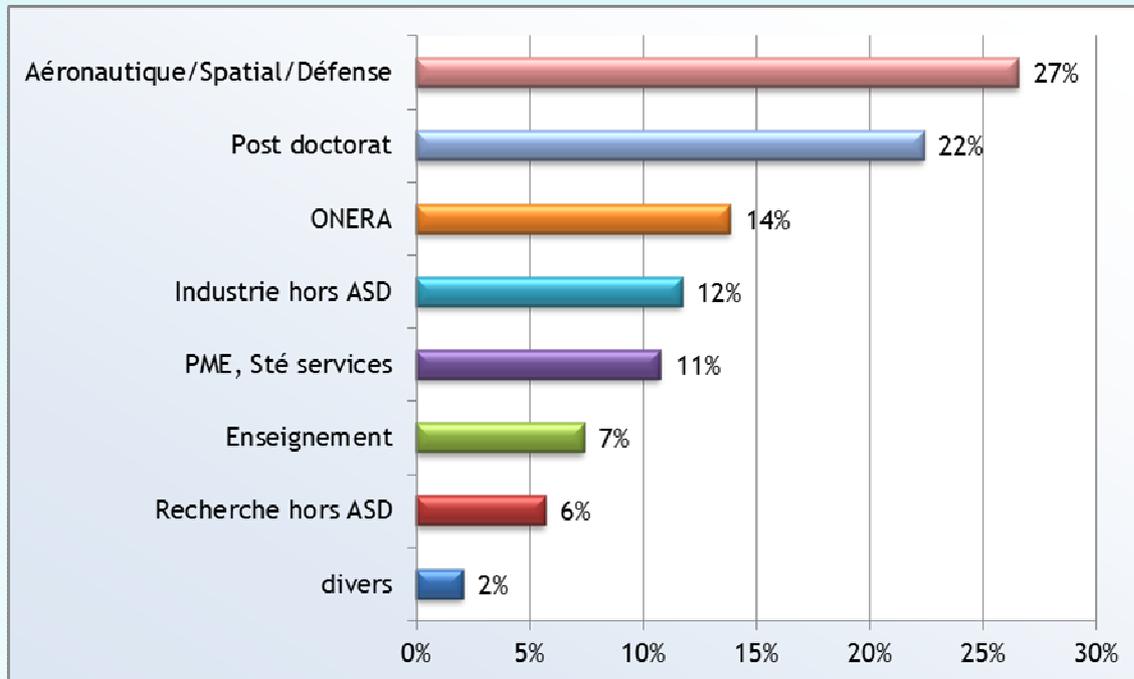
Les travaux présentés portent sur la recherche, l'analyse et la mise en œuvre de méthodes numériques pour la simulation des phénomènes de propagation et de diffraction d'ondes acoustiques, électromagnétiques et élastiques.

La première partie s'intéresse à la recherche de méthodes performantes pour la simulation des phénomènes de propagation d'ondes transitoires, en particulier une méthode de Galerkin discontinue basée sur des éléments spectraux et une formulation mixte pour les problèmes d'électromagnétisme. Le schéma qui en découle est clairement non standard et produit des solutions numériques de haute précision à un coût réduit par rapport à une approche classique. Des résultats obtenus sur la détermination de l'effet d'un réseau d'hydrofractures sur la propagation élastique sont présentés.

La deuxième partie se focalise sur la recherche de méthodes intégrales efficaces en terme de coût de calcul et de précision pour simuler la diffraction d'ondes en régime harmonique. Dans un premier temps, des formulations intégrales sont proposées pour le calcul de la diffraction d'ondes électromagnétiques et plus particulièrement, des formulations de type GCSIE (Generalized Combined Source Integral Equation) pour traiter les objets imparfaitement conducteurs ou pénétrables. Dans un second temps, la question du raffinement de maillage auto-adaptatif guidé par des indicateurs d'erreur *a posteriori* pour les équations intégrales est abordée. En particulier, une technique originale de localisation est présentée. Elle permet de dériver des indicateurs d'erreur *a posteriori* fiables et efficaces pour une grande classe de problèmes.

