

Préparer le futur

**FORMATION PAR LA RECHERCHE
THÈSES DE DOCTORAT
& HABILITATIONS À DIRIGER
LES RECHERCHES
2020**

MISSION FORMATION PAR LA RECHERCHE DE L'ONERA
formation-par-la-recherche@onera.fr

Chiffres clés 2020

2031 collaborateurs

1568 ingénieurs et cadres

110 habilités à diriger des recherches

315 doctorants

27 post-doctorants

244 stagiaires

79 thèses de doctorat soutenues

8 habilitations à diriger des
recherches soutenues

Cette édition 2020 de présentation des thèses de doctorat menées au sein de l'ONERA illustre encore une fois le dynamisme et la fécondité des jeunes chercheurs et chercheuses de l'ONERA et de ses nombreux partenaires. Ils et elles 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'a débuté leur futur parcours professionnel, entre recherche académique et monde industriel, en bénéficiant d'un encadrement que nous voulons de la meilleure qualité.

Malgré la crise sanitaire et ses conséquences sur leur travail quotidien, 79 soutenances de thèses ont eu lieu cette année avec de nombreux prix reconnaissant la qualité et l'originalité des résultats. Dès le mois de mars 2020, l'ONERA a recensé celles et ceux dont les travaux étaient impactés pour leur donner, chaque fois que c'était possible, les moyens de travailler à distance. Leurs contrats doctoraux ont également été prolongés pour compenser le retard pris dans l'avancement de leur thèse.

L'ONERA remplit toujours sa mission de formation par la recherche des futurs acteurs de l'industrie et la recherche aérospatiale et de défense. En effet, outre ceux qui poursuivent leur formation en post-doctorat, 50 % de ses docteurs rejoignent le secteur ASD (Aéronautique, Spatial, Défense) et 30% des secteurs industriels connexes.

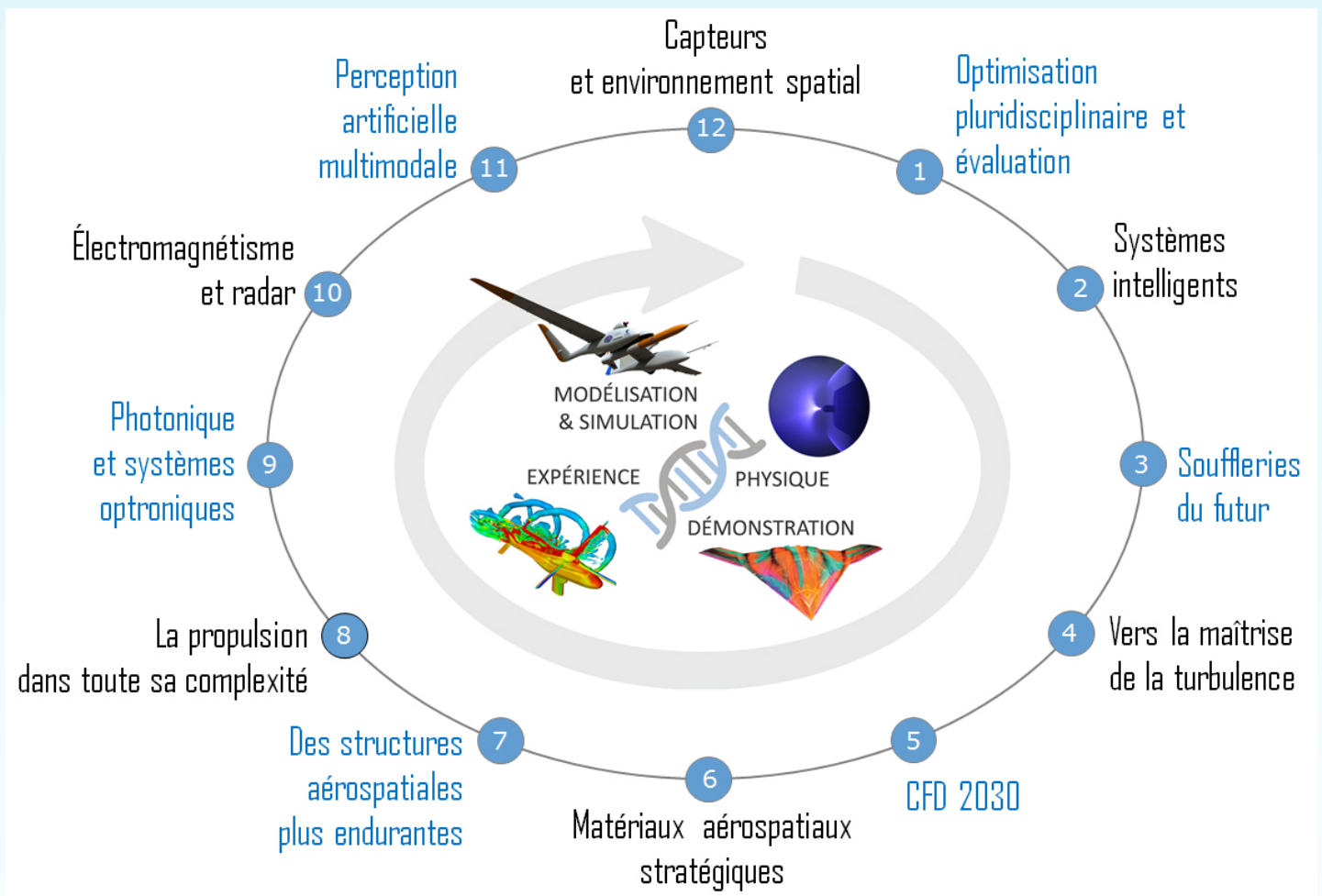
Au-delà de cette mission, les doctorantes et doctorants sont la force vive de la politique scientifique de l'ONERA en apportant la diversité culturelle et la disponibilité intellectuelle indispensables pour faire émerger ou fructifier des idées originales et innovantes ; en participant à la recherche la plus fondamentale, pour préparer l'avenir d'une recherche finalisée, avec des travaux qui puisent leur source dans les problématiques applicatives ; en contribuant au rayonnement de l'ONERA par les collaborations liées à leur thèse, 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.

On trouvera également dans ce recueil les Habilitations à Diriger des Recherches soutenues, au nombre de 8 cette année. Cette reconnaissance du haut niveau scientifique des chercheuses et chercheurs de l'ONERA et de leur capacité à encadrer des thèses est très fortement encouragée par la Direction Scientifique Générale. Le grand nombre de récompenses obtenues par nos doctorantes et doctorants attestent aussi de la qualité de l'encadrement et du suivi de toutes celles et ceux qui nous ont choisi pour réaliser leur projet de thèse. Il y a là un cercle vertueux qu'il faut continuer à alimenter.

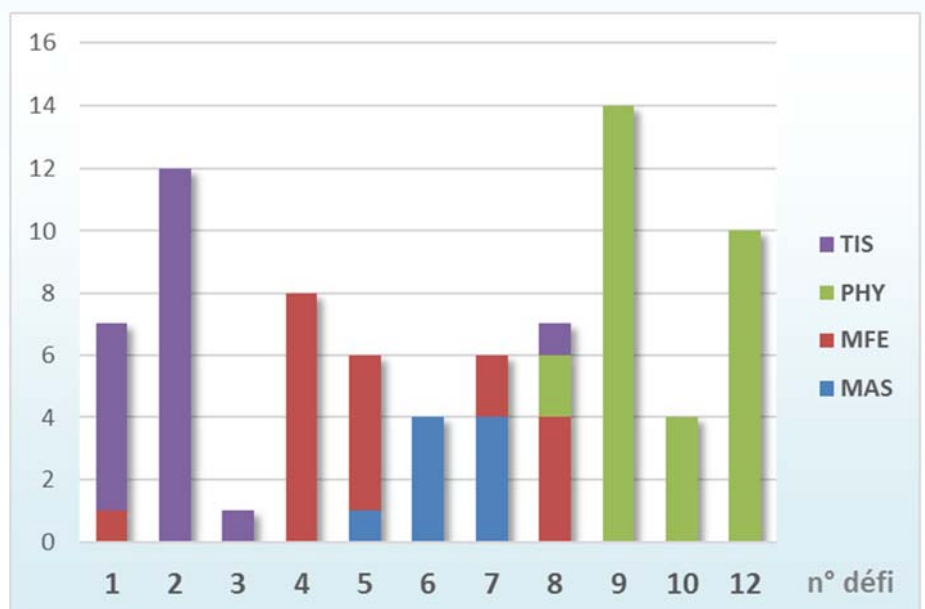
Pour chaque thèse et HDR, un contact ONERA a été indiqué, n'hésitez pas à échanger avec lui, pour obtenir plus d'information ou une publication, voire entamer une collaboration !

Stéphane ANDRIEUX
Directeur Scientifique Général

LES DEFIS DU PLAN STRATEGIQUE SCIENTIFIQUE 2015 - 2025



Répartition du nombre de thèses soutenues en 2020 par défi et domaine scientifique



Thèses soutenues en 2020 par domaine scientifique

Matériaux et Structures (MAS).....	5
Mécanique des Fluides et Energétique (MFE).....	25
Physique (PHY)	69
Traitement de l'Information et Systèmes (TIS)	133

Habilitations à diriger des recherches

HDR soutenues en 2020	177
-----------------------------	-----

Annexes

Thèses en cours au 1er janvier 2021	195
Post-doctorats en cours au 1er janvier 2021	213
Devenir professionnel des docteurs ONERA	215
ALUMNI ONERA	216

Matériaux et Structures

Défi 5 - CFD 2030

MOULIN Johann - Sur la bifurcation de flottement en écoulement laminaire : méthodes modales linéaires et nonlinéaires 6

Défi 6 - Matériaux aérospatiaux stratégiques

LACOUR-GOGNY-GOUBERT Antoine - Développement et étude d'alliages réfractaires complexes, à microstructure cubique centrée et orthorhombique, pour applications aéronautiques 8

SERRANO Pierre - Modélisation multi-échelles du comportement mécanique des alliages TiAl pour la prévision de leur tenue en fatigue 10

HAMMA Juba - Modélisation par la méthode des champs de phase du maillage mécanique dans des alliages de titane β -métastables..... 12

PLAUD Alexandre - Excitons dans le nitrure de bore lamellaire : étude des phases hexagonale, rhomboédrique et d'hétérostructures 2D 14

Défi 7 - Des structures aérospatiales plus endurantes

BENETTI RAMOS Luis Henrique - Auto-propulsion et interaction hydrodynamique d'ailes battantes dans des écoulements visqueux..... 16

DAGORN Noëlig - Caractérisation expérimentale de la rupture d'interfaces collées sous chargement dynamique multiaxial 18

GERMAIN Jérémy - Évaluation des capacités prédictives d'un modèle avancé pour la prévision de la tenue de plaques stratifiées perforées 20

SALLY Orianne - Stratégies de calcul pour la prévision de la durée de vie de structures composites soumises à des chargements complexes : Application aux composites oxyde/oxyde 22

Comprendre les spécificités de l'instabilité de flottement dans des écoulements laminaires par des approches numériques linéaires et non-linéaires

Johann MOULIN

Thèse soutenue le 7 décembre 2020

Ecole doctorale : ED 626 (IPP) - Institut Polytechnique de Paris

Titre de la thèse

**Sur la bifurcation de flottement en écoulement laminaire :
méthodes modales linéaires et non-linéaires**

Encadrement

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Directeurs de thèse : Denis Sipp & Olivier Marquet - ONERA

Financement

European Research Council (ERC)

Défi scientifique

CFD 2030

www.onera.fr/pss



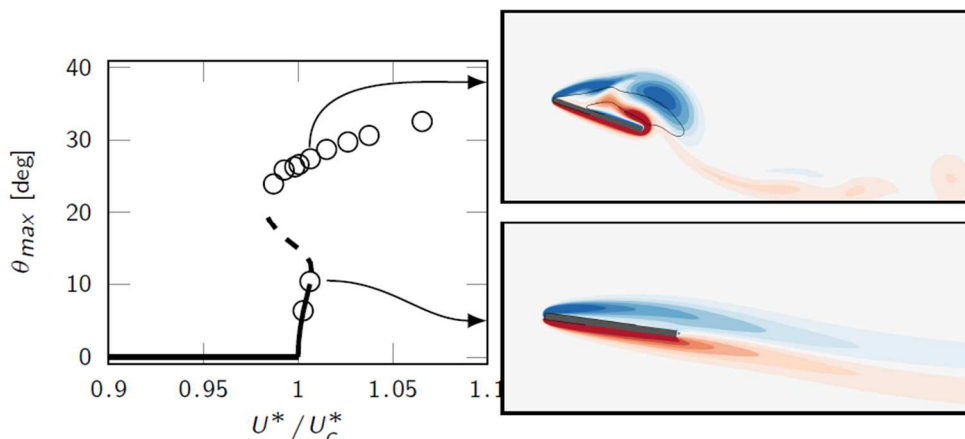
**INSTITUT
POLYTECHNIQUE
DE PARIS**



Contact : Johann.Moulin @ onera.fr

Résumé

L'instabilité de flottement a été le sujet de nombreuses études depuis le milieu du vingtième siècle à cause de ses applications critiques en aéronautique. Elle est classiquement décrite comme une instabilité linéaire en écoulement potentiel, mais les effets visqueux et non-linéaires du fluide peuvent avoir un impact crucial. La première partie de cette thèse est consacrée au développement de méthodes théoriques et numériques pour l'analyse linéaire et non-linéaire de la dynamique d'une "section typique aéroélastique" --- une plaque montée sur des ressorts de flexion et torsion --- plongée dans un écoulement laminaire bidimensionnel modélisé par les équations de Navier-Stokes incompressibles. D'abord, on développe une analyse faiblement non-linéaire pour étudier le régime basse amplitude, puis une approche d'équilibrage harmonique, connue comme la Méthode Spectrale en Temps (TSM), de façon à capturer des solutions de flottement plus fortement non-linéaires. Le défi de la résolution numérique des équations TSM est relevé grâce au développement d'une approche parallèle en temps de type Newton-Krylov, combinée à un préconditionneur spécialement développé, dit "bloc-circulant". La seconde partie de la thèse est dédiée à l'étude physique de la bifurcation de flottement. On commence par revisiter le problème de stabilité linéaire, en mettant en lumière, en particulier, les effets de viscosité. On poursuit avec l'étude des effets non-linéaires fluides : les structures légères et les hauts nombres de Reynolds favorisent des bifurcations sous-critiques. On achève cette partie en étudiant l'apparition de modulations de basse fréquence sur des solutions périodiques de flottement. On explique ce comportement par une instabilité linéaire (Floquet) de cycle limite. La dernière partie de la thèse vise à initier l'extension des différentes méthodes évoquées précédemment pour le cas de configurations tridimensionnelles à grande échelle. En guise de premier pas vers cet objectif à long terme, on développe un outil open-source massivement parallèle capable de réaliser l'analyse de stabilité linéaire hydrodynamique (structure figée) d'écoulements tridimensionnels possédant plusieurs dizaines de millions de degrés de liberté.



Scénario de type "double-fold" pour la bifurcation de flottement permettant la coexistence de solutions de basse amplitude supercritiques et de solutions de haute amplitude sous-critiques

Distinction

Prix du meilleur poster -
congrès international
ICHEM2 (2018)

Antoine LACOUR-GOGNY-GOUBERT

Thèse soutenue le 16 décembre 2020

Ecole doctorale : ED 531 (EDSIE) - Sciences, Ingénierie et Environnement -
Paris Est

Titre de la thèse

**Développement et étude d'alliages réfractaires complexes,
à microstructure cubique centrée et orthorhombique,
pour applications aéronautiques**

Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrante : Zhao Huvelin - ONERA

Directeurs de thèse : Ivan Guillot - ICMPE

Philippe Vermaut - Chimie ParisTech

Financement

Agence Nationale de la Recherche (ANR)

Défi scientifique

Matériaux
aérospatiaux
stratégiques

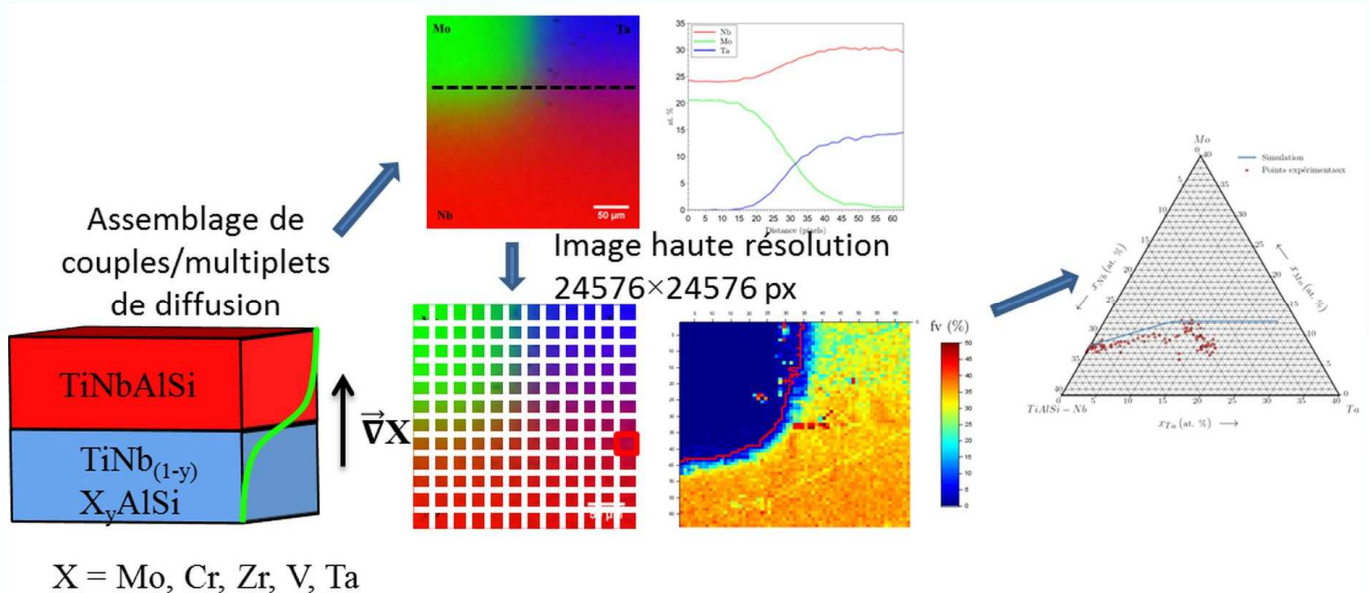
www.onera.fr/pss



Contact : [Zhao.Huvelin @ onera.fr](mailto:Zhao.Huvelin@onera.fr)

Résumé

Les alliages réfractaires complexes apparaissent comme des candidats crédibles pour des applications aéronautiques, spécifiquement pour la gamme de température visée de 800°C – 1000°C. Cependant, la complexité de ces alliages, induite par la présence de nombreux éléments en forte concentrations, rend difficile la prédiction, ainsi que le contrôle de leur microstructure, et par voie de fait de leur propriétés mécaniques. Le choix a donc été fait de développer des alliages complexes en se fondant sur un alliage Ti-Nb-Al-Si à matrice cubique centrée, renforcée par la précipitation d'une phase intermétallique orthorhombique (O), en y ajoutant de nouveaux éléments réfractaires. Par conséquent, il est nécessaire de mettre en place une méthode de développement d'alliages permettant de prévoir l'effet de l'ajout de différents éléments réfractaires sur la précipitation de la phase O. Les bases de données thermodynamiques n'étant pas assez fiables sur ces alliages, une approche expérimentale se fondant sur l'étude de couples/multipliets de diffusion a été mise en place. Cette méthode permet notamment de relier la fraction de phase O et la concentration chimique en couplant de l'analyse d'image à des cartographies EDS. À partir de cette étude, il est possible de discuter de l'effet des différents éléments d'alliages sur la stabilité de la phase O ainsi que d'en déduire des compositions d'alliages, possédant une microstructure optimisée. Les compositions déterminées par cette méthode peuvent ensuite être étudiées sur des alliages massifs afin notamment d'étudier finement la microstructure et d'évaluer leurs propriétés mécaniques.



Principe du couple/multiplet de diffusion et les analyses quantitatives associées

Modéliser le comportement en fatigue des alliages TiAl pour améliorer leurs propriétés et leur trouver de nouvelles applications

Distinctions

Prix Poster ArcelorMital
colloque
« La métallurgie,
quel avenir ! » (2019)

Prix doctorant ONERA
(2020)

Pierre SERRANO

Thèse soutenue le 9 octobre 2020

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

Titre de la thèse

Modélisation multi-échelles du comportement mécanique des alliages TiAl pour la prévision de leur tenue en fatigue

Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrante : Pascale Kanouté - ONERA

Directeurs de thèse : Alain Couret - CNRS/CEMES
Louise Toualbi - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

Matériaux
aérospatiaux
stratégiques

www.onera.fr/pss



Université
de Toulouse

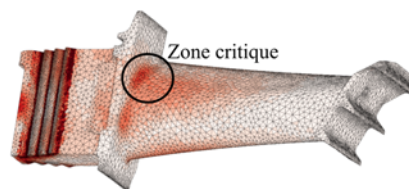


Contact : Louise.Toualbi @ onera.fr

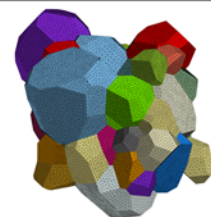
Résumé

Les alliages à base d'aluminures de titane (TiAl) sont des matériaux légers introduits dans la dernière génération de turboréacteurs pour l'aéronautique civile sous la forme d'aube de turbine basse pression. Ces alliages disposent notamment d'excellentes propriétés mécaniques à haute température et d'une résistance spécifique élevée. Leur utilisation reste cependant délicate du fait de leur faible ductilité et ténacité à température ambiante. Afin de trouver de nouvelles applications à ces matériaux, les deux principaux défis pour les futures générations d'alliage sont l'augmentation de la température d'utilisation et l'amélioration des propriétés en fatigue thermomécanique. Dans cette optique, le présent travail consiste à établir un lien entre la microstructure des alliages TiAl et leur tenue en fatigue. Pour cela, des travaux expérimentaux et numériques sont réalisés à différentes échelles d'intérêt sur les quatre microstructures dites génériques de ces matériaux. Dans un premier volet expérimental, un lien entre microstructure et comportement mécanique cyclique est établi via la réalisation d'essais mécaniques à l'échelle macroscopique (i.e. réponse contrainte-déformation), et d'essais micromécaniques qui permettent d'étudier la répartition de la déformation dans la microstructure. Dans un deuxième volet numérique, un modèle de plasticité cristalline permettant de tenir compte des spécificités des microstructures à structure lamellaire des alliages TiAl est défini. Les comportements mécaniques cycliques des quatre microstructures génériques sont ensuite modélisés via la réalisation de calculs éléments finis sur microstructures virtuelles et homogénéisation numérique. Enfin, cette modélisation est utilisée afin de réaliser une analyse aux Indicateurs de Tenue en Fatigue (ITF). Cette analyse permet de comparer les tenues en fatigue des différentes microstructures et d'identifier les éléments microstructuraux qui pilotent la durée de vie en fatigue pour différents régimes de sollicitation. Les résultats obtenus permettent alors d'effectuer un retour vers la métallurgie en indiquant les zones à renforcer pour améliorer les propriétés en fatigue de futurs alliages.

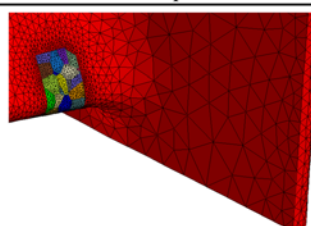
1 : Calcul éléments finis et analyse macroscopique pour l'identification des zones critiques à étudier



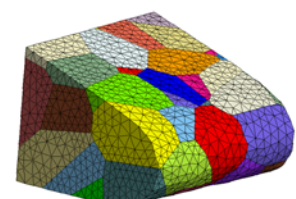
2 : Générations d'arrangements statistiquement représentatifs de la microstructure



3 : Insertion de la microstructure dans la zone critique



4 : Calculs sur la microstructure avec les chargements issus du calcul de structure



Methodologie de calcul envisagée pour l'utilisation de modèles de fatigue écrits à l'échelle de la microstructure

Développer des modèles numériques pour mieux comprendre la formation de microstructures dans les alliages de titane β -métastables

Juba HAMMA

Thèse soutenue le 14 octobre 2020

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

Titre de la thèse

**Modélisation par la méthode des champs de phase
du maclage mécanique dans des alliages de titane
 β -métastables**

Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrants : Yann Le Bouar - LEM, CNRS

Benoît Appolaire - Institut Jean Lamour

Directeur de thèse : Alphonse Finel - LEM, ONERA

Financement

Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)

Défi scientifique

Matériaux
aérospatiaux
stratégiques

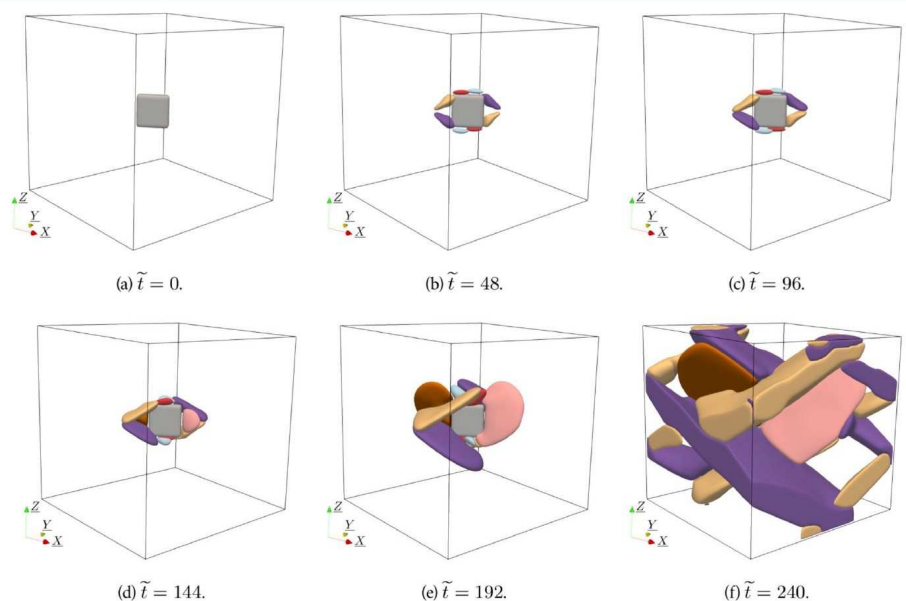
www.onera.fr/pss



Contact : Alphonse.Finel@onera.fr

Résumé

Les alliages de titane β -métastables présentent des propriétés mécaniques remarquables à température ambiante, telles qu'une résistance spécifique à la traction et une déformation à la rupture élevées. Ces propriétés mécaniques sont liées à l'évolution sous contrainte de la microstructure. Un mode de déformation spécifique à ces alliages joue en particulier un rôle essentiel : il s'agit du système de maclage mécanique $\{332\}\{11\bar{3}\}$. Ces travaux de thèse portent ainsi sur une modélisation, par la méthode des champs de phase, de l'évolution sous contrainte des variants de macle $\{332\}\{11\bar{3}\}$. Plusieurs formulations de l'énergie libre et de l'énergie élastique sont successivement analysées. Une première partie est consacrée à un modèle champ de phase de type Allen-Cahn avec prise en compte d'une élasticité dans un formalisme géométriquement linéaire. Ce modèle est utilisé avec une énergie d'interface isotrope ou anisotrope afin d'étudier l'influence de cette dernière sur la croissance et le degré d'anisotropie des variants de macle. Le rôle d'une élasticité formulée en grande déformation est ensuite discuté et donne lieu à la deuxième partie de ces travaux. Un algorithme de résolution de l'équilibre mécanique dans le formalisme géométriquement non-linéaire par méthode spectrale est alors mis en place et validé. Il est ensuite utilisé dans le développement d'un modèle champ de phase de type Allen-Cahn avec prise en compte d'une élasticité géométriquement non-linéaire. Nous procédons alors à une étude comparative fine des microstructures obtenues en géométries linéaire et non-linéaire. Les résultats montrent une différence majeure entre les microstructures obtenues dans les deux cadres élastiques, concluant sur la nécessité d'une élasticité en grande déformation pour reproduire les microstructures de macle observées expérimentalement. Enfin, nous présentons une étude prospective d'un formalisme champ de phase plus général que les précédents, basé sur une méthode de réduction de Lagrange, qui permettrait de prendre en compte pleinement le caractère reconstructif du maclage et la nature hiérarchique des microstructures observées expérimentalement.



*Croissance de variants de macles mécaniques (en couleurs)
autour d'un défaut (en gris) au cours d'une traction d'axe [111]*

Etudier les propriétés optiques du nitrure de bore lamellaire, pur ou en combinaison avec d'autres matériaux 2D, pour mieux comprendre l'origine et la nature de sa luminescence

Alexandre PLAUD

Thèse soutenue le 10 septembre 2020

Ecole doctorale : ED 573 (INTERFACES) - Approches interdisciplinaires :
fondements, applications et innovations - Paris-Saclay

Titre de la thèse

Excitons dans le nitrure de bore lamellaire : étude des phases hexagonale, rhomboédrique et d'hétérostructures 2D

Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrant : Frédéric Fossard - LEM, CNRS

Directeurs de thèse : Annick Loiseau - LEM, ONERA

Julien Barjon - Université de Versailles

St-Quentin-en-Yvelines

Financement

Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)

Défi scientifique

Matériaux
aérospatiaux
stratégiques

www.onera.fr/pss



université
PARIS-SACLAY



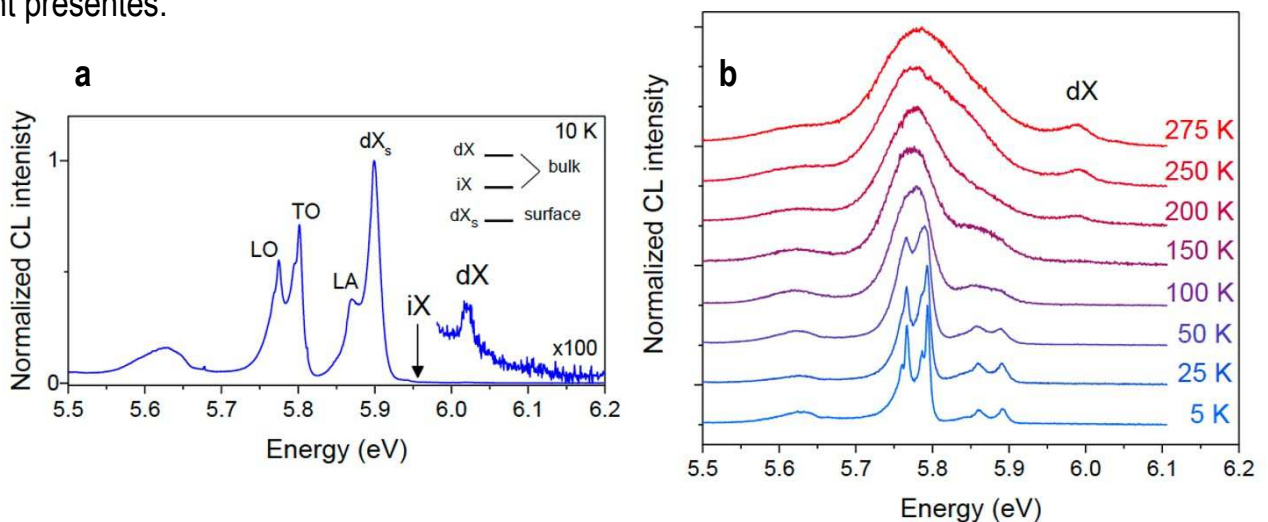
Contact : [Annick.Loiseau @ onera.fr](mailto:Annick.Loiseau@onera.fr)

Résumé

Le nitrure de bore hexagonal (hBN) est un semi-conducteur lamellaire possédant une large bande interdite de type indirect (> 6 eV). L'autre structure lamellaire du nitrure de bore est rhomboédrique (rBN), mais beaucoup moins connue et étudiée. L'objectif de cette thèse est l'étude des excitons à l'origine de la luminescence de ces deux phases mais aussi d'hétérostructures 2D, où le hBN est utilisé en combinaison d'autres matériaux 2D dans des empilements verticaux.

L'étude des propriétés des excitons dans hBN est réalisée sur un cristal de référence synthétisé par haute pression et haute température au Japon. L'énergie de liaison des excitons ainsi que le rendement quantique interne du hBN sont quantitativement évalués par spectroscopie de cathodoluminescence. L'anomalie observée entre absorption et luminescence est résolue avec l'identification du rôle respectif des excitons directs et indirects. À forte excitation, l'efficacité de luminescence de hBN décroît, limitée par une annihilation entre excitons, particulièrement efficace dans ce matériau. Associées à une caractérisation structurale, les signatures spectroscopiques de luminescence et Raman de la phase rhomboédrique sont identifiées. Elles ont permis d'analyser les propriétés de couches minces synthétisées par voie chimique (CVD).

La dernière partie de cette thèse porte sur l'étude d'hétérostructures 2D de type hBN/MoX₂/hBN où X = S ou Se. Une caractérisation exhaustive des propriétés de luminescence, vibrationnelles et structurales est menée sur l'ensemble des matériaux constituants. Les analyses sont menées à la fois en vue plane et en section transverse grâce à la découpe de lames minces par faisceau d'ions focalisés. Des résultats préliminaires sur la diffusion des excitons et sur les excitons d'interface y sont présentés.



(a) Spectre de cathodoluminescence à 10K d'un cristal exfolié de hBN de 80 nm d'épaisseur montrant la luminescence due à la recombinaison des différents types d'excitons : les raies d'assistance phonon LO, TO et LA de l'exciton indirect iX ainsi que le signal très faible à zéro phonon de cet exciton, l'exciton de surface dX_s et enfin la luminescence non thermalisée de l'exciton direct dX .

(b) Evolution du spectre de cathodoluminescence en fonction de la température

Mieux comprendre les phénomènes physiques mis en jeu dans la propulsion par battement d'ailes pour s'en inspirer dans la conception de dispositifs propulsifs innovants

Luis Henrique BENETTI RAMOS

Thèse soutenue le 16 décembre 2020

Ecole doctorale : ED 039 (EDMI) - Mathématiques et Informatique de Bordeaux

Titre de la thèse

Auto-propulsion et interaction hydrodynamique d'ailes battantes dans des écoulements visqueux

Encadrement

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Encadrant : Olivier Marquet - ONERA

Directeurs de thèse : Angelo Iollo & Michel Bergmann - Institut Mathématique de Bordeaux

Financement

European Research Council (ERC)

Défi scientifique

Des structures
aérospatiales
plus durantes

www.onera.fr/pss



université
de **BORDEAUX**

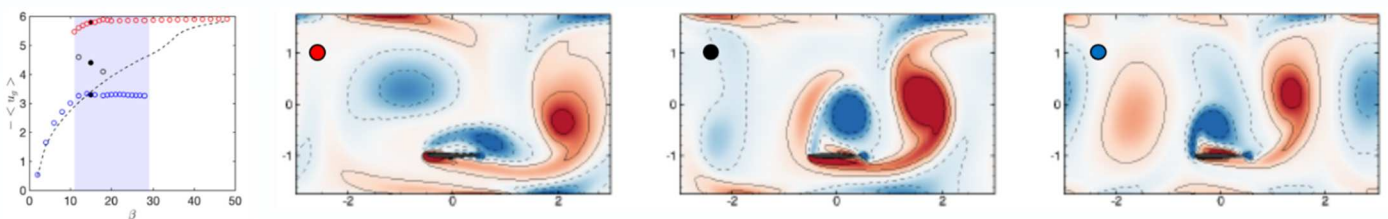


Contact : Olivier.Marquet @ onera.fr

Auto-propulsion et interaction hydrodynamique d'ailes
battantes dans des écoulements visqueux

Résumé

Cette thèse s'intéresse à l'apparition de la stratégie de locomotion animale par mouvement de battement, puis au rôle des interactions hydrodynamiques passives dans des dynamiques collectives. La première partie est consacrée à l'étude numérique de l'autopropulsion d'une aile seule dans la direction orthogonale au mouvement de battement périodique qui lui est imposé. À basse fréquence de battement, deux états d'autopropulsion sont identifiés : un périodique de propulsion unidirectionnelle et un quasi périodique de mouvement de va-et-vient autour d'un point fixe. L'émergence de ces deux états est expliquée par une analyse de Floquet fluide-solide de l'état périodique, symétrique et non propulsif. Contrairement aux analyses de stabilité purement hydrodynamiques, l'analyse fluide-solide détermine avec précision les seuils d'apparition de ces états. Une analyse de la moyenne temporelle des force et vitesse des modes permet ensuite d'établir un critère d'instabilité physique pour les ailes autopropulsées. Cette analyse est étendue à des fréquences de battement plus élevées, pour lesquelles trois régimes de propulsion unidirectionnelle sont identifiés et caractérisés par des sillage (i) quasi-périodiques déviés, (ii) périodiques symétriques et (iii) périodiques déviés. L'apparition des états (i) et (iii) s'explique par une analyse de Floquet de la solution (ii). Cette partie est conclue par une décomposition des forces propulsives moyennes en contribution de diffusion et de pression, révélant une transition entre un régime de propulsion visqueuse et de pression. La deuxième partie est consacrée à l'effet de l'interaction hydrodynamique dans la stratégie de locomotion. Pour une allée infinie d'ailes battantes confinées dans un canal, au moins deux solutions peuvent coexister pour certaines valeurs des paramètres de battements. Si ces deux solutions autopropulsées sont plus lentes ou plus rapides que la solution sans interaction, la puissance nécessaire pour imposer le mouvement de battement de l'aile est toujours plus faible. L'émergence de ces solutions est étudiée par des simulations avec une vitesse horizontale imposée à l'allée. La force horizontale moyenne agissant sur les ailes révèle l'existence de trois équilibres du système plutôt que deux. L'émergence des états autopropulsés stables est expliquée par le comportement stabilisateur de la force hydrodynamique moyenne dans le temps agissant sur l'allée.



*Simulation d'une allée infinie d'ailes battantes (en phase) grâce à des conditions de périodicité.
à gauche : branches de solution rapide (rouge), intermédiaire (noire) et lente (bleue)
en fonction de la fréquence.*

à droite : vorticitée instantanée pour les trois régimes

Développer un nouveau protocole expérimental pour mieux modéliser les mécanismes de rupture des joints adhésifs époxy

Noëlig DAGORN

Thèse soutenue le 26 novembre 2020

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

Titre de la thèse

Caractérisation expérimentale de la rupture d'interfaces collées sous chargement dynamique multiaxial

Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrants : Gérald Portemont - ONERA
Benjamin Bourel - UPHF

Directeur de thèse : Franck Lauro - UPHF

Financement

CIFRE Safran Aircraft Engines

Défi scientifique

Des structures
aérospatiales
plus durantes

www.onera.fr/pss



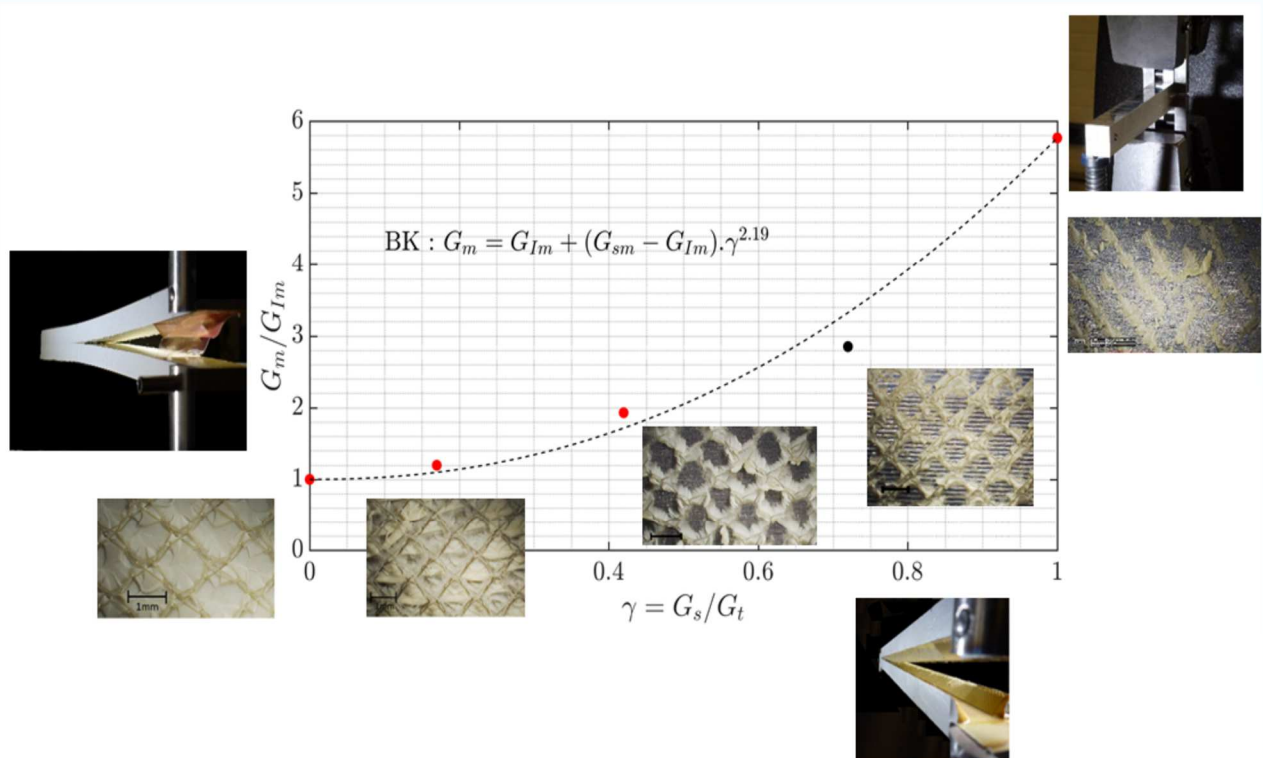
Contact : Gerald.Portemont @ onera.fr

Résumé

Les joints adhésifs époxy sont fortement développés dans les applications aéronautiques. Ces assemblages collés doivent supporter des sollicitations d'impact, de sorte que la rupture doit être modélisée. Or, les mécanismes de rupture de l'adhésif sont sensibles à la vitesse de chargement. De plus, la rupture survient généralement sous un chargement mixte entre traction et cisaillement. Cependant, les modèles à zones cohésives actuels ne prennent pas en compte l'éventuel couplage entre mixité et vitesse de chargement.

L'objectif de ces travaux est donc de caractériser le comportement à rupture d'un adhésif sous chargement dynamique multiaxial. Pour cela, un nouveau protocole expérimental est développé. Avec le même montage, de faibles variations sur la géométrie des éprouvettes permettent de couvrir toute l'enveloppe de rupture, de la traction au cisaillement. Le chargement dynamique est effectué à l'aide d'une machine de traction servohydraulique.

La validité du protocole sous chargement quasi-statique est expérimentalement démontrée par comparaison avec un essai de référence dans l'existant. Les ruptures en mode II et en mode III s'avèrent équivalentes. De plus, la ténacité diminue à haute vitesse de chargement, quelque soit la mixité de mode. Enfin, un critère de rupture est défini afin de prendre en compte à la fois l'influence de la mixité de mode, et celle de la vitesse de chargement, sur la ténacité.



Évolution du taux de restitution d'énergie en fonction de la mixité de mode

Proposer une approche de complexité maîtrisée permettant de prévoir la ruine de plaques perforées composites stratifiées sur des configurations représentatives de celles utilisées dans l'industrie

Jérémy GERMAIN

Thèse soutenue le 22 janvier 2020

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

Titre de la thèse

Évaluation des capacités prédictives d'un modèle avancé pour
la prévision de la tenue de plaques stratifiées perforées

Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrant : Johann Rannou - ONERA

Directeur de thèse : Frédéric Laurin - ONERA

Financement

Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC) & ONERA

Défi scientifique

Des structures
aérospatiales
plus durantes

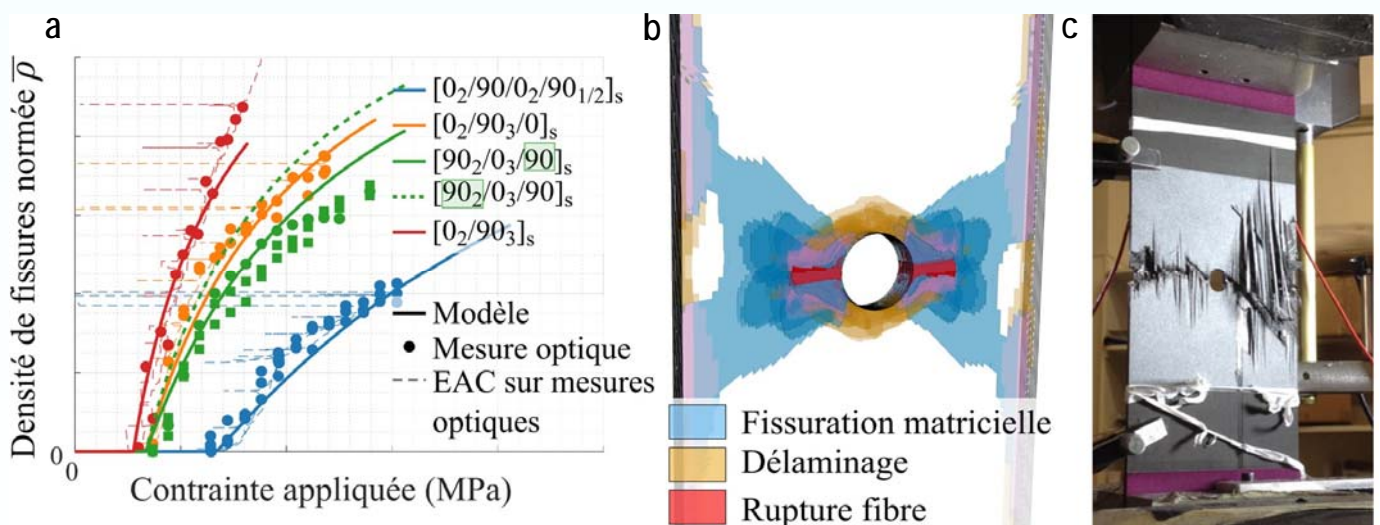
www.onera.fr/pss



Contact : [Johann.Rannou @ onera.fr](mailto:Johann.Rannou@onera.fr)

Résumé

Ce travail porte sur la prévision de la tenue en traction de structures composites trouées et d'un stratifié d'unidirectionnel carbone/époxy de dernière génération. Cette thèse s'inscrit dans le projet MARCOS, piloté par l'ONERA et DASSAULT AVIATION. Elle consiste à proposer une approche de complexité maîtrisée permettant de prévoir la ruine de plaques perforées composites stratifiées afin de réduire le conservatisme des critères de rupture utilisés en bureau d'étude, et à valider l'approche proposée sur des configurations représentatives de celles utilisées dans l'industrie. Les campagnes d'essais de traction sur plaques trouées et leurs analyses disponibles dans la littérature montrent que la fissuration matricielle et le délaminage sont des mécanismes ayant une influence sur la ruine. On s'appuie tout d'abord sur une campagne d'essais mécaniques permettant de caractériser le matériau à l'étude. Les données de ces essais permettent l'identification d'un modèle de comportement, qui est formulé à l'échelle du pli, et dont l'endommagement correspond à une densité de fissures. Les difficultés numériques associées à l'utilisation de modèles avancés dans un code de calcul par éléments-finis sont investiguées. Enfin, une vaste campagne d'essais ONERA/DASSAULT AVIATION, de traction sur plaques perforées met en évidence un effet de diamètre, comme il est classiquement observé, ainsi qu'un effet de largeur. Ce dernier consiste en l'augmentation de la contrainte macroscopique à rupture pour des rapports entre la largeur de plaque et le diamètre de trou supérieurs à 5. Ces aspects ont été peu investigués dans la littérature. On s'appuie sur la riche instrumentation associée à cette campagne d'essais pour expliquer cet effet et évaluer les capacités prédictives de l'approche proposée.



(a) prévision de la densité de fissures sur des éprouvettes 0/90
(b) simulation numérique de traction sur plaque trouée
(c) ruine expérimentale d'une plaque trouée

Améliorer la prévision de la durée de vie de structures composites oxyde/oxyde introduites dans les parties chaudes des moteurs d'avions

Distinction

3e prix « poster »
lors de la 21e édition
des Journées Natio-
nales des Composites
(2019)

Orianne SALLY

Thèse soutenue le 26 juin 2020

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

Titre de la thèse

Stratégies de calcul pour la prévision de la durée de vie de structures composites soumises à des chargements complexes : Application aux composites oxyde/oxyde

Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrants : Frédéric Laurin & Cédric Julien - ONERA
Florent Bouillon - Safran Ceramics

Directeur de thèse : Rodrigue Desmorat - ENS Paris-Saclay

Financement

CIFRE Safran Ceramics

Défi scientifique

Des structures
aérospatiales
plus durantes

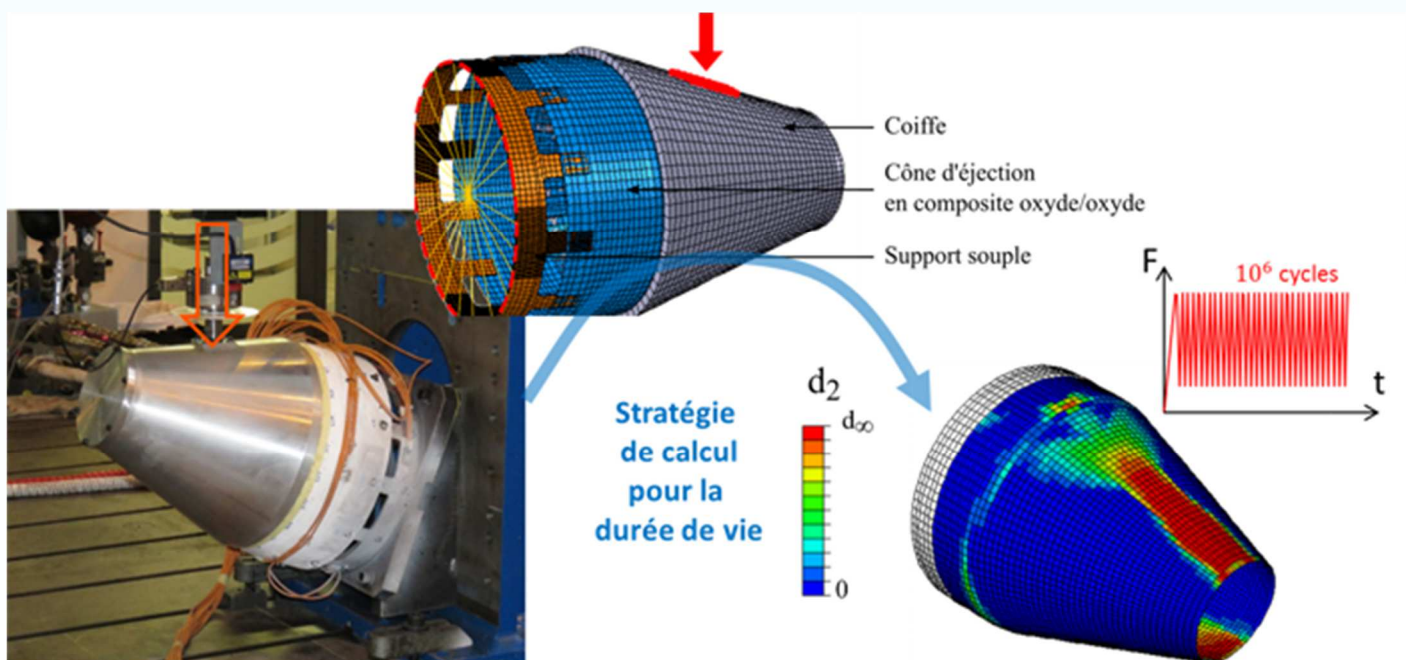
www.onera.fr/pss



Contact : Frederic.Laurin @ onera.fr

Résumé

Cette étude porte sur la prévision de l'endommagement et de la durée de vie de structures composites oxyde/oxyde, introduites dans les parties chaudes des moteurs d'avions. Elle s'inscrit dans le cadre du projet MECACOMP, piloté par Safran. Cette thèse a pour but de proposer une stratégie de calcul capable de prévoir la tenue et la durée de vie de structures composites soumises à des chargements de fatigue réels (multi-axiaux, de longue durée et potentiellement aléatoires). L'approche retenue se décompose en deux étapes. Dans un premier temps, un modèle d'endommagement, utilisant un formalisme incrémental est proposé en vue de retranscrire le comportement observé expérimentalement sur des chargements tant statiques que de fatigue. Un protocole d'identification dédié est proposé. La campagne d'essais effectuée a permis de caractériser le matériau étudié et d'identifier les paramètres de ce modèle. Toutefois, les coûts de calcul étant trop élevés pour simuler le comportement d'une structure composite soumise à un chargement de fatigue de longue durée, une stratégie de calcul a été développée dans un second temps pour réduire les temps de calcul et rendre le modèle utilisable en bureaux d'études. Il s'agit d'une méthode de sauts de cycles non-linéaire, basée sur la loi d'endommagement incrémentale proposée. Cette stratégie a été implantée dans un code de calcul de structure par Éléments Finis commercial et appliquée à des calculs de fatigue polycyclique sur des structures académiques, pour lesquelles les prévisions du modèle ont été comparées à des résultats d'essais, et de complexité industrielle.



Application de la stratégie de calcul de prévision de la durée de vie sur un cône d'éjection Oxyde/Oxyde

Mécanique des Fluides et Energétique

Défi 1 - Optimisation pluridisciplinaire et évaluation

ARNOULT Guillaume - Modélisation de la trajectoire d'un projectile gyrostabilisé muni d'un dispositif de contrôle 28

Défi 4 - Vers la maîtrise de la turbulence

CHANZY Quentin - Optimisation du contrôle fluidique de décollement en écoulement transsonique de canal 30

OTT Célestin - Caractérisation dynamique d'actionneurs fluidiques et identification expérimentale des mécanismes dynamiques d'interaction jet - couche limite induits..... 32

DEVEAUX Benjamin - Analyse et contrôle de l'écoulement de jeu d'une aube fixe isolée..... 34

BUSQUET Denis - Etude d'un écoulement turbulent à haut Reynolds autour d'un profil proche du décrochage. Une approche couplant théorie de la bifurcation et formalisme RANS..... 36

CASTELLS Camille - Étude phénoménologique du décrochage dynamique sur un rotor d'hélicoptère en vol d'avancement 38

TOUSSAINT Damien - Couche limite turbulente sur paroi rugueuse : étude expérimentale et modélisation..... 40

THORAVAL Baptiste - Étude expérimentale de la formation et du comportement de ruisselets sur une paroi 42

CARBONE Giovanni - Comportement dynamique d'un dirigeable en écoulement non homogène 44

Défi 5 - CFD 2030

HAJCZAK Antoine - Méthodes numériques d'identification des sources de bruit aérodynamique pour les trains d'atterrissage..... 46

SALEM Rami - Algorithmes de couplage aérothermique pour des applications turbomachines..... 48

SAINT-JAMES Julien - Prévion de la transition laminaire-turbulent dans le code elsA. Extension de la méthode des paraboles aux parois chauffées	50
PLANTE Frédéric - Vers la compréhension des cellules de décrochage et des cellules de tremblement transsonique	52
XAVIER Thibault - Simulation numérique directe de l'impact de SLD (Supercooled Large Droplet) sur paroi	54

Défi 7 - Des structures aérospatiales plus endurantes

BERTHELON Thomas - Réponse forcée du FAN sous ingestion de Vortex.....	56
VAN GHELE Loïc - Analyse aérothermodynamique de la rentrée atmosphérique d'un véhicule réutilisable depuis une orbite basse terrestre	58

Défi 8 - La propulsion dans toute sa complexité

CORDESSE Pierre - Contribution to the Study of Combustion Instabilities in Cryotechnic Rocket Engines: Coupling Diffuse Interface Models with Kinetic-Based Moment Methods for Primary Atomization Simulations	60
DESCLAUX Anthony - Etude expérimentale du comportement linéaire et non linéaire d'une flamme diphasique soumise à une excitation acoustique	62
CHARTON Virgile - Modélisation de l'accrétion de glace dans les turboréacteurs en condition cristaux.....	64
CROUZY Gaëtan - Modélisation thermique avancée d'une paroi multiperforée de chambre de combustion aéronautique avec dilution giratoire : modélisation et simulation des essais SAPHIR ..	66

Distinction

Jack Riegel Student
Award in Flight
Dynamics,
31st International
Symposium
on Ballistics
(2019)

Guillaume ARNOULT

Thèse soutenue le 18 novembre 2020

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

Titre de la thèse

**Modélisation de la trajectoire d'un projectile gyrostabilisé
muni d'un dispositif de contrôle**

Encadrement

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Encadrant : Mickaël Zeidler - Nexter-Munitions

Directeur de thèse : Eric Garnier - ONERA

Financement

CIFRE Nexter Munitions

Défi scientifique

Optimisation
pluridisciplinaire
et évaluation

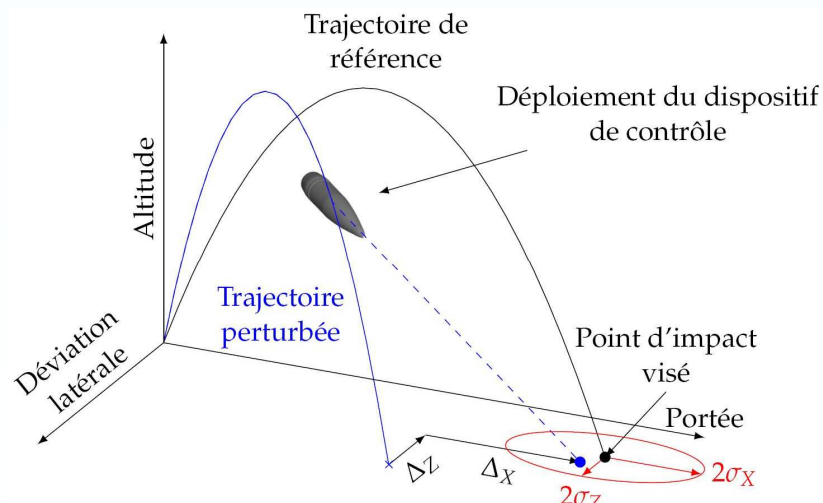
www.onera.fr/pss



Contact : Guillaume.Arnoult @ onera.fr

Résumé

L'intensification des combats en milieu urbain pousse les industriels de l'armement terrestre à développer des systèmes d'armes intégrant des dispositifs de correction de trajectoire. Le déploiement de tels dispositifs au cours du vol d'un projectile d'artillerie doit permettre de réduire l'erreur de dispersion afin de limiter au maximum les risques de dommages collatéraux. L'enjeu réside ici dans le développement d'un dispositif adapté aux conditions de vol d'un projectile gyrostabilisé. Un spoiler isolé, supposé monté sur une bague libre en rotation, est identifié comme le moyen de contrôle le plus adapté. L'objet de ces travaux consiste à développer un algorithme d'optimisation des caractéristiques géométriques d'un tel dispositif, et de démontrer qu'il possède l'autorité suffisante pour générer une modification de la portée, ainsi que de la déviation latérale du projectile. D'une part un réseau de neurones modélise les variations des coefficients aérodynamiques du spoiler à partir de résultats de simulations RANS. D'autre part, la modélisation par kriging des fonctions objectifs et contraintes tire avantage de l'estimation de l'erreur de modélisation. Ceci permet de définir des critères d'enrichissement assurant un compromis entre exploration et exploitation du domaine défini par l'ensemble des paramètres géométriques. L'application de l'algorithme d'optimisation au dimensionnement du spoiler a permis d'identifier une configuration géométrique optimale satisfaisant les objectifs de l'étude en termes de correction de trajectoire. Des simulations ZDES sur cette configuration particulière ont été réalisées dans le but de constituer un niveau de fidélité supérieur aux évaluations RANS des coefficients aérodynamiques. Elles donnent également lieu à une caractérisation physique des modifications de l'écoulement de culot engendrées par la présence du spoiler. Une campagne d'essais en soufflerie permet de valider la démarche méthodologique développée dans ces travaux et ouvre des perspectives pour de futurs travaux concernant l'inclusion de données expérimentales dans une base de données numérique, dans le cadre de méta-modèles multi-niveaux de fidélité.



Correction de l'erreur de dispersion du projectile par déploiement d'un dispositif de contrôle

Quentin CHANZY

Thèse soutenue le 20 janvier 2020

Ecole doctorale : ED 626 (IPP) - Institut Polytechnique de Paris

Titre de la thèse

Optimisation du contrôle fluidique de décollement
en écoulement transsonique de canal

Encadrement

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Directeurs de thèse : Eric Garnier & Reynald Bur - ONERA

Financement

Agence de l'Innovation de Défense (AID) & ONERA

Défi scientifique

Vers la maîtrise
de la turbulence

www.onera.fr/pss



**AGENCE
INNOVATION
DÉFENSE**

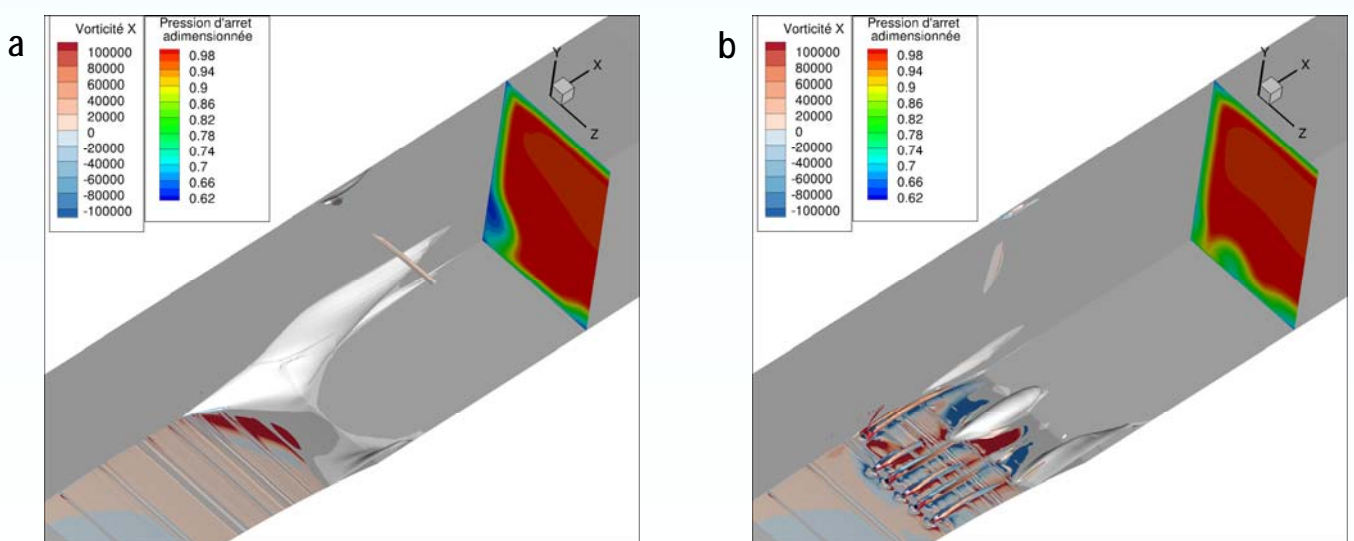
**université
PARIS-SACLAY**



Contact : Reynald.Bur @ onera.fr

Résumé

La présente étude porte sur le contrôle de l'interaction onde de choc / couche limite dans le cadre des prises d'air d'avions transsoniques. On considère une configuration d'interaction onde de choc / couche limite turbulente avec décollement dans la soufflerie transsonique S8. Des simulations Reynolds Averaged Navier Stokes (RANS) et Zonal Detached Eddy Simulation (ZDES, méthode hybride entre la méthode RANS et la méthode Large Eddy Simulation, LES) sont entreprises afin de modéliser le champ moyen et les fluctuations de l'écoulement dans la région de l'interaction. Le décollement principal en milieu de veine est contrôlé à l'aide de générateurs de tourbillons fluidiques (VGs). En utilisant la modélisation RANS, dix VGs sont positionnés selon l'envergure et en amont de l'interaction. Un premier algorithme de Krigeage est utilisé pour optimiser les angles d'incidence et de dérapage des VGs. Une configuration optimale est ainsi définie et un second algorithme de Krigeage est utilisé pour améliorer l'efficacité du contrôle du décollement de coin en ajoutant deux VGs de plus, dont les positions et angles d'orientation sont variés. Le but de ces optimisations est de minimiser la perte de pression d'arrêt en aval de l'interaction. La configuration optimale conduit à des orientations de jets à contre-courant de l'écoulement principal. Ce dispositif de contrôle ainsi qu'un contrôle plus standard (avec des jets orientés vers l'aval) sont montés dans la veine d'essais de la soufflerie transsonique. Ces configurations contrôlées, ainsi que le cas non contrôlé, sont qualifiées notamment grâce à des mesures de pressions continues et instationnaires ainsi que de la Particle Image Velocimetry (PIV) tomographique. Ces mesures permettent de quantifier avec précision l'efficacité des deux dispositifs de contrôle et confirme l'intérêt des jets orientés légèrement à contre-courant pour augmenter l'efficacité du contrôle des décollements de coin.



Pression d'arrêt adimensionnée dans un plan transverse en aval de l'interaction - Volumes de décollement délimités par les surfaces blanches dans le cas non contrôlé (a) et le cas du contrôle optimal, avec iso-surfaces de critère Q égal à 3×10^8 colorées par la vorticité longitudinale (b)

Célestin OTT

Thèse soutenue le 27 janvier 2020

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

Titre de la thèse

Caractérisation dynamique d'actionneurs fluidiques
et identification expérimentale des mécanismes
dynamiques d'interaction jet - couche limite induits

Encadrement

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Encadrant : Quentin Gallas - ONERA

Directeur de thèse : Laurent Keirsbulck - LAMIH

Financement

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

Défi scientifique

Vers la maîtrise
de la turbulence

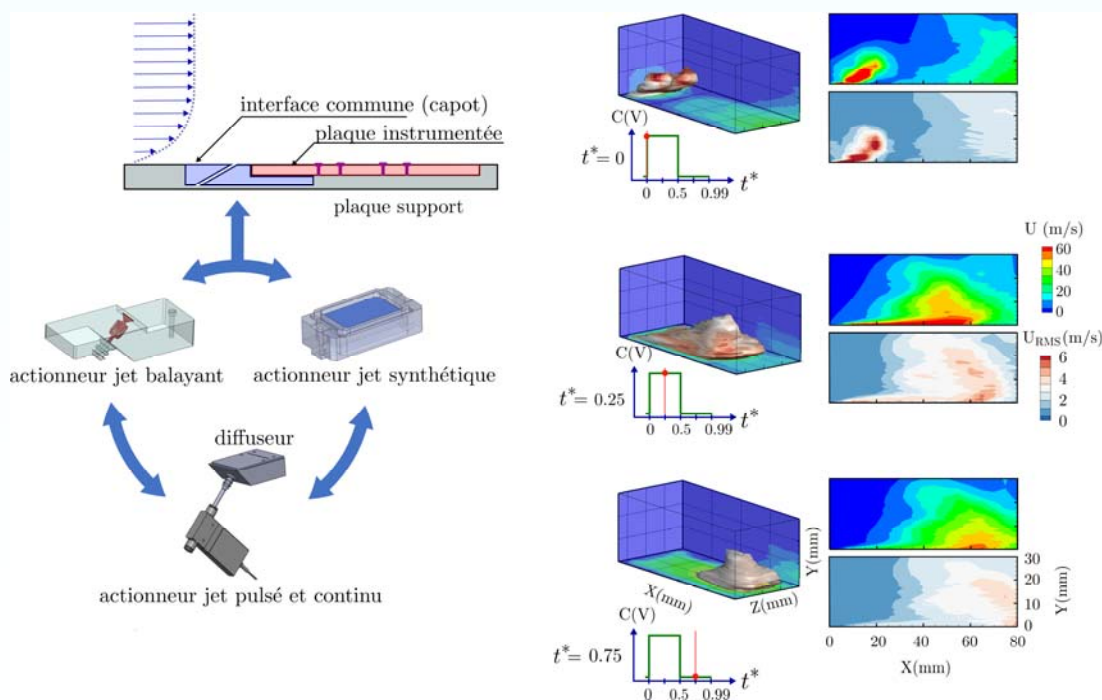
www.onera.fr/pss



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

Résumé

Le contrôle actif des écoulements est un domaine de recherche à fort potentiel applicatif. Notamment dans le domaine des transports où les problématiques ayant trait à l'amélioration des performances et à la diminution de la consommation énergétique représentent des enjeux économiques et environnementaux majeurs. Dans ce contexte, l'un des objectifs consiste à optimiser les solutions de contrôle afin d'assurer un bilan énergétique global favorable. Nous proposons dans le cadre de cette thèse de s'attaquer à la question du choix des actionneurs fluidiques (classiquement fait par essai-erreur) en affinant la compréhension de la dynamique d'interaction entre l'actionneur et l'écoulement à contrôler. Pour ce faire nous avons analysé la dynamique d'interaction entre une couche limite turbulente et quatre types d'actionneurs les plus utilisés en contrôle d'écoulements : continu, pulsé, synthétique et balayant. Ainsi, sur la base de mesures de vitesse locale résolue en temps, une méthodologie de reconstruction tridimensionnelle est développée, permettant de restituer la dynamique des écoulements. Celle-ci est basée sur deux approches, l'une faisant intervenir un traitement conditionnel et l'autre un réseau de neurones. Ces méthodes permettent de caractériser la dynamique intrinsèque des écoulements induits par les actionneurs, mais également celle de leurs interactions avec l'écoulement de couche limite à contrôler. Ces caractérisations permettent de mettre en évidence les phénomènes physiques mis en jeu ainsi que les mécanismes de contrôle qui leur sont associés. Ces résultats pourront être utilisés dans de futures études de contrôle d'écoulements afin d'optimiser le choix d'un actionneur fluidique en fonction de la configuration et de l'objectif de contrôle.



Montage expérimental et illustration de l'interaction d'un jet pulsé dans une couche limite turbulente

Benjamin DEVEAUX

Thèse soutenue le 11 mars 2020

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

Titre de la thèse

Analyse et contrôle de l'écoulement de jeu
d'une aube fixe isolée

Encadrement

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Encadrants : Vincent Brion & Julien Marty - ONERA

Directeur de thèse : Antoine Dazin - LMFL Kampé de Fériet/Arts et Métiers

Financement

Agence Nationale de la Recherche (ANR) & ONERA

Défi scientifique

Vers la maîtrise
de la turbulence

www.onera.fr/pss

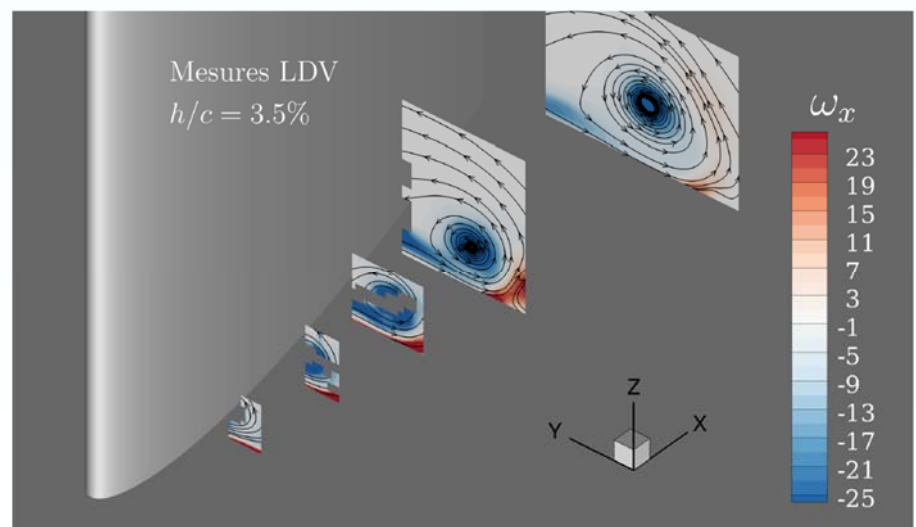


Contact : Vincent.Brion @ onera.fr

Résumé

Réduire l'impact environnemental de l'aviation requiert le développement de turboréacteurs plus légers et consommant moins de carburant. En particulier, cela nécessite d'augmenter le rendement des compresseurs axiaux et d'étendre leur domaine de fonctionnement stable. Les limitations des compresseurs actuels viennent essentiellement de l'écoulement traversant le jeu entre l'extrémité des aubes du rotor et le carter. L'objectif de cette étude est donc de décrire en détail cet écoulement de jeu afin d'en évaluer la sensibilité aux paramètres de conception ainsi que la réceptivité à des dispositifs de contrôle par injection d'air au carter. Pour cela, on considère une géométrie simplifiée qui est constituée d'une aube fixe isolée, placée perpendiculairement à une plaque plane représentant le carter. Cette simplification facilite la mise en place de mesures optiques ainsi que le réglage de la taille du jeu, de l'épaisseur de la couche limite incidente au carter et du chargement de l'aube. L'analyse de cette configuration simplifiée s'appuie sur la complémentarité des mesures en soufflerie et simulations numériques. La taille du jeu est le paramètre principal qui affecte l'écoulement de jeu. L'épaisseur de la couche limite incidente au carter et le chargement de l'aube ont également un effet visible sur la position latérale du tourbillon de jeu. Le calcul du taux de création d'entropie local a permis d'identifier plusieurs zones de pertes dans l'écoulement. Ensuite, les pertes de pression totale ont été décomposées en la somme d'un terme lié au tourbillon et d'un autre lié au déficit de vitesse longitudinale. Ce terme lié au tourbillon est responsable de l'augmentation des pertes de pression totale avec la taille du jeu. Enfin, un modèle empirique a été développé pour estimer la circulation du tourbillon de jeu ainsi que les pertes de pression totale en fonction de la taille du jeu. Un système d'injection continue d'air dans le jeu a été évalué, les jets étant orientés perpendiculairement au carter. D'une part, cette stratégie de contrôle permet de rapprocher le tourbillon de jeu de l'aube, ce qui pourrait permettre d'augmenter le domaine de fonctionnement stable d'un compresseur.

D'autre part, le champ de vorticité axiale dans le tourbillon de jeu devient plus homogène, ce qui serait intéressant pour limiter les interactions rotor-stator. Cependant cette approche tend à augmenter les pertes de pression totale et perd en efficacité avec un élargissement du jeu.



Visualisation du tourbillon de jeu en extrémité d'aube par mesures LDV dans des plans transverses

**Mieux comprendre l'origine du décrochage
et des phénomènes associés
grâce à des simulations numériques**

Denis BUSQUET

Thèse soutenue le 24 juin 2020

Ecole doctorale : ED 626 (IPP) - Institut Polytechnique de Paris

Titre de la thèse

**Etude d'un écoulement turbulent à haut Reynolds autour
d'un profil proche du décrochage. Une approche couplant
théorie de la bifurcation et formalisme RANS**

Encadrement

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Encadrants : Olivier Marquet & François Richez - ONERA

Directeurs de thèse : Denis Sipp - ONERA

Matthiew Juniper - University of Cambridge

Financement

Agence de l'Innovation de Défense (AID)

Défi scientifique

Vers la maîtrise
de la turbulence

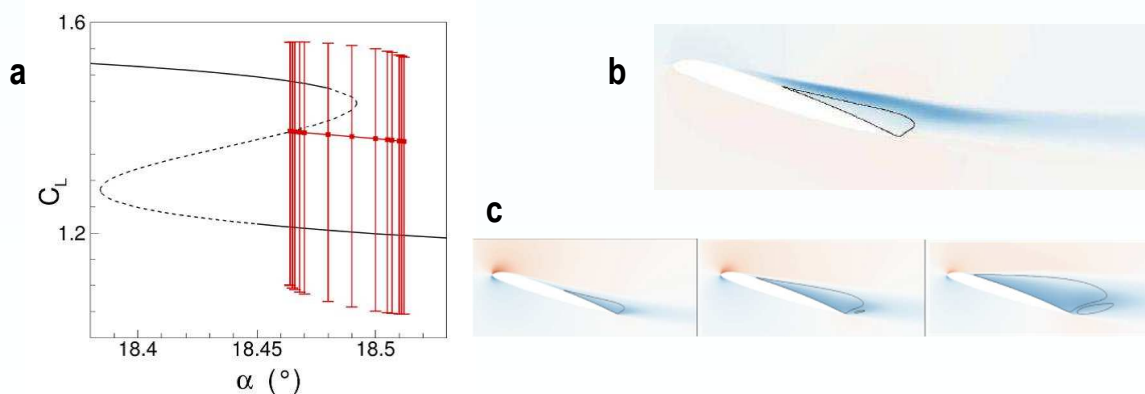
www.onera.fr/pss



Contact : Olivier.Marquet @ onera.fr

Résumé

Le décrochage est un phénomène qui limite considérablement l'enveloppe de vol des avions et hélicoptères. Il est souvent décrit comme la chute soudaine de la portance lorsque l'angle d'incidence d'une aile augmente, mais d'autres phénomènes sont aussi observés dans cette plage d'angle d'incidence. L'hystérésis des coefficients aérodynamiques moyens est ainsi associé à l'existence de solutions moyennes qui diffèrent selon que l'angle d'incidence est augmenté ou diminué. Leur oscillation temporelle se caractérise par une fréquence adimensionnée ($St \sim 0.02$) d'un ordre de grandeur plus faible que celle associée au lâcher tourbillonnaire ($St \sim 0.2$) qui apparaît pour de plus grandes incidences. Cette thèse apporte un nouvel éclairage à l'apparition de ces deux phénomènes grâce à une analyse de bifurcation de l'écoulement turbulent autour d'un profil de pale d'hélicoptère (OA209) à bas nombre de Mach ($M \sim 0.2$) et haut nombre de Reynolds ($Re \sim 1.8 \times 10^6$). Une combinaison de diverses approches numériques et théoriques (simulations instationnaires, continuation de solutions stationnaires, stabilité linéaire, suivi de solutions périodiques) mise en place dans le cadre des équations de Navier-Stokes moyennée selon Reynolds (RANS) modélisant l'écoulement turbulent, a permis de réaliser le diagramme de bifurcation représenté ci-dessous. L'analyse de stabilité globale des solutions stationnaires correspondant aux trois branches de solutions identifiées autour de l'angle de décrochage (figure a) ont montré l'existence d'un mode de décrochage instable (figure b) qui conduit à une oscillation basse-fréquence et grande amplitude du point de décollement et de la région de recirculation se formant au bord de fuite (figure c). Un modèle non-linéaire du second ordre en temps, calibré sur les états stationnaires et leur propriété de stabilité linéaire, a permis d'élucider la disparition de ces oscillations basse-fréquences (en rouge sur la figure a). Lorsque l'incidence diminue, le cycle limite disparaît par collision avec la branche de solution stationnaire instable, tandis que la nature sous-critique de la bifurcation de Hopf existant sur la branche de faible portance explique sa disparition lorsque l'incidence augmente.



(a) Solution stationnaires (noir) et instationnaires (rouges) représentées dans un diagramme coefficient de portance en fonction de l'angle d'incidence. Les solutions stationnaires représentées (courbes noires hachurées) sont instables au (b) mode de décrochage basse-fréquence donnant naissance au cycle limite d'oscillation

Utiliser les outils de simulation aéroélastique pour identifier les mécanismes déclencheurs du décrochage dynamique sur des rotors d'hélicoptère fortement chargés

Camille CASTELLS

Thèse soutenue le 9 décembre 2020

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

Titre de la thèse

Étude phénoménologique du décrochage dynamique sur un rotor d'hélicoptère en vol d'avancement

Encadrement

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Encadrant : François Richez - ONERA

Directeur de thèse : Michel Costes - ONERA

Financement

Agence de l'Innovation de Défense (AID) & ONERA

Défi scientifique

Vers la maîtrise
de la turbulence

www.onera.fr/pss



**AGENCE
INNOVATION
DÉFENSE**



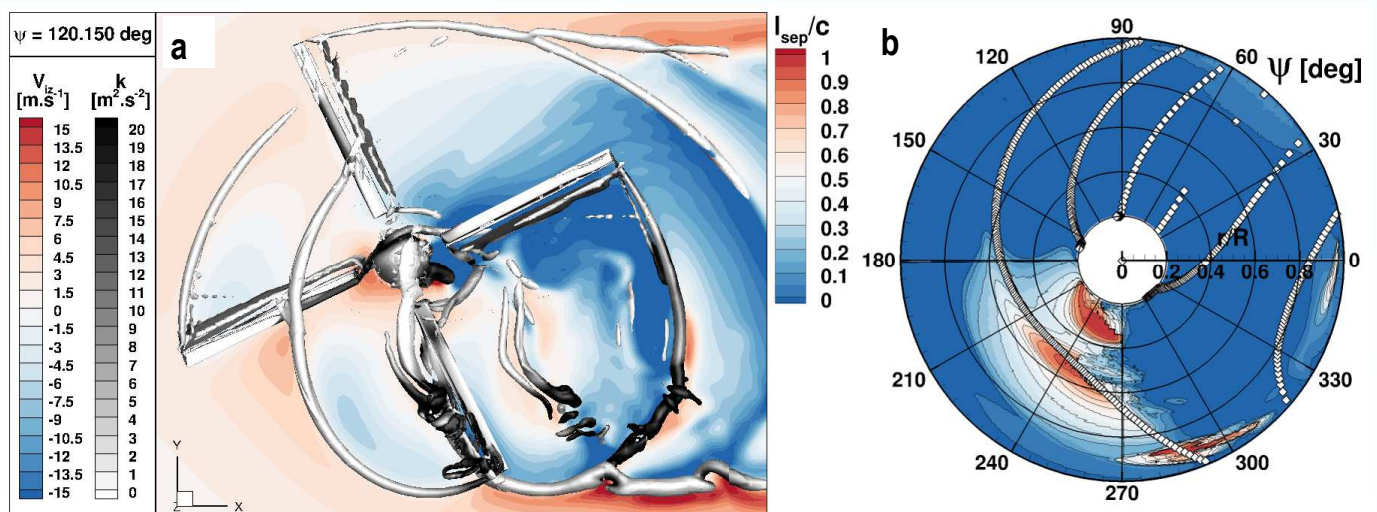
**SORBONNE
UNIVERSITÉ**
CRÉATEURS DE FUTURS
DEPUIS 1257



Contact : François.Richez @ onera.fr

Résumé

Le décrochage dynamique se produit sur les rotors d'hélicoptère fortement chargés ou à grande vitesse d'avancement. Il engendre des efforts dynamiques importants et d'intenses vibrations, limitant le domaine de vol des hélicoptères. L'objectif de ces travaux de thèse est de mettre à profit les outils de simulation aéroélastique afin d'identifier les mécanismes déclencheurs du décrochage dynamique en conditions réalistes d'un vol d'avancement à forte charge. Le dépouillement de bases de données d'essais rotor de l'ONERA, conforté par des simulations "basse fidélité", a permis de sélectionner un ensemble de points d'essais pertinents et représentatifs du décrochage dynamique, pour différentes conditions de vol et géométries de pale. L'analyse détaillée des configurations sélectionnées s'appuie sur des calculs de couplage faible entre le code fluide elsA et le code structure HOST. Des outils de post-traitement ont été développés et utilisés pour localiser et caractériser les décollements de la couche limite, ainsi que pour en identifier les mécanismes déclencheurs. L'analyse de ces post-traitements révèle différentes régions de décollement sur le disque rotor. Nous observons notamment un décollement subsonique dans le troisième quadrant fortement influencé par une interaction pale-tourbillon. D'autre part, des décollements en pied de choc apparaissent sur la pale arrière et sur le premier quadrant pour lesquels la réponse en torsion est impliquée. Une étude a été menée afin d'isoler chacun de ces mécanismes, et plus particulièrement l'interaction pale-tourbillon. Pour cela, nous avons réalisé des simulations simplifiées modélisant une pale isolée non-tournante soumise ou non à une telle interaction. Les résultats semblent confirmer que cette interaction pale-tourbillon joue un rôle majeur dans le déclenchement du décrochage dynamique pour de nombreuses configurations de vol d'avancement.



(a) Visualisation de l'interaction pale-tourbillon à l'origine du décrochage dynamique sur la pale reculante

(b) Cartographie de l'étendue du décollement corrélée au région d'interaction pale-tourbillon (losange blanc)

Distinction

Prix doctorant ONERA
(2020)

Damien TOUSSAINT

Thèse soutenue le 12 novembre 2020

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

Titre de la thèse

**Couche limite turbulente sur paroi rugueuse :
étude expérimentale et modélisation**

Encadrement

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Encadrant : Olivier Léon - ONERA

Directeur de thèse : François Chedevert - ONERA

Financement

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

Défi scientifique

Vers la maîtrise
de la turbulence

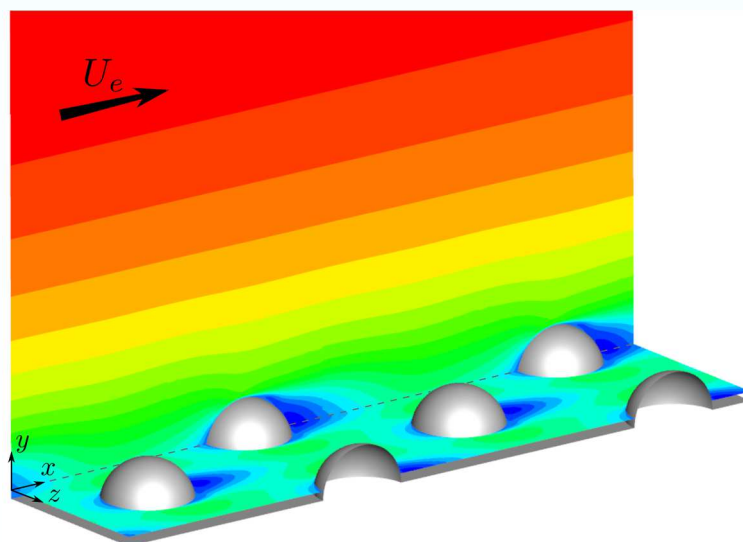
www.onera.fr/pss



Contact : Olivier.Leon @ onera.fr

Résumé

Les écoulements turbulents sur parois rugueuses apparaissent dans de nombreuses situations environnementales ou industrielles, notamment dans l'aéronautique. Par rapport au cas idéal d'une paroi lisse, une augmentation de traînée et du flux de chaleur pariétal, susceptible de dégrader les performances d'un système (aile, machine tournante...), est induite par les rugosités. La prise en compte des effets des rugosités est ainsi souhaitable dans tout processus de conception. Plusieurs approches permettent de modéliser les effets de ces rugosités. Dans le cadre de cette étude, on considère la Méthode par Eléments Discrets Rugueux (DERM). Celle-ci, dont l'objectif est de représenter de manière moyennée l'influence d'une paroi rugueuse sur un écoulement, est obtenue en appliquant une moyenne de volume et d'ensemble aux équations de Navier-Stokes. De nouveaux termes, notamment de traînée des rugosités et de tensions turbulentes et dispersives, apparaissent alors dans les équations. Cette étude consiste donc à proposer des pistes de fermeture pour ces termes. Pour ce faire, une campagne de mesures par LDV est réalisée afin de caractériser un écoulement de couche limite turbulente sur paroi rugueuse. Un accent particulier est accordé à l'obtention de mesures au plus près des rugosités, notamment dans leurs sillages, là où la littérature est pauvre en données. Une base de données numérique d'écoulements de canal turbulents sur paroi rugueuse est également constituée à l'aide de simulations RANS réalisées sur des rugosités résolues. Les résultats numériques sont confrontés aux mesures afin de s'assurer qu'ils sont bien représentatifs de l'écoulement réel. Ils sont enfin analysés afin de mettre en lumière le comportement des termes de l'approche DERM et de contribuer à leur fermeture.



Résultat de simulation RANS d'un écoulement de canal sur une surface rugueuse composée d'hémisphères uniformément répartis : champs de vitesse axiale moyenne dans deux plans orthogonaux

Etudier la formation et le comportement
des ruisselets produits par les systèmes
de dégivrage pour mieux les dimensionner

Baptiste THORAVAL

Thèse soutenue le 25 septembre 2020

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

Titre de la thèse

Étude expérimentale de la formation et du comportement
de ruisselets sur une paroi

Encadrement

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Encadrants : Pierre Berthoumieu & Claire Laurent - ONERA

Directeur de thèse : Pierre Gajan - ONERA

Financement

Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC) & ONERA

Défi scientifique

Vers la maîtrise
de la turbulence

www.onera.fr/pss



Université
de Toulouse

Contact : Pierre.Gajan @ onera.fr

Résumé

La formation de givre sur les profils aéronautiques présente un risque important pour la sécurité des appareils. Afin de prévenir cette formation, des stratégies d'antigivrage thermiques basées sur un chauffage du bord d'attaque sont mises en place. Toutefois les études montrent que l'eau formée est entraînée par le cisaillement d'air extérieur vers l'arrière de l'aile sous forme d'un film continu pouvant se transformer en ruisselets parallèles modifiant ainsi les échanges dynamiques et thermiques entre la paroi, l'eau et l'air externe. Cette transition film/ruisselets joue un rôle important dans la formation du givre et doit être prise en compte dans les modèles physiques.

La formation de ces ruisselets résulte de l'interaction entre des forces externes (volumique ou surfacique) ou interne (visqueuse ou capillaire). L'approche suivie permet de faire varier ces interactions en modulant la nature et l'intensité des forces en jeu. Deux dispositifs sont étudiés : La plaque inclinée, sur laquelle le liquide s'écoule par gravité et le disque tournant, où un volume de liquide s'étale sous l'action de la force centrifuge. L'étude du premier dispositif permet d'observer deux états d'équilibre se caractérisant par les trajectoires des lignes triples externes qui, soit se rétractent vers l'axe de symétrie engendrant un pincement du liquide, soit restent fixe formant un film à bords parallèles. Les travaux montrent que ces états, liés au comportement des ruisselets et des arches sèches apparaissant lors d'une phase transitoire, résultent d'un phénomène d'hystérésis caractérisant l'ancrage d'une ligne triple en fonction de l'angle de contact imposé par les différentes forces en jeu. Les études sur le disque tournant permettent de compléter les résultats de la littérature obtenus majoritairement avec des huiles parfaitement mouillantes et fortement visqueuses en considérant des liquides partiellement mouillants et dont la viscosité se rapproche de l'eau. Les observations montrent l'influence de la force de Coriolis sur le comportement des ruisselets se caractérisant soit par des trajectoires rectilignes, soit par un écoulement en spirale. Elles mettent également en évidence l'effet de l'état de surface sur la formation des ruisselets.

L'analyse réalisée permet de conclure sur la nécessité d'approfondir l'étude des phénomènes capillaire et visqueux à proximité de la ligne triple pour améliorer la modélisation des phénomènes et leur prise en compte dans les codes de givrage développés en particulier à l'ONERA.



Comportement d'un liquide déposé sur un disque en rotation. De gauche à droite :
- Ruisselets axiaux (glycérine pure ($\eta=1400$ mPa.s) sur disque poli)
- Ruisselet en spirale (eau ($\eta=1$ mPa.s) sur disque anodisé)
- Ruisselet intermédiaire (eau/glycérine ($\eta=90$ mPa.s) sur disque poli)

**Mieux comprendre les phénomènes
aérodynamiques qui s'appliquent sur un dirigeable
pour mieux en dimensionner les gouvernes et le
système propulsif**

Giovanni CARBONE

Thèse soutenue le 9 novembre 2020

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

Titre de la thèse

**Comportement dynamique d'un dirigeable en écoulement
non homogène**

Encadrement

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Encadrants : Dominique Farcy - ONERA

Guillaume Martinat - FLYING WHALES

Directeur de thèse : Jean-Luc Harion - IMT Lille Douai

Financement

CIFRE FLYING WHALES

Défi scientifique

Vers la maîtrise
de la turbulence

www.onera.fr/pss

**FLYING
WHALES**

anrt
association nationale
recherche technologie

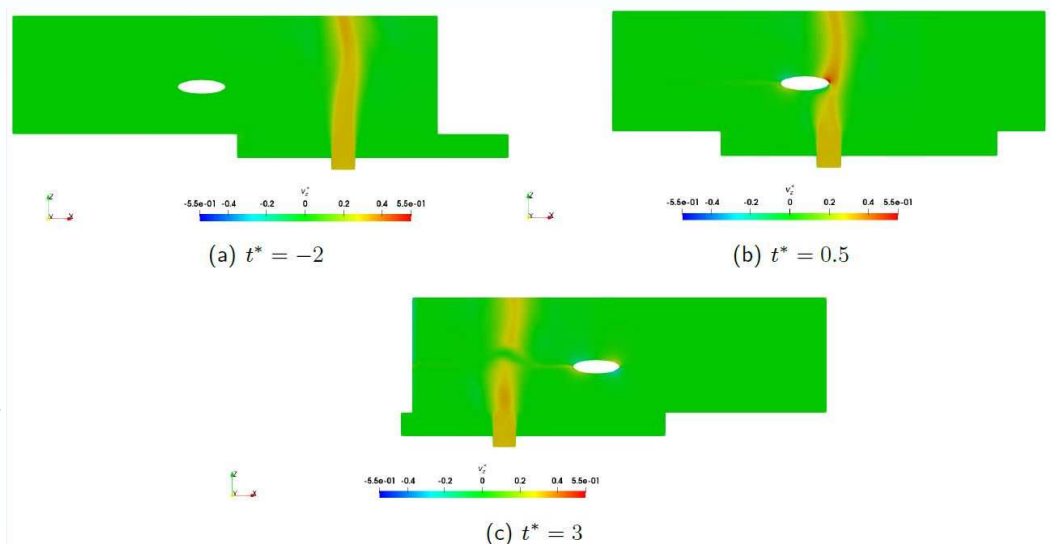
**Université
de Lille**

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Contact : Dominique.Farcy @ onera.fr

Résumé

L'objectif de cette thèse est d'étudier l'aérodynamique d'un dirigeable dans des conditions d'écoulement instationnaires et non homogènes, en décrivant sa dynamique au moyen de modèles simples et d'outils de calcul rapides et efficaces. En raison de leur « légèreté », les dirigeables sont plus sensibles aux perturbations de l'air. Cela a un impact important sur leur contrôlabilité et par conséquent sur le dimensionnement des gouvernes et du système propulsif. Les phénomènes aérodynamiques liés à la notion de masses et inerties ajoutées, qui sont observés pendant les phases de mouvement relatif accéléré du dirigeable, sont un terme supplémentaire à prendre en compte pour l'évaluation des efforts aérodynamiques. Elles dépendent de la densité du fluide, de la géométrie du corps et du repère choisi. Ces contributions sont généralement négligées lors de l'étude de corps « lourds » tels que les avions, car leur densité est nettement supérieure à celle de l'air. Au contraire, pour les dirigeables, ces termes sont du même ordre de grandeur que leur masse et leur moment d'inertie et représentent donc un aspect fondamental à prendre en compte pour décrire correctement leur dynamique. Nos études sur les masses et inerties ajoutées ont été réalisées par des simulations numériques en fluides parfait et visqueux. Un code numérique pour le calcul de ces termes a été développé afin d'obtenir en un temps réduit une estimation très précise sur des configurations complexes (géométries génériques en présence de parois externes). La présence de perturbations et de gradients de vitesse dans l'atmosphère est à l'origine d'efforts aérodynamiques supplémentaires d'importance majeure pour les dirigeables. Ces phénomènes ont été analysés au moyen de simulations numériques CFD instationnaires. Un modèle simplifié de reconstruction des efforts aérodynamiques a été proposé, basé sur des résultats stationnaires, qui permet de prédire avec précision les caractéristiques aérodynamiques du corps. Enfin, nous avons proposé un modèle complet de la dynamique des dirigeables qui, à l'avenir, pourra être analysé et validé par des tests expérimentaux ou numériques sur des configurations génériques de dirigeables dans des écoulements instationnaires et perturbés.



Simulation numérique de la traversée d'une zone de vent latéral

Mieux comprendre les mécanismes aéroacoustiques à l'origine du bruit généré par les trains d'atterrissage en phase d'approche

Antoine HAJCZAK

Thèse soutenue le 7 janvier 2020

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

Titre de la thèse

Méthodes numériques d'identification des sources de
bruit aérodynamique pour les trains d'atterrissage

Encadrement

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Encadrant : Laurent Sanders - ONERA

Directeur de thèse : Philippe Druault - Sorbonne Université

Financement

ONERA

Défi scientifique

CFD 2030

www.onera.fr/pss

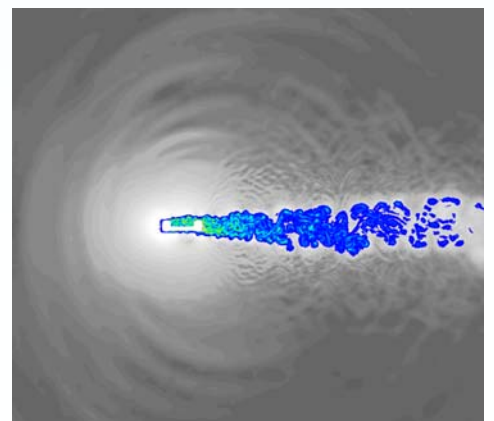


Contact : Antoine.Hajczak @ onera.fr

Résumé

Les nuisances sonores occasionnées par le trafic aérien conduisent les acteurs du secteur aéronautique à mener des recherches dans le but de les réduire. Ce travail de thèse porte sur la contribution des trains d'atterrissage, dominante en phase d'approche. Il s'inscrit dans la continuité de travaux antérieurs menés à l'ONERA et qui ont conduit à l'établissement d'une stratégie de simulation numérique précise et efficace permettant de prédire fidèlement l'écoulement autour d'un train d'atterrissage, ainsi que le bruit généré par cet écoulement. Malgré la précision de ces calculs, les mécanismes physiques à l'origine du bruit restent relativement mal identifiés. Cette thèse s'est concentrée sur un sous-composant essentiel du train d'atterrissage – la roue – en étudiant ses sources de bruit dans une configuration isolée. La majeure partie des travaux s'est appuyée sur la simulation numérique de l'écoulement autour d'une roue simplifiée de train. Deux approches complémentaires ont été considérées pour tenter d'identifier les sources de bruit présentes dans cette configuration. La première a adopté le formalisme de l'analogie acoustique. La contribution relative des sources dipolaires et quadripolaires a été évaluée par application de l'analogie de Ffowcs-Williams et Hawkings et on a montré que les secondes dominent les premières lorsque le produit MSt est supérieur à l'unité. Une interprétation de ce résultat a été proposée à l'aide d'un algorithme de beamforming appliqué à la pression calculée en champ lointain, permettant d'identifier des sources de bruit dans le sillage de la roue lorsque celle-ci n'est plus compacte acoustiquement. La seconde approche a consisté à rechercher un lien causal entre le champ acoustique et les variables aérodynamiques de l'écoulement. Le champ de pression issu de la simulation numérique nécessitant d'être filtré afin d'en extraire sa partie acoustique, des méthodes de filtrage basées sur la transformée de Fourier spatio-temporelle et sur la transformée en ondelettes ont été mises en œuvre. La méthode reposant sur la transformée de Fourier s'est avérée la plus en accord avec les résultats attendus. Les signaux ainsi filtrés ont été utilisés comme signaux conditionneurs dans un algorithme d'estimation stochastique linéaire afin de reconstruire les structures turbulentes impliquées dans la génération de bruit. Les résultats préliminaires semblent confirmer le rôle dominant joué par la diffraction du bord aval de la cavité dans l'émission sonore. Enfin, une dernière approche a été proposée pour traiter le cas particulier des résonances acoustiques de nature déterministe. Pour cela, la méthode des éléments de frontière a été utilisée avec succès pour résoudre l'équation d'Helmholtz entre les cavités cylindriques face-à-face du train LAGOON, confirmant l'hypothèse de résonance au sein de l'espace annulaire ainsi formé et montrant l'intérêt d'une telle méthode pour s'affranchir des limites inhérentes à la modélisation analytique de ce type de configuration.

Contours instantanés du module de la vorticité et du gradient de pression dans un plan médian de la roue LAGOON



Améliorer la robustesse des simulations aérothermiques couplées dans les turbomachines

Rami SALEM

Thèse soutenue le 15 juillet 2020

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

Titre de la thèse

**Algorithmes de couplage aérothermique pour
des applications turbomachines**

Encadrement

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Encadrant : Julien Marty - ONERA

Directeur de thèse : Marc-Paul Errera - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

CFD 2030

www.onera.fr/pss

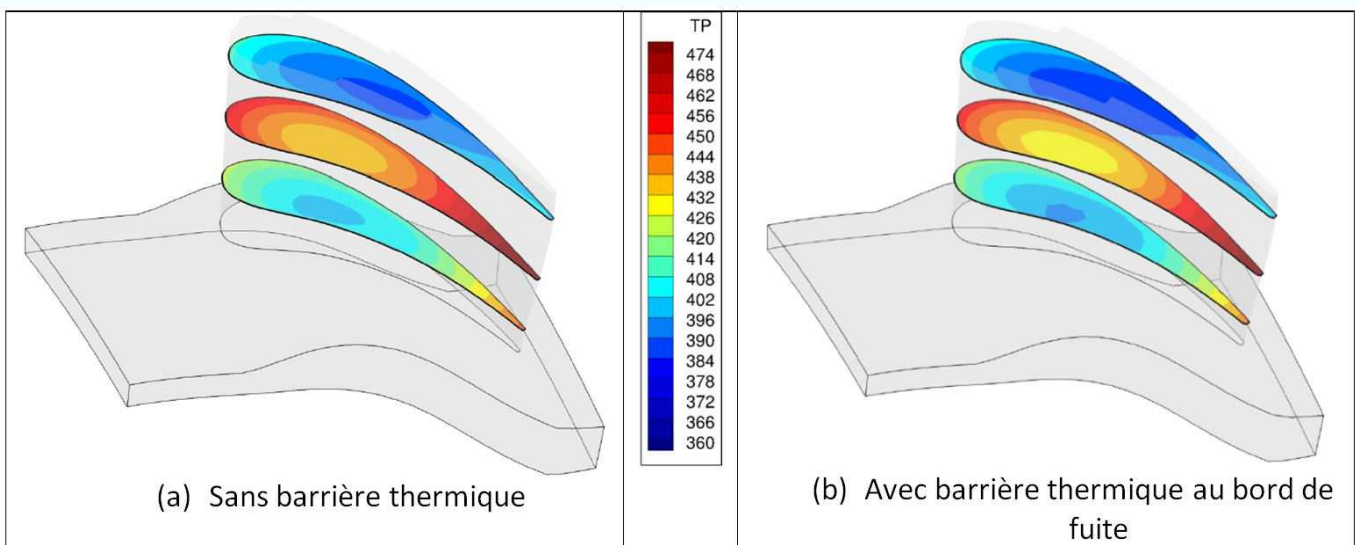
université
PARIS-SACLAY

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Contact : Julien.Marty @ onera.fr

Résumé

Dans certaines configurations, en particulier dans les turbines haute pression, l'aspect thermique dans les performances aérodynamiques est primordial. La recherche d'une température totale en sortie de chambre de combustion i.e. en entrée de turbine, de plus en plus élevée, oblige les motoristes à réduire les incertitudes sur l'environnement thermique des aubages, qu'ils soient refroidis ou non. Il est alors important de réaliser des simulations aérothermiques couplées d'application turbomachine. Les problématiques sont alors : (i) de déterminer la stratégie de couplage à la fois stable, robuste et précise, en particulier de gérer correctement l'interface fluide-solide avec des conditions limites adéquates, (ii) étudier l'influence des flux thermiques sur les performances aérodynamiques et enfin (iii) étendre la méthode de couplage pour une résolution instationnaire de l'écoulement. La méthode ainsi développée conduit à une stabilité inconditionnelle du processus couplé tout en gardant des temps de calculs raisonnables.



Contours de température dans le distributeur de la configuration MT1 : refroidissement à l'aide de barrière thermique

Julien SAINT-JAMES

Thèse soutenue le 16 décembre 2020

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

Titre de la thèse

**Prévision de la transition laminaire-turbulent dans le code
elsA. Extension de la méthode des paraboles aux parois
chauffées**

Encadrement

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Encadrant : Olivier Vermeersch - ONERA

Directeurs de thèse : Estelle Piot & Hugues Deniau - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

CFD 2030

www.onera.fr/pss



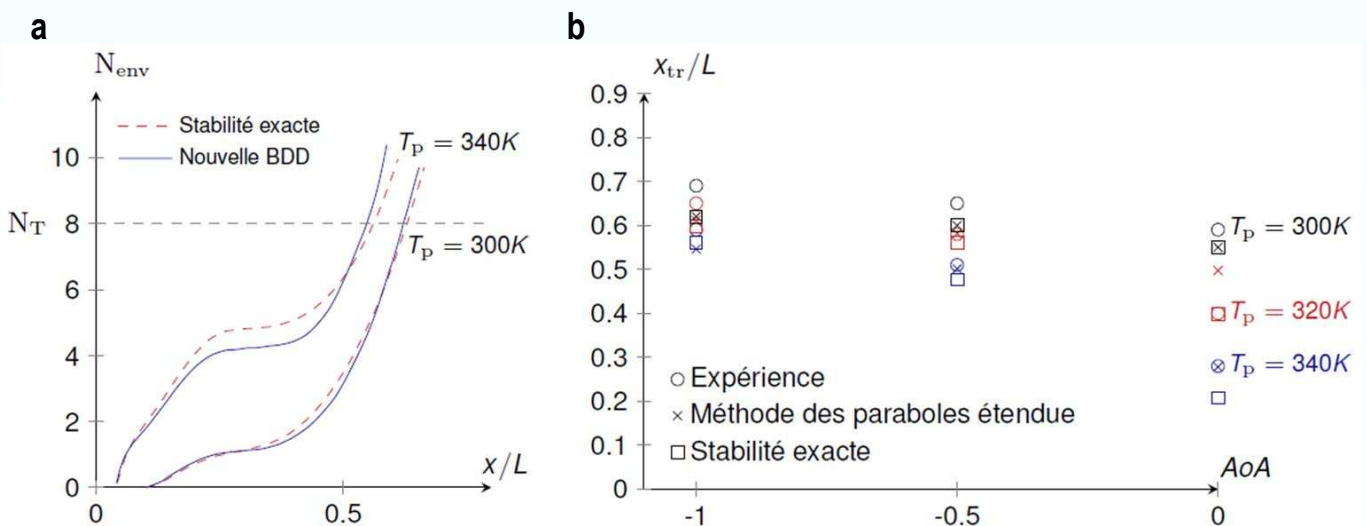
**Université
de Toulouse**



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

Résumé

La prévision de la transition laminaire-turbulent de la couche limite est un élément primordial pour réduire le frottement aérodynamique des avions et par conséquent réduire la consommation spécifique de ces derniers. Numériquement, la transition peut être calculée précisément à l'aide d'une étude de stabilité des profils de couche limite. Cette approche coûteuse ne peut être aisément utilisée dans les solveurs RANS industriels. Pour pallier à ce problème, une méthode de type base de données, la méthode des paraboles, a été développée à l'ONERA depuis une trentaine d'années. Lors d'une précédente thèse, cette méthode a été implantée dans le solveur RANS elsA. Les travaux de cette thèse portent sur l'extension de la méthode des paraboles aux parois chauffées, représentatives des dispositifs anti-givrage placés sur les ailes et les nacelles des avions. Pour cela, une nouvelle base de données a été mise en place à partir d'une campagne de calculs de stabilité exacte. Ensuite, la recherche d'un paramètre permettant la prise en compte de la température de paroi a été réalisée. Enfin, la nouvelle base de données a été confrontée à des résultats expérimentaux avec un chauffage de paroi uniforme et à des configurations plus proches d'un dispositif anti-givrage (chauffage non-uniforme de la paroi).



(a) Evolution des facteurs N sur le profil OneraD pour un angle d'attaque $AoA = -1^\circ$ pour deux températures de paroi

(b) Prévision de la transition par la méthode des paraboles sur le profil OneraD pour plusieurs angles d'attaque et température de paroi. Comparaison à la stabilité exacte

Etudier numériquement les cellules de décrochage pour améliorer la compréhension des phénomènes de décrochage et de tremblement transsonique

Frédéric PLANTE

Thèse soutenue le 10 décembre 2020

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

Titre de la thèse

**Vers la compréhension des cellules de décrochage et
des cellules de tremblement transsonique**

Encadrement

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Directeurs de thèse : Eric Laurendeau - Polytechnique Montréal
Julien Dandois - ONERA

Financement

Gouvernement Canadien & ONERA

Défi scientifique

CFD 2030

www.onera.fr/pss

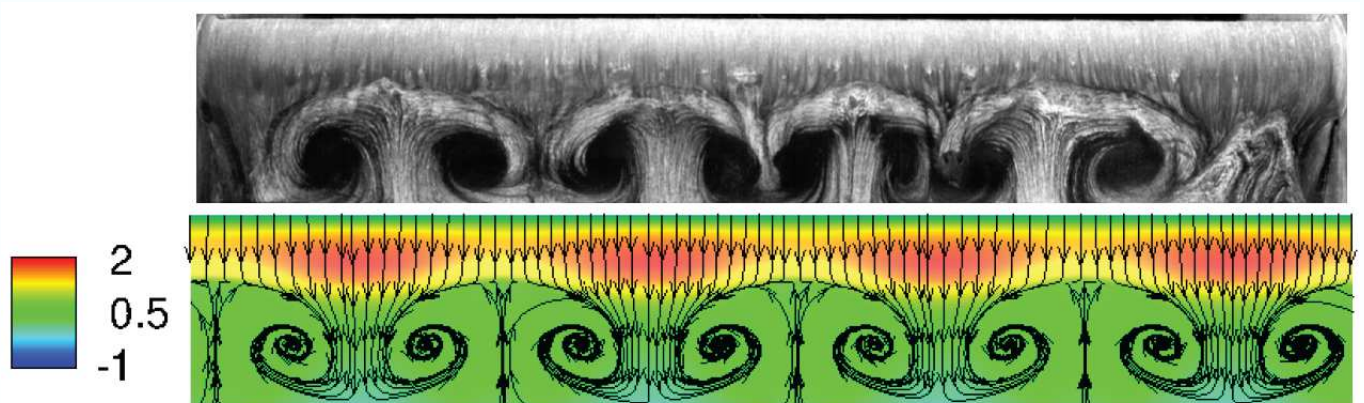


Contact : Julien.Dandois @ onera.fr

Résumé

L'enveloppe de vol des avions civils est limitée par plusieurs phénomènes aérodynamiques. Parmi ceux-ci figurent le décrochage et le tremblement transsonique. Le décrochage est une perte de portance causée par la séparation de l'écoulement à forte incidence, alors que le tremblement est une instationnarité de l'interaction entre une onde de choc et la couche limite séparée. Dans ces deux conditions, des effets tridimensionnels appelés respectivement cellules de décrochage et cellules de tremblement sont observés. En condition transsonique, ces dernières sont associées à des fréquences de tremblement plus élevées en 3D qu'en 2D.

Le but de cette thèse est d'améliorer la compréhension de ces phénomènes. Des simulations des équations Reynolds-Averaged Navier-Stokes et des Zonal Detached Eddy Simulations sont utilisées pour caractériser ces phénomènes sur des ailes en flèche infinie. Ces analyses montrent des cellules statiques pour les ailes sans flèche, et leur convection lorsque l'aile est en flèche. Par la suite, des analyses de la stabilité globale sont utilisées pour étudier la transition entre l'état 2D et 3D. Un mode instable similaire est observé entre les deux régimes d'écoulement, expliquant ainsi la présence de ces cellules. Finalement, un modèle basse-fidélité basé sur la théorie des surfaces portantes est utilisé. Ce dernier prédit les cellules de décrochage lorsque la pente du coefficient de portance est négative. Ces résultats indiquent que les cellules de tremblement sont causées par une instabilité analogue à celle causant les cellules de décrochage. On peut ainsi remettre en question l'interprétation classique du tremblement 3D.



*Visualisation des cellules de décrochage.
en haut : essai en soufflerie de Schewe (2001), en bas : simulation elsA RANS*

Développer une méthode de simulation numérique pour mieux comprendre la physique de l'impact de goutte à basse et haute vitesse sur différents types de parois

Thibault XAVIER

Thèse soutenue le 17 février 2020

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

Titre de la thèse

Simulation numérique directe de l'impact de SLD
(Supercooled Large Droplet) sur paroi

Encadrement

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Directeurs de thèse : Jean-Luc Estivalezes & Davide Zuzio - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

CFD 2030

www.onera.fr/pss



Université
de Toulouse

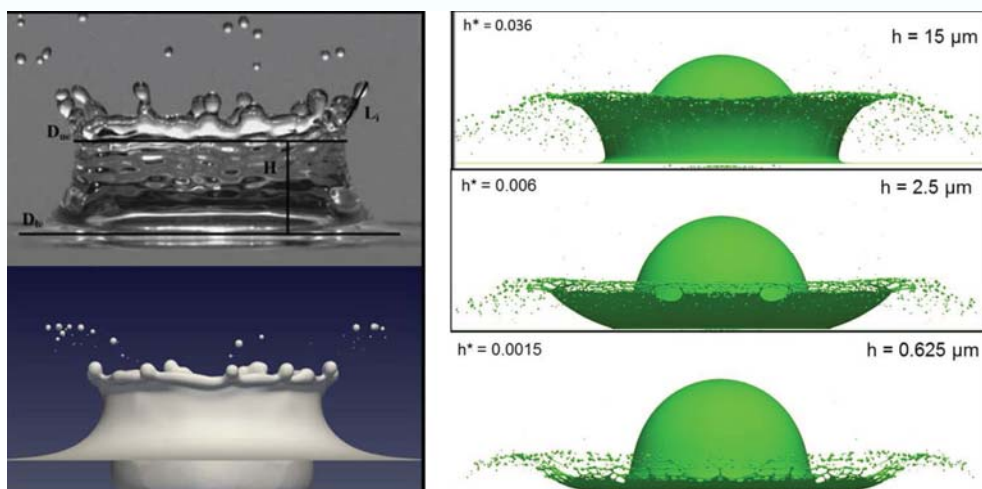


Contact : [Davide.Zuzio @ onera.fr](mailto:Davide.Zuzio@onera.fr)

Résumé

La lutte contre la formation de givre en vol est un enjeu majeur en aéronautique en tant que source majeure d'accidents. Lors de la collision avec les gouttes d'eau surfondue présentes dans les nuages, l'accrétion de givre engendrée peut détériorer les performances aérodynamiques de l'appareil ou obstruer les capteurs. Dans ce contexte, la compréhension détaillée du processus d'impact de goutte est encouragée par l'évolution des normes de certification pour adapter les dispositifs de protection. L'utilisation d'un outil de simulation numérique directe (DNS) permet d'accéder à des grandeurs physiques difficilement accessibles par l'expérience et de fournir des données pour la modélisation. Néanmoins, les impacts à haute vitesse demandent des méthodes numériques à la fois précises, conservatives et robustes tout en exigeant un coût de simulation élevé. Dans cette thèse, on contribue à la compréhension de la physique de l'impact de goutte à basse et haute vitesse sur différents types de cible, parois sèche ou mouillée. Ceci est fait à travers le développement et l'utilisation du code DNS DYJEAT, qui résout les équations de Navier-Stokes incompressibles diphasiques. Une approche centrée sur les méthodes Level-Set et Volume-of-Fluid permet de répondre aux défis de ce type de simulation. A l'aide de ce code, on étudie d'abord le phénomène d'étalement en implémentant une modélisation des effets capillaires en paroi. On s'intéresse par la suite à la formation d'une couronne liquide lors d'un impact sur une épaisseur liquide. L'instrumentation du code réalisée permet de caractériser finement la couronne et les structures secondaires formées lors de l'impact. A partir du post-traitement d'expériences à haute vitesse menées à l'ONERA, on a réalisé une campagne de simulations sur des configurations à haute énergie, jusqu'à présent peu explorées en littérature. Ces campagnes de calculs permettent en particulier d'explorer l'effet de la nature de la paroi, de l'angle d'impact ou de la pression ambiante sur le phénomène de splash.

Ces calculs nécessitent des maillages pouvant dépasser le milliard de points et impliquent l'adaptation des pratiques de calcul décrites aussi dans ce travail, et appliquées lors de l'utilisation des supercalculateurs au niveau régional ou national.



*Simulations DNS DYJEAT d'impact de goutte sur paroi mouillée.
Hauteur de film variable*

Distinction

Prix mécanique des
fluides - R&T Days
Safran Propulsion
(2019)

Thomas BERTHELON

Thèse soutenue le 30 septembre 2020

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

Titre de la thèse

Réponse forcée du FAN sous ingestion de Vortex

Encadrement

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Encadrant : Alain Dugeai - ONERA

Directeur de thèse : Fabrice Thouverez - École Centrale de Lyon

Financement

CIFRE Safran Aircraft Engines

Défi scientifique

Des structures
aérospatiales
plus durantes

www.onera.fr/pss



Contact : Thomas.Berthelon @ onera.fr

Résumé

Lors des phases de décollage d'un avion, l'écoulement généré par le moteur en amont de celui-ci peut interagir avec le sol et entraîner la formation d'un vortex. Ce vortex de sol est perçu par les aubages du fan (le premier étage du moteur) comme une source d'excitation aérodynamique entraînant leur vibration menant potentiellement à leur rupture mécanique. Cette problématique est très présente sur les nouvelles générations de turbomachines permettant une réduction des émissions atmosphériques. Le but de cette thèse est de comprendre les mécanismes aéroélastiques en jeu lors de la réponse forcée des aubages en présence d'un vortex de sol. Les travaux ont aussi pour objectif de proposer une stratégie numérique permettant de simuler l'ensemble des phénomènes physiques : l'écoulement aérodynamique autour du moteur, le chargement aérodynamique des aubages et la dynamique vibratoire non-linéaire de l'ensemble aube-disque. Cette stratégie numérique est développée et testée sur une configuration industrielle dans l'optique d'être utilisée dans les phases de conception au sein des bureaux d'études.

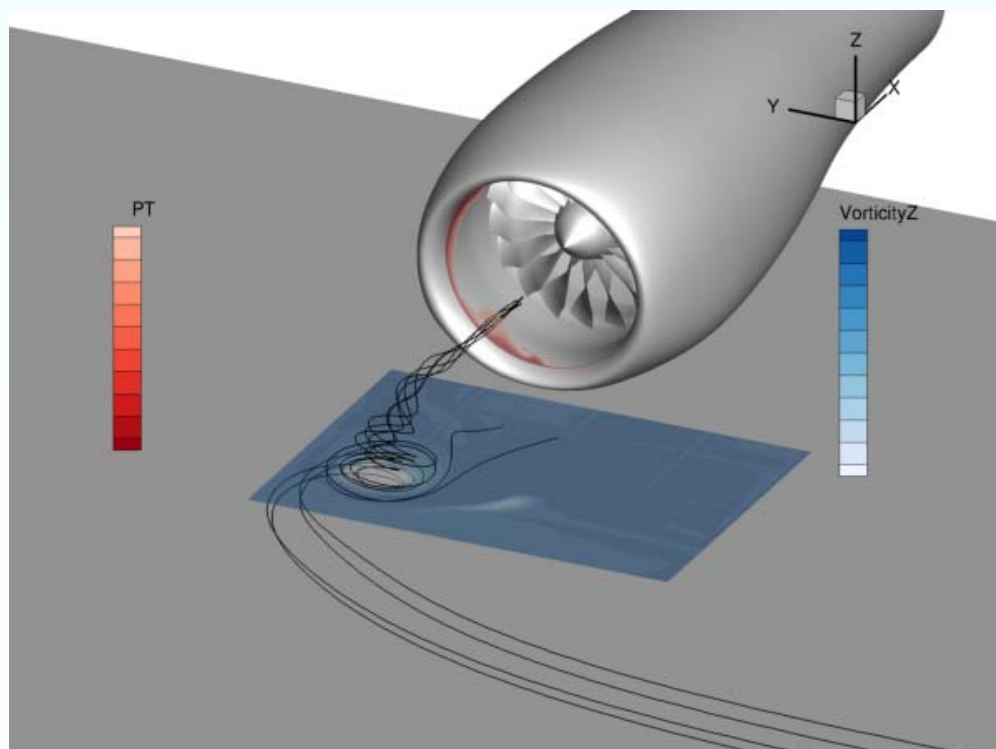


Illustration d'un calcul d'ingestion de vortex de sol sur une configuration industrielle

Analyser les mesures réalisées au cours de la rentrée atmosphérique de l'IXV pour améliorer les outils de dimensionnement des véhicules de rentrée atmosphérique

Loïc VAN GHELE

Thèse soutenue le 21 septembre 2020

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

Titre de la thèse

**Analyse aérothermodynamique de la rentrée atmosphérique
d'un véhicule réutilisable depuis une orbite basse terrestre**

Encadrement

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Encadrants : Philippe Reulet & Jean-Luc Vérant - ONERA

Directeurs de thèse : Jean-Luc Battaglia - ENSAM

Pierre Millan - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

Des structures
aérospatiales
plus durantes

www.onera.fr/pss



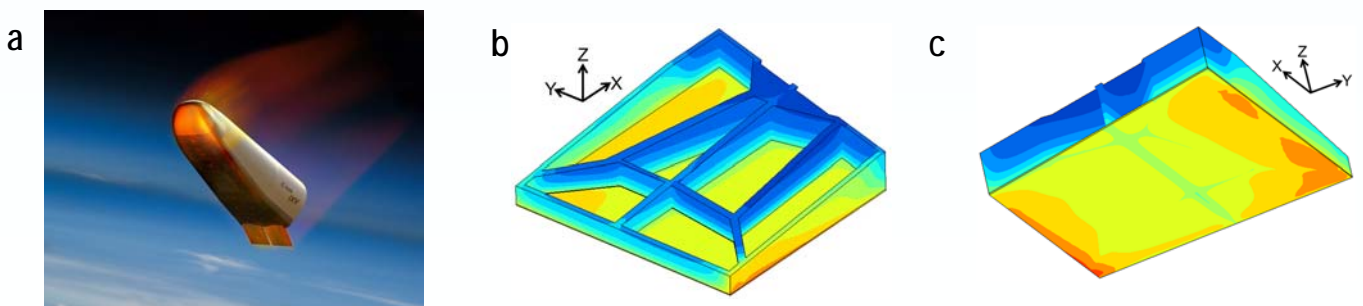
Université
de Toulouse



Contact : [Philippe.Reulet @ onera.fr](mailto:Philippe.Reulet@onera.fr)

Résumé

Les modèles développés pour l'étude des rentrées atmosphériques sont essentiellement basés sur des mesures en soufflerie. Bien que ces dernières soient riches en enseignements, elles ne sont pas représentatives de l'ensemble des conditions rencontrées lors d'une rentrée atmosphérique. Pour combler ce manque de données il est nécessaire de traiter des mesures réalisées en vol. Les présents travaux de thèse s'inscrivent dans ce contexte et proposent une analyse aérodynamique de la rentrée atmosphérique d'un véhicule réutilisable, de type corps portant, depuis une orbite basse terrestre. Plus précisément cette analyse traite du flux de chaleur convecto-diffusif à l'intrados du véhicule. Pour remplir cet objectif l'étude s'appuie principalement sur les mesures de température effectuées au cours de la rentrée atmosphérique de l'IXV (Intermediate eXperimental Vehicle), le premier véhicule autonome de l'Agence Spatiale Européenne piloté sur une trajectoire planante. Les mesures de température ont été réalisées dans les protections thermiques de l'intrados et à la surface extradados des gouvernes à l'aide de thermocouples et d'une caméra infrarouge. L'analyse aérodynamique s'articule autour de deux approches complémentaires. La première est une estimation par méthodes inverses 1D et 3D du flux de chaleur convecto-diffusif à la surface intrados de l'IXV à partir des mesures de température. Cependant ces estimations ne permettent pas à elles seules de remonter jusqu'à l'historique des phénomènes physico-chimiques dans la couche de choc. Ce point justifie la présence de la deuxième approche basée sur des simulations Navier-Stokes 1D et 3D de l'écoulement. Ces simulations ont été menées afin d'identifier et d'analyser de possibles scénarios des phénomènes physico-chimiques permettant de reproduire les niveaux du flux de chaleur estimés par méthode inverse. Cette méthode, basée sur les résultats d'une approche par méthode inverse et d'une approche par simulations de l'écoulement, a préalablement été testée sur les données des premiers vols de la navette spatiale américaine Columbia. Finalement, ces travaux de thèse présentent une lecture approfondie des mesures réalisées au cours du vol de l'IXV. Sur le long terme ces données permettront de compléter les bases de données aérodynamiques et d'améliorer les outils de dimensionnement des véhicules de rentrée atmosphérique.



(a) IXV pendant sa rentrée atmosphérique (image Dassault Aviation)
(b) & (c) Champ de température de la gouverne gauche (b=extrados, c=intrados)

Distinction

Prix de thèse
de la 3AF (2020)

Pierre CORDESSE

Thèse soutenue le 23 juin 2020

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

Titre de la thèse

Contribution to the Study of Combustion Instabilities in
Cryotechnic Rocket Engines: Coupling Diffuse Interface
Models with Kinetic-Based Moment Methods for Primary
Atomization Simulations

Encadrement

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Encadrant : Angelo Murrone - ONERA

Directeur de thèse : Marc Massot - CMAP, École polytechnique

Financement

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) & ONERA

Défi scientifique

La propulsion dans
toute sa complexité

www.onera.fr/pss



INSTITUT
POLYTECHNIQUE
DE PARIS

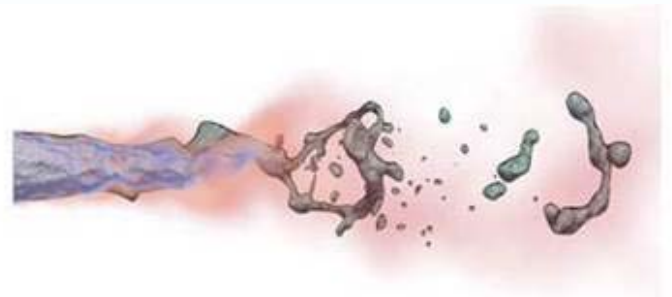


Contact : Angelo.Murrone @ onera.fr

Résumé

Gatekeepers to the open space, launchers are subject to intense and competitive enhancements, through experimental and numerical test campaigns. Predictive numerical simulations have become mandatory to increase our understanding of the physics. Adjustable, they provide early-stage optimization processes, in particular of the combustion chamber, to guaranty safety and maximize efficiency. One of the major physical phenomenon involved in the combustion of the fuel and oxidizer is the jet atomization, which pilotes both the droplet distributions and the potential high-frequency instabilities in subcritical conditions. It encompasses a large spectrum of two-phase flow topologies, from separated phases to disperse phase, with a mixed region where the small scale physics and topology of the flow are very complex. Reduced-order models are good candidates to perform predictive but low CPU demanding simulations on industrial configurations but have only been able so far to capture large scale dynamics and have to be coupled to disperse phase models through adjustable and weakly reliable parameters in order to predict spray formation. Improving the hierarchy of reduced order models in order to better describe both the mixed region and the disperse region requires a series of building blocks at the heart of the present work and give on to complex problems in the mathematical analysis and physical modelling of these systems of PDE as well as their numerical discretization and implementation in CFD codes for industrial uses. Thanks to the extension of the theory on supplementary conservative equations to system of non-conservation laws and the formalism of the multi-fluid thermodynamics accounting for non ideal effects, we give some new leads to define a strictly convex mixture entropy consistent with the system of equations and the pressure laws, which would allow to recover the entropic symmetrization of two-phase flow models, prove their hyperbolicity and obtain generalized source terms. Furthermore, we have departed from a geometric approach of the interface and proposed a multi-scale rendering of the interface to describe multi-fluid flow with complex interface dynamics. The Stationary Action Principle has returned a single velocity two-phase flow model coupling large and small scales of the flow. We then have developed a splitting strategy based on a Finite Volume discretization and have implemented the new model in the industrial CFD software CEDRE of ONERA to proceed to a numerical verification.

Finally, we have constituted and investigated a first building block of a hierarchy of test-cases designed to be amenable to DNS while close enough to industrial configurations in order to assess the simulation results of the new model but also to any up-coming models.



*Comparaison de modèles réduits à interfaces diffuses (Code CEDRE de l'ONERA)
et modèles de type DNS (Code ARCHER du CORIA)
pour la simulation de l'atomisation primaire en propulsion liquide*

Anthony DESCLAUX

Thèse soutenue le 12 juin 2020

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

Titre de la thèse

**Etude expérimentale du comportement linéaire et
non linéaire d'une flamme diphasique soumise à
une excitation acoustique**

Encadrement

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Encadrants : Virginel Bodoc & Mickael Orain - ONERA

Directeurs de thèse : Pierre Gajan & Frank Simon - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

La propulsion dans
toute sa complexité

www.onera.fr/pss



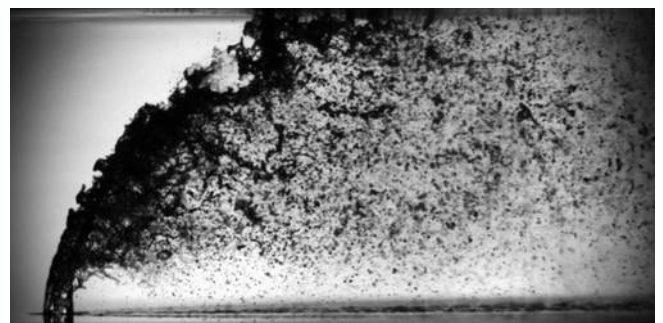
**Université
de Toulouse**



Contact : Virginel.Bodoc @ onera.fr

Résumé

Pour répondre aux contraintes environnementales, les nouvelles générations de chambre aéronautique, dont le fonctionnement est basé sur un régime de combustion dit « pauvre », sont prédisposées à l'apparition d'instabilités dites thermo-acoustiques. Ces instabilités dues à un couplage entre le dégagement de chaleur instationnaire (q') et les oscillations de pression (p') ou de vitesse (v') acoustique, peuvent entraîner une forte amplification des oscillations de pression et de température et conduire à une destruction de la chambre ou à un arrêt du moteur. Un critère important intervenant dans ces phénomènes est le déphasage entre les oscillations d'origine acoustique et la réponse de la flamme. Pour prévenir l'apparition des risques liés à ces instabilités, des simulations préalables du comportement des chambres de combustion sont réalisées. Pour cela deux approches peuvent être envisagées. La première est basée sur des simulations LES diphasiques et réactives. La seconde repose sur des modèles bas ordres basés sur la résolution des équations linéarisées d'Helmholtz et utilisant une méthode de résolution de type réseau. La première approche nécessite une simulation fine de l'ensemble des phénomènes à l'origine du couplage et en particulier la prise en compte du comportement de la phase liquide associant atomisation, ruissellement, transport de gouttes et évaporation. La seconde approche nécessite quant à elle un modèle de réponse de flamme à une excitation acoustique. Le travail réalisé dans cette thèse a pour objectif de fournir des données expérimentales détaillées pour alimenter ces deux approches. Il est ainsi constitué de deux parties. La première se focalise sur le comportement instationnaire d'un jet liquide injecté transversalement à un écoulement d'air excité acoustiquement. Cette configuration permet de reproduire les phénomènes observés dans un injecteur réel. Les mesures réalisées permettent d'analyser le comportement cyclique du jet, de son atomisation et du brouillard de gouttes ainsi formé et de remonter à des temps et des vitesses caractéristiques des phénomènes observés. La seconde partie a pour objectif d'étudier le comportement non linéaire d'une flamme diphasique obtenue à l'aval d'un injecteur aéronautique. Ces résultats permettent d'élaborer un modèle de réponse de la flamme appelée « Fonction Descriptive de Flamme (FDF) », reliant les oscillations de dégagement de chaleur q' à l'excitation acoustique u' , nécessaire à la mise en œuvre des modèles de type bas ordres. Cette caractérisation a nécessité au préalable le développement d'une méthode originale de mesure de dégagement de chaleur par chimiluminescence. Les résultats obtenus pour deux points de fonctionnement de l'injecteur et différentes valeurs de fréquence et amplitude d'excitation ont mis en évidence le comportement non linéaire de la flamme engendrant un phénomène de saturation à l'origine des cycles limites observés sur des chambres réelles.



Visualisation instantanées d'un jet liquide en écoulement transverse d'air

**Développer et valider des moyens de simulation
numérique pour mieux prévoir l'accrétion de glace
dans les turboréacteurs**

Virgile CHARTON

Thèse soutenue le 1er décembre 2020

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

Titre de la thèse

**Modélisation de l'accrétion de glace dans les turboréacteurs
en condition cristaux**

Encadrement

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Encadrants : Pierre Trontin & Jean-Mathieu Senoner - ONERA

Directeurs de thèse : Philippe Villedieu & Claire Laurent - ONERA

Financement

CIFRE Safran Aircraft Engines



Université
de Toulouse

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

Défi scientifique

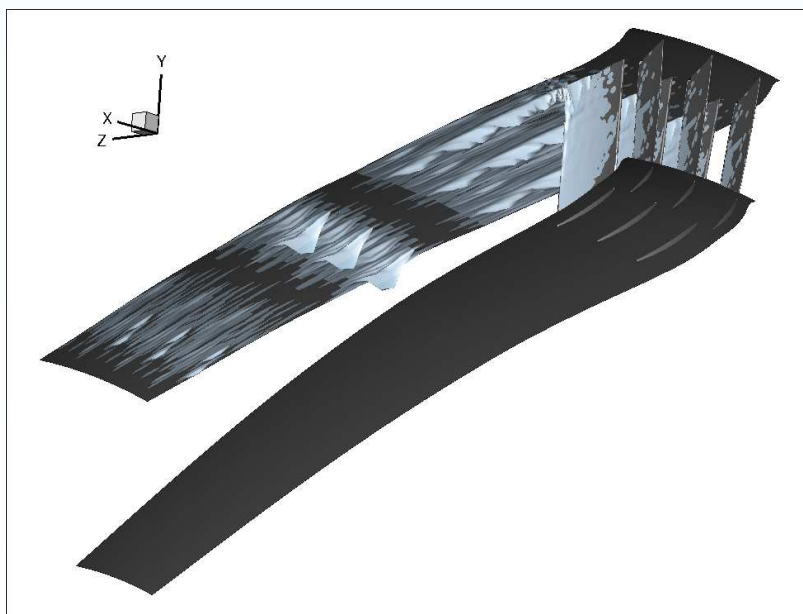
La propulsion dans
toute sa complexité

www.onera.fr/pss

Contact : Claire.Laurent @ onera.fr

Résumé

Le givrage est un des phénomènes atmosphériques les plus sévères pour les avions et les moteurs. Les évolutions récentes de la réglementation ont étendu les exigences de certification au cas des cristaux de glace. Pour ces conditions, les moteurs d'avion doivent démontrer un fonctionnement robuste en vol. Contrairement aux gouttes en surfusion rencontrées dans les conditions de givrage habituelles, les cristaux de glace peuvent s'accréter jusqu'à très haute altitude et à température positive à l'intérieur du moteur. Les mécanismes associés sont complexes car ils font intervenir des couplages forts entre le transport des cristaux, l'aérodynamique et la thermodynamique dans l'écoulement ainsi qu'à la paroi. L'objectif de cette thèse est de développer et valider des moyens de simulation numérique permettant de prévoir ces phénomènes. Pour remplir cet objectif, une base de données expérimentales peu étudiée précédemment a été analysée, conduisant à l'amélioration des modèles d'érosion de la couche de glace et d'efficacité de collage des cristaux développés lors de précédentes recherches. Ces nouveaux modèles permettent un meilleur accord entre les simulations numériques et les observations expérimentales, ainsi que l'extension des capacités de simulation. En parallèle, les développements ont été implémentés dans CEDRE, la chaîne de calcul multiphysique 3D de l'ONERA, et des simulations ont été réalisées sur des configurations de moteurs. La capacité de l'outil à prévoir le risque d'accrétion dans certaines conditions givrantes a ainsi pu être démontrée. Des limitations ont également été mises en évidence, ouvrant des perspectives de recherche et de développement futurs.



Simulation 3D de l'accrétion de glace en conditions cristaux en sortie du compresseur basse pression d'un turboréacteur

**Développer un nouveau modèle thermique
de paroi multiperforée pour mieux prendre en
compte la géométrie des perforations**

Gaëtan CROUZY

Thèse soutenue le 12 novembre 2020

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

Titre de la thèse

**Modélisation thermique avancée d'une paroi multiperforée de
chambre de combustion aéronautique avec dilution giratoire :
modélisation et simulation des essais SAPHIR**

Encadrement

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Encadrant : Emmanuel Laroche - ONERA

Directeur de thèse : Pierre Millan - ONERA

Financement

CIFRE SafranTech



Université
de Toulouse



Défi scientifique

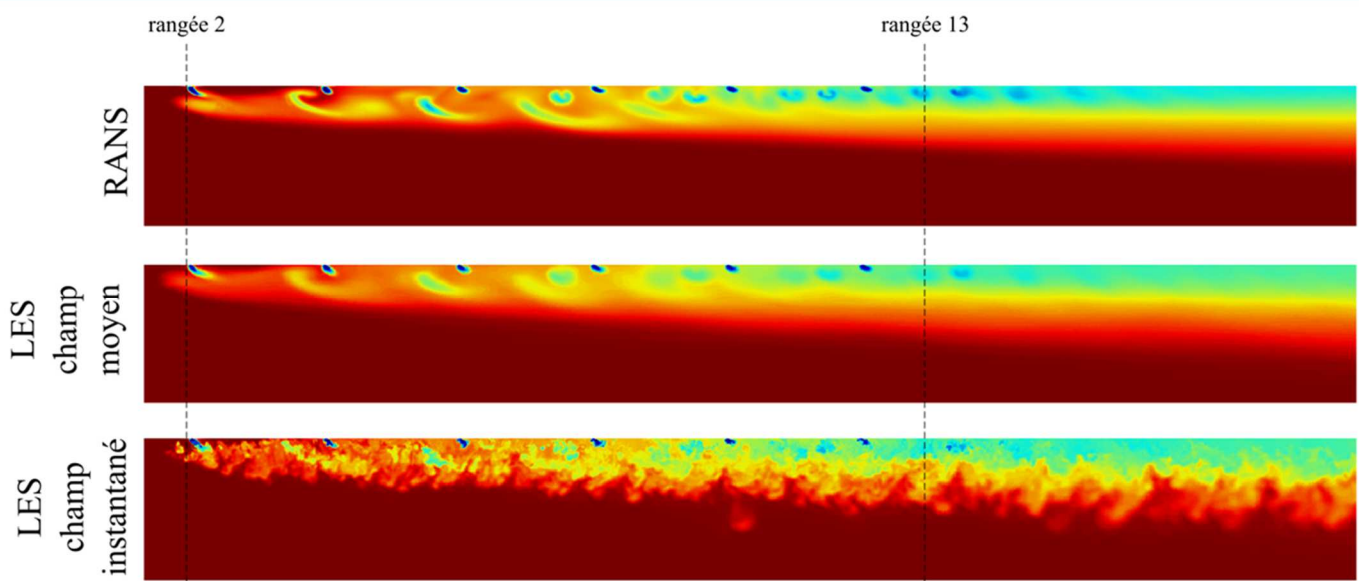
La propulsion dans
toute sa complexité

www.onera.fr/pss

Contact : Emmanuel.Laroche @ onera.fr

Résumé

La température des gaz chauds dans une chambre de combustion aéronautique atteint des valeurs supérieures à la température de fusion de ses parois. Ces dernières doivent donc être refroidies pour assurer le bon fonctionnement du moteur. La solution actuelle consiste à injecter de l'air froid au travers des parois par des milliers de perforations d'un diamètre inférieur au millimètre (refroidissement par multiperforation). Le nombre élevé de perforations dans une chambre rend une simulation numérique détaillée inenvisageable aujourd'hui, c'est pourquoi il est nécessaire d'utiliser des modèles thermiques de paroi multiperforée. Or, les études précédentes sur le sujet souffrent d'un manque de données expérimentales, en particulier dans le cas des motifs de perçage à dilution giratoire. Ainsi, l'objectif de cette thèse a été de développer un nouveau modèle thermique de paroi multiperforée, valable pour tout type de motif de perçage, en particulier pour ceux à dilution giratoire. Ce modèle s'est appuyé sur les essais SAPHIR (spécifiés par Safran et réalisés à l'ONERA). La reproduction numérique de ces essais par simulations RANS a permis de définir une méthodologie de calcul pour construire une base de données numérique dont l'exploitation a conduit au développement d'un nouveau modèle thermique de type homogène reposant sur les caractéristiques d'un film moyen. Par ailleurs, une simulation instationnaire LES a été menée avec le code YALES2, afin d'apporter des éléments de comparaison avec les simulations RANS. Cette simulation montre l'apport de la LES dans l'estimation de l'efficacité adiabatique en aval de la zone perforée.



Essais SAPHIR sur paroi multiperforée : comparaison entre les distributions de température adimensionnée obtenues par approches RANS et LES

Physique

Défi 8 - La propulsion dans toute sa complexité

- CORREYERO PLAZA Sara** - Physics of Plasma Plumes Accelerated by Magnetic Nozzles: an Experimental and Theoretical Research 72
- PETERSCHMITT Simon** - Development of a Stable and Efficient Electron Cyclotron Resonance Thruster with Magnetic Nozzle 74

Défi 9 - Photonique et systèmes optroniques

- MAS Adrien** - Etude et développement de caméras infrarouges multispectrales à acquisition simultanée pour la détection de gaz 76
- LE DU Thurian** - Observations multi-instrumentales pour l'étude de la dynamique atmosphérique dans la haute atmosphère 78
- WALTER Guillaume** - Étude et développement d'un oscillateur paramétrique optique picoseconde rapidement accordable utilisant des cristaux à quasi-accord de phase aperiodique - application à la détection de gaz par imagerie active 80
- LOUDIN Jérémy** - Utilisation de lasers femtoseconde peigne de fréquences pour des applications de détection simultanée multi-espèces de gaz à distance 82
- HAMOUDI Thomas** - Nouveaux concepts de sources lasers et paramétriques pour lidar à absorption différentielle 84
- GAUDFRIN Florian** - Lidar supercontinuum pour la caractérisation spectrale des milieux diffusants à haute résolution spatiale : étude numérique et développement instrumental 86
- LE MÉHAUTÉ Simon** - Étude et réalisation d'un lidar DIAL cohérent fibré à 1,65 μm pour la mesure simultanée de la vitesse du vent et de la concentration de méthane 88
- FETICK Romain** - Traitement d'image en optique adaptative : estimation paramétrique de la réponse impulsionnelle et déconvolution 90
- PAILLIER Laurie** - Architecture de récepteur cohérent pour les liens optiques satellite-sol avec optique adaptative 92

SAUVAGE Chloé - Impact de l'environnement atmosphérique sur les liaisons optiques sans fil pour la ville du futur	94
LAI-TIM Yann - Imagerie haute résolution de la rétine humaine par illumination structurée assistée par optique adaptative	96
HUARD DE VERNEUIL Edouard - Vers une approche métrologique de la mesure de fonction de transfert de détecteurs infrarouge.....	98
MAËS Clément - Plasmonique active pour l'infrarouge sur semi-conducteur fortement dopé... 100	
SOUN Léna - Exaltation d'effets non linéaires dans des métasurfaces à multi-résonances accordées	102

Défi 10 - Electromagnétisme et radar

FISNÉ Christophe - Métasurfaces actives pour applications large-bande.....	104
ANGELLIAUME Sébastien - Imagerie radar de la surface océanique : de l'estimation de l'état de mer à la caractérisation de pollution marine.....	106
SCHREIBER Floriane - Estimation des conditions océanographiques par inversion de données issues d'un radar imageur non calibré.....	108
PLATZER Florestan - Etude de la signature radar de la surface de mer en incidence rasante	110

Défi 12 - Capteurs et environnement spatial

PERNOT-BORRÀS Martin - Tester la gravité dans l'espace : vers un traitement réaliste de la gravité Caméléon dans la mission MICROSCOPE	112
PETIT Valentine - Conditioning of Surfaces in Particle Accelerators.....	114
PLAÇAIS Adrien - Modélisation et mesures de l'émission secondaire de diélectriques et des phénomènes multipactor en présence de champ magnétique pour la fusion nucléaire contrôlée et le spatial.....	116
RIVAL Guilhem - Vieillissement sous irradiation électronique du PolyEtherEtherKetone : Optimisation des propriétés électriques pour applications en environnement spatial.....	118
LANSADE David - Stabilisation de résines poly(diméthylsiloxane) en environnement spatial radiatif	120

LEMIÈRE Kevin - Réorganisation et effets des défauts en volume dans les imageurs irradiés	122
GROSJEAN Eudes - Caractérisation de la contamination moléculaire des satellites : Séparation des espèces par la méthode ATG/SM	124
BONNIN Lucas - Exploitation des propriétés piézoélectriques du GaAs et application aux capteurs inertiels de type MEMS.....	126
RUFFENACH Marinne - Optimisation de têtes de détection pour mesurer les protons et les électrons des ceintures de radiations terrestres dans une gamme en énergie étendue.....	128
DAHMEN Nourallah - Développement d'un nouveau cœur numérique pour le code de calcul Salammbô de modélisation des ceintures de radiation terrestres.....	130

Physique

Etudier les mécanismes physiques en jeu dans une tuyère magnétique de propulseur ECR pour en améliorer les performances

Distinction

Best PhD
Communication Award
- conference
Space Propulsion
(2018)

Sara CORREYERO PLAZA

Thèse soutenue le 9 juin 2020
Université Carlos III de Madrid

Titre de la thèse

**Physics of Plasma Plumes Accelerated by Magnetic Nozzles:
an Experimental and Theoretical Research**

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrant : Denis Packan - ONERA

Directeur de thèse : Eduardo Ahedo - Université Carlos III de Madrid

Financement

Université Carlos III de Madrid & ONERA

Défi scientifique

La propulsion dans
toute sa complexité

www.onera.fr/pss

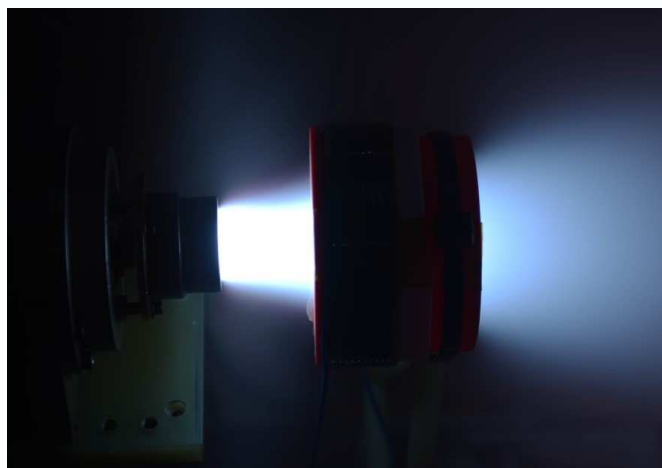


Contact : Denis.Packan @ onera.fr

Résumé

The first part of this research constitutes an experimental investigation of an Electron Cyclotron Resonance thruster. An innovative procedure based on the integration of a diamagnetic loop signal at the thruster shutdown for estimating the mean perpendicular electron pressure inside the thruster source is presented. The signal is then used to estimate the mean perpendicular electron temperature by means of 1D and 2D theoretical models. Results fairly agree with the direct magnetic thrust measurements of a previous experiment. The magnetic nozzle of the thruster is characterized by means of electrostatic probes and laser induced fluorescence diagnostics. Profiles for the ambipolar plasma potential, ion velocity, plasma density and electron temperature are obtained as a function of the propellant mass flow rate. By combining Langmuir probes with the optical set-up, complete profiles (from the thruster source exit to far downstream) of the ambipolar plasma potential are obtained, which allows to estimate the total potential drop along the magnetic nozzle. Different effective electron cooling rates are measured along the expansion

The second part of this thesis presents a theoretical investigation of the ion and electron thermodynamics along the magnetic nozzle expansion. A collisionless, paraxial, steady-state kinetic model is used to investigate in several directions: first, the macroscopic effect of the kinetic aspects along the expansion is discussed. Electrons are barely affected by magnetic mirroring, since anisotropy is only developed very far downstream. On the contrary, magnetic mirror is dominant for ions, especially in the “hot” ions limit. Finally, the electron distribution function at the upstream source is formulated as a bi-Maxwellian anisotropic function. The plasma response along the expansion is investigated in a convergent-divergent nozzle and in a fully divergent one. Strong potential and density gradients are developed as a consequence of expanding a species with a non-isotropic pressure tensor. The gradients sign depends on the convergent/divergent character of the nozzle and on the type of anisotropy.



ECRT with diamagnetic coil in the plume

Développer un nouveau type de propulseur électrique pour la propulsion de petits satellites

Simon PETERSCHMITT

Thèse soutenue le 1er octobre 2020

Ecole doctorale : ED 626 (IPP) - Institut Polytechnique de Paris

Titre de la thèse

Development of a Stable and Efficient Electron Cyclotron Resonance Thruster with Magnetic Nozzle

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrant : Denis Packan - ONERA

Directeur de thèse : Jean-Marcel Rax - Ecole Polytechnique

Financement

ONERA

Défi scientifique

La propulsion dans toute sa complexité

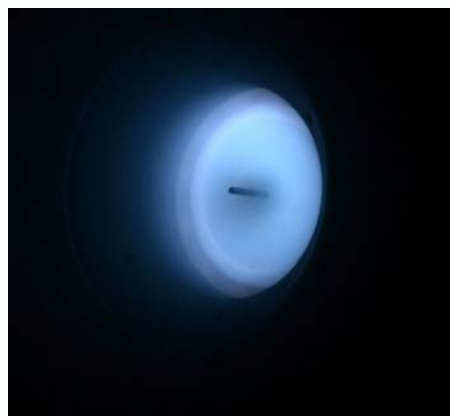
www.onera.fr/pss



Contact : Denis.Packan @ onera.fr

Résumé

Plasma thrusters are the subject of growing interest as a means for small satellite propulsion. Miniaturizations of mature technologies as well as innovative concepts have been proposed such as the electron-cyclotron resonance thruster with magnetic nozzle (ECRT). This thruster appears as a potentially disruptive technology because it is gridless, neutralizerless, and only requires one power supply. This work consists in the development of an ECRT with magnetic nozzle and its accompanying experimental test bench, able to accurately demonstrate high thruster efficiency during prolonged steady state operation. Previous studies on the ECRT were limited by a significant lack of accuracy on key measurements, due to the specific setup and technology needed for this thruster. The experimental procedure and the setup are thus heavily upgraded to improve the accuracy of experimental data. However, peculiarities of the magnetic nozzle complicate the interpretation of the ion current density measurements, thus our analysis of performance is mainly based on thrust balance measurements. Besides, thruster performance is shown to significantly increase when decreasing vacuum tank pressure down to 10^{-7} mbar Xenon, and facility effects are investigated by testing the thruster both at ONERA (France) and at JLU (Germany). Well aware of these experimental difficulties, we study the efficiency of the thruster as a function of neutral gas injection, magnetic field topology, and boundary conditions of the magnetic nozzle. In addition, we address erosion issues in two ways: first by a change of materials, and second by a change of coupling structure (coaxial, or circular waveguide). Waveguide coupling yields insufficient ion energies for space propulsion requirements but optimizing the coaxial coupling structure appears to substantially mitigate erosion. These results enable to design and test a ~ 30 W and a ~ 200 W thruster consistently yielding state-of-the-art efficiencies as compared to other thruster types while having sufficient estimated lifetime. In order to shed light on the experimental outcomes, a new modelling approach is developed based on the study of electron trajectories and a Fokker-Planck heating model calculating the formation of the electron energy distribution function in the thruster.



ECRT with magnetic nozzle developed at ONERA

Développer une nouvelle architecture de caméras infrarouges multispectrales pour la détection de gaz adaptée aux porteurs mobiles

Adrien MAS

Thèse soutenue le 18 septembre 2020

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

Titre de la thèse

Etude et développement de caméras infrarouges multispectrales à acquisition simultanée pour la détection de gaz

Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Directeur de thèse : Guillaume Druart - ONERA

Financement

CIFRE Bertin Technologies

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

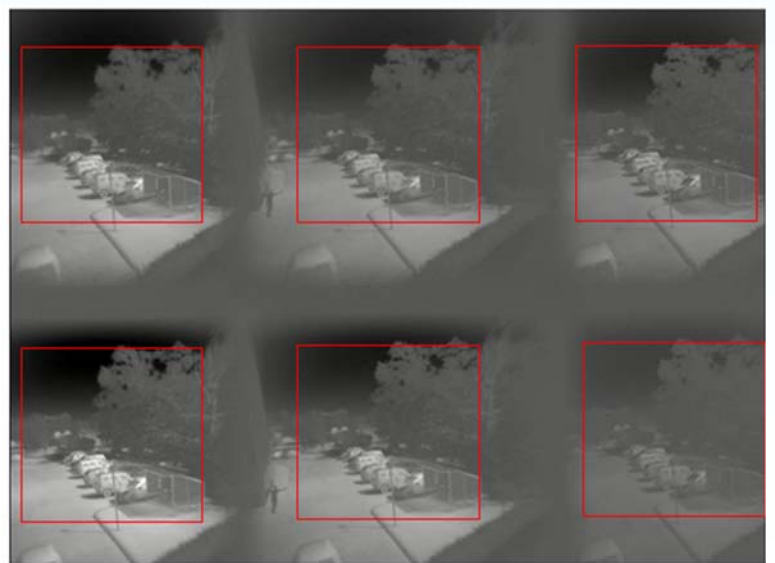
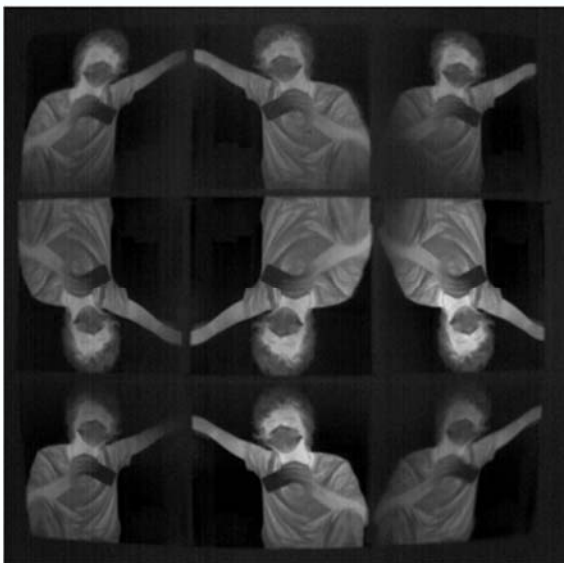
www.onera.fr/pss



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

Résumé

L'émission accidentelle de gaz sur des sites industriels ou l'utilisation d'armes chimiques peuvent avoir des conséquences dramatiques. Bertin Technologies commercialise une caméra multispectrale infrarouge utilisant un détecteur non-refroidi appelée Second Sight permettant de détecter de nombreux gaz. Cependant, l'acquisition temporelle des images spectrales est un frein pour une utilisation sur porteurs mobiles (véhicules, drones...). L'objet de la thèse a donc été d'étudier plusieurs concepts de caméras multispectrales à acquisition simultanée utilisant un seul détecteur non-refroidi. Deux concepts d'architectures optiques ont été étudiés : une architecture basée sur l'utilisation d'un kaléidoscope et une architecture multivoies inspiré de l'architecture TOMBO. L'architecture kaléidoscope a l'avantage d'utiliser de manière optimale le détecteur pour de fortes ouvertures et pour une grande variété de champs de vue. Elle est cependant encombrante et la fonction multispectrale reste délicate à intégrer. L'architecture multivoie, quant à elle, est très compacte et facilement adaptable à des applications multispectrales mais un compromis entre le champ de vue et l'ouverture doit être trouvé. Cette architecture a été choisie comme successeur de la Second Sight et un démonstrateur a été réalisé. Enfin, un modèle radiométrique a été développé pour comparer les différentes caméras et il est montré que la caméra TOMBO pouvait avoir de meilleures performances que la Second Sight grâce à l'acquisition simultanée des images multispectrales.



*à gauche : image obtenue avec la caméra kaléidoscope
à droite : image obtenue avec la caméra multivoies inspirée du concept TOMBO*

Etudier le rayonnement nightglow dans la haute atmosphère pour mieux comprendre le couplage entre la mésosphère et la ionosphère

Thurian LE DU

Thèse soutenue le 25 novembre 2020

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

Titre de la thèse

Observations multi-instrumentales pour l'étude de la dynamique atmosphérique dans la haute atmosphère

Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrant : Pierre Simoneau - ONERA

Directeur de thèse : Philippe Keckhut - LATMOS

Financement

ONERA

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

www.onera.fr/pss

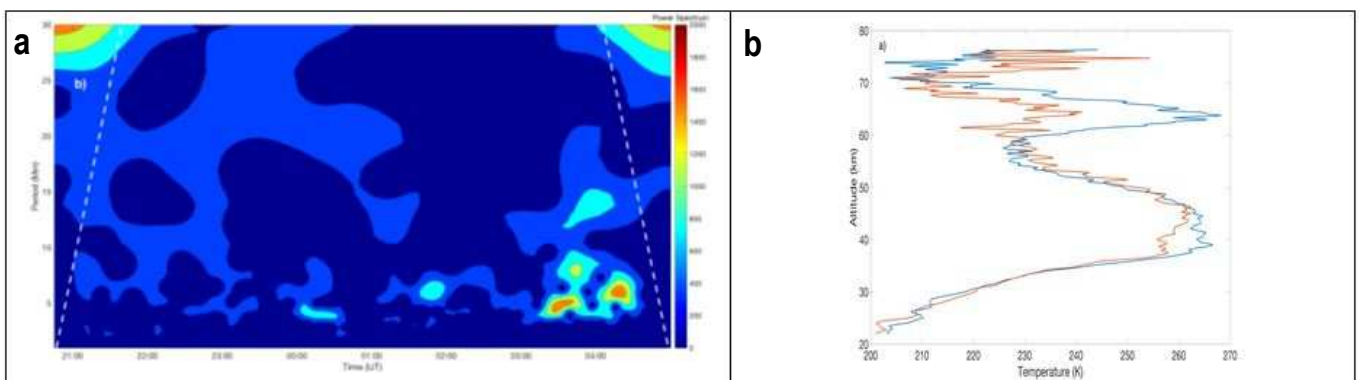


Contact : [Pierre.Simoneau @ onera.fr](mailto:Pierre.Simoneau@onera.fr)

Résumé

La haute atmosphère, et plus précisément la région appelée MLT (Mesosphere Lower Thermosphere) qui se situe entre 60 et 110 km d'altitude, est le siège de processus divers (chimiques, radiatifs, dynamiques) dont l'étude est cruciale pour la compréhension du couplage entre la mésosphère et la ionosphère et le développement des futurs modèles climatiques. Cette région se caractérise entre autres par l'émission nocturne du rayonnement provenant d'atomes et de molécules (rayonnement nightglow) et permettant, grâce à l'observation au niveau du sol ou à partir de plateformes satellitaires, d'obtenir des informations sur ces processus. Il apparaît donc un grand intérêt à l'étude du rayonnement nightglow : l'observation des phénomènes impactant le rayonnement dans la MLT avec pour finalité la compréhension des processus de couplage.

L'objet de la thèse consiste à étudier les divers phénomènes dynamiques impliqués dans la variabilité du rayonnement émis dans la MLT par l'espèce OH, qui est un des principaux contributeurs au rayonnement. Une campagne de mesure a été réalisée en collaboration entre l'ONERA (Office National d'Études et de Recherches Aérospatiales), le LATMOS (Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales) et l'IMCCE (Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides) à l'Observatoire de Haute-Provence durant la nuit du 12 au 13 décembre 2017 concordant avec le pic d'activité des Géminides (chute de météores). Une caméra SWIR (Short-Wave InfraRed) a imagé le rayonnement émis par la molécule OH à 87 km d'altitude. Un lidar Rayleigh a permis de mesurer le profil de température en fonction de l'altitude et du temps et un réseau de microbaromètres a mesuré les fluctuations de pressions au sol. Le travail réalisé est concentré sur la détection et la propagation des infrasons dans la basse thermosphère produit à la surface et la propagation des ondes de gravité à travers la mésosphère perturbée lors d'une inversion mésosphérique. Le travail entrepris a permis de montrer l'impact important de l'inversion sur la propagation verticale des ondes de gravité et sur l'activité infrasonique.



(a) analyse en ondelettes de l'évolution temporelle du rayonnement de la couche OH à 87 km d'altitude la nuit du 12 décembre 2017. (b) profil moyen de la température durant la première partie de la nuit (en bleu) et la seconde partie (en rouge). On remarque que les ondes de gravité ont été bloquées la première partie de la nuit par la forte inversion de température au voisinage de 65 km

Développer un oscillateur paramétrique optique permettant de sonder des gaz possédant des raies d'absorptions dans le moyen infrarouge

Guillaume WALTER

Thèse soutenue le 26 février 2020

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

Titre de la thèse

Étude et développement d'un oscillateur paramétrique optique picoseconde rapidement accordable utilisant des cristaux à quasi-accord de phase aperiodique - application à la détection de gaz par imagerie active

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrant : Antoine Godard - ONERA

Directeur de thèse : Cyril Drag - Laboratoire de Physique des Plasmas

Financement

Centre national de la recherche scientifique (CNRS) & ONERA

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

www.onera.fr/pss



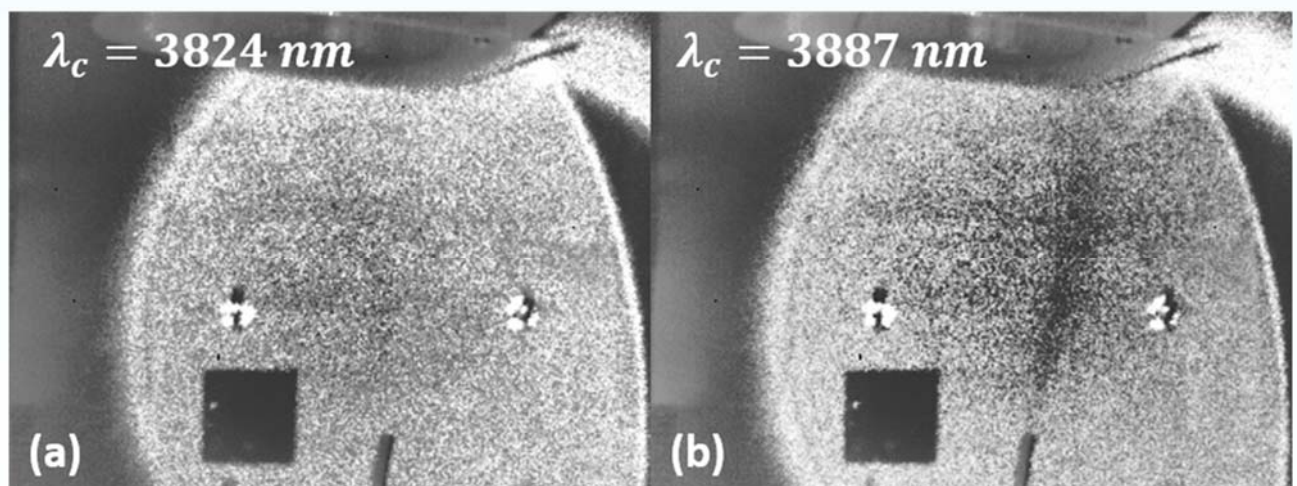
université
PARIS-SACLAY



Contact : Antoine.Godard @ onera.fr

Résumé

Nous rapportons l'étude d'un Oscillateur Paramétrique Optique (OPO) picoseconde à base de cristaux aperiodiques à large bande, utilisé pour des applications en spectroscopie rapide. Cette source paramétrique permet de sonder des gaz possédant des raies d'absorptions dans le moyen infrarouge, sur une plage spectrale difficilement accessible avec un laser solide conventionnel. La spécificité de l'OPO étudié est, outre son régime temporel picoseconde, son cristal non linéaire à quasi-accord de phase aperiodique. Cette aperiodicité élargit intrinsèquement la bande de gain paramétrique. Les travaux entrepris dans cette thèse portent dans un premier temps sur la caractérisation et l'explication des comportements propres à ce type d'OPO non contraint par filtre spectral. Nous étudions plus particulièrement l'origine du profil spectral cannelé observé dès que la puissance seuil d'oscillation est dépassée : ce profil est composé d'un pic principal et d'une succession de pics latéraux et n'est pas reporté dans la littérature. La deuxième partie de l'étude consiste au contrôle de la longueur d'onde de l'OPO picoseconde en utilisant la condition de pompage synchrone intrinsèque à ce régime temporel, et un réseau de Bragg en volume chirpé (CVBG) : un déplacement du CVBG autour de la position respectant la condition de pompage synchrone, modifie la longueur d'onde oscillant dans la cavité. Cet OPO contraint permet l'étude d'émissions de gaz (N_2O , CO_2 , etc.) dans l'atmosphère par imagerie active.



*Visualisation d'un panache de N_2O par imagerie active d'absorption de gaz dans l'infrarouge.
La scène est éclairée par le faisceau émis par la source OPO.*

- (a) La longueur d'onde émise (3824 nm) n'est pas absorbée par N_2O , le panache n'est pas visible
(b) La longueur d'onde émise (3887 nm) est fortement absorbée par N_2O , le panache apparaît en noir dans l'image*

Développer une nouvelle technique de spectroscopie par LIDAR pour la détection simultanée multi-espèces de gaz à distance

Jérémy OUDIN

Thèse soutenue le 25 mai 2020

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

Titre de la thèse

Utilisation de lasers femtoseconde peigne de fréquences pour des applications de détection simultanée multi-espèces de gaz à distance

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Directeur de thèse : Ajmal Khan Mohamed - ONERA

Financement

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) & ONERA

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

www.onera.fr/pss

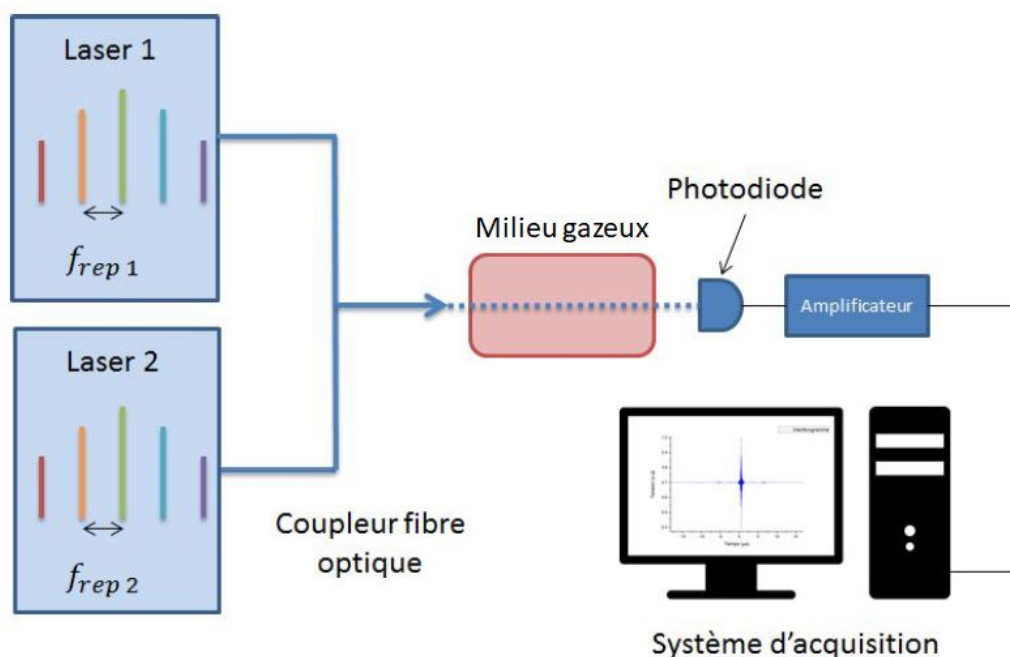


Contact : [Ajmal_Khan.Mohamed @ onera.fr](mailto:Ajmal_Khan.Mohamed@onera.fr)

Résumé

L'objectif principal de cette thèse est d'évaluer les performances d'un système de Dual Comb Spectroscopy (DCS) composé de deux laser femtosecondes peigne de fréquences MenloSystems ainsi que de mettre en œuvre des mesures intégrées de concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Un deuxième objectif consiste à étudier la faisabilité de réaliser des mesures de concentration de gaz résolues spatialement grâce à la rétrodiffusion de la lumière sur des aérosols. Afin de décrire les travaux réalisés pour atteindre cet objectif la présentation se décompose en deux parties :

- L'évaluation des performances du système DCS disponible au laboratoire. Nous définissons un protocole de mesure puis le système est mis en œuvre pour réaliser des mesures de concentration de gaz en open path ;
- L'évaluation de la capacité à réaliser des mesures Lidar IPDA et DiAL en utilisant la DCS. Dans une première partie nous estimons la portée atteignable pour un système des mesure Lidar IPDA utilisant différents types de cible diffuse. Dans une seconde partie on s'intéresse aux mesures en rétrodiffusion sur les aérosols. Nous décrivons l'incompatibilité des lasers à haute cadence d'émission avec la méthode classique de localisation des impulsions par leur temps de vol. Deux solutions sont proposées pour contourner cette difficulté.



Configuration typique de deux lasers peignes de fréquences pour sonder un milieu gazeux

Développer de nouvelles sources optiques pour la détection de gaz à grande distance

Thomas HAMOUDI

Thèse soutenue le 17 décembre 2020

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

Titre de la thèse

Nouveaux concepts de sources lasers et paramétriques pour lidar à absorption différentielle

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrants : Jean-Baptiste Dherbecourt & Myriam Raybaut - ONERA
Xavier Delen - Laboratoire Charles Fabry

Directeur de thèse : Patrick Georges - Laboratoire Charles Fabry