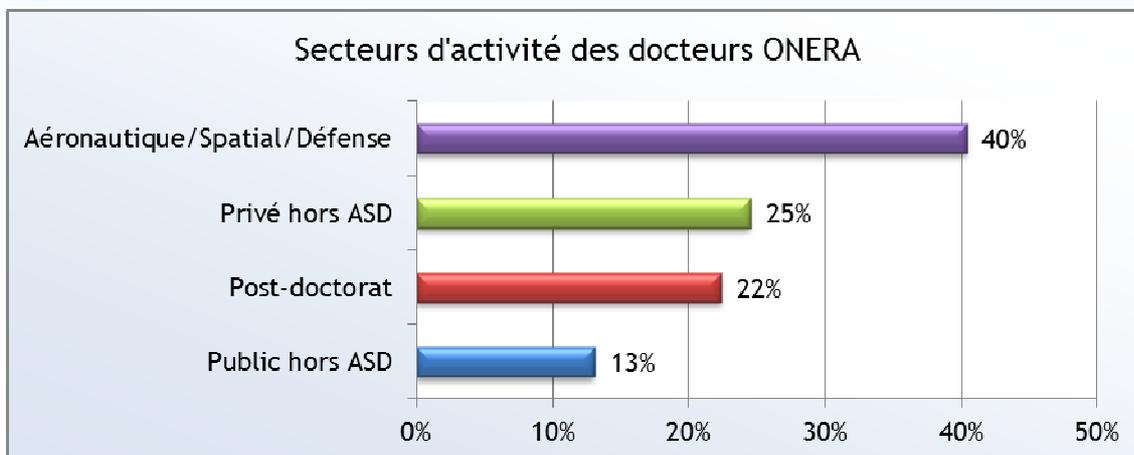
Enfin, la troisième partie aborde le problème du calcul de la propagation du son dans un écoulement complexe en régime harmonique. Plus précisément, nous nous sommes intéressés au couplage entre la propagation d'onde et le transport hydrodynamique lorsque l'on calcule le rayonnement acoustique en écoulement. Ce couplage est souvent négligé dans les applications industrielles bien évidemment pour limiter les coûts de calcul mais aussi, à cause du traitement de domaines infinis. Pour traiter ce problème, une méthode est proposée. Elle est basée sur le modèle de Galbrun, construite à partir d'une formulation augmentée et qui permet de faire fonctionner des couches PML (Perfectly Matched Layer) pour borner le domaine de calcul.

Devenir professionnel des docteurs ONERA

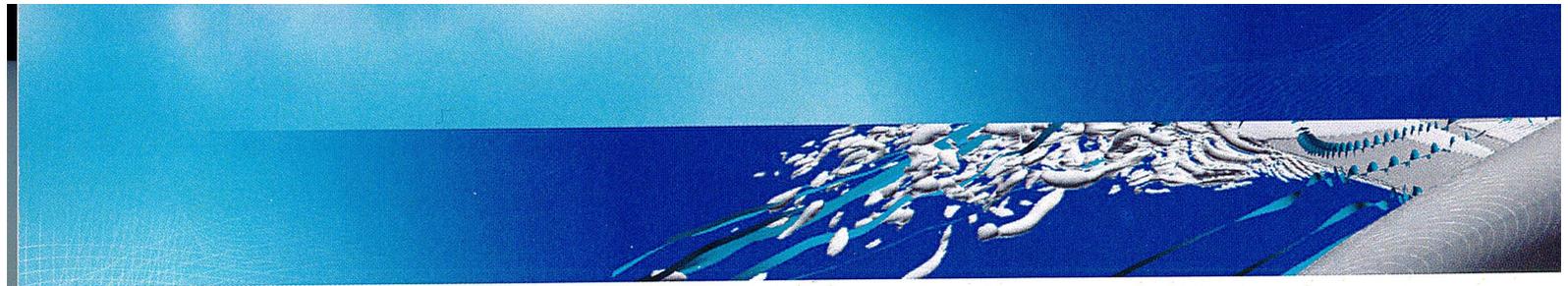


Si, à l'issue de leur contrat de doctorat, certains jeunes chercheurs poursuivent leur carrière au sein de l'ONERA, ils s'orientent majoritairement vers l'industrie et la recherche Aéronautique, Spatiale et de Défense (ASD), ou encore approfondissent leur formation en post-doctorat.

L'ONERA remplit ainsi sa mission de contribution à la formation des ingénieurs et scientifiques des secteurs Aérospatial et Défense.



* Statistiques sur 1210 docteurs ayant soutenu leur thèse depuis 2000



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

ONERA - Direction Scientifique Générale - mars 2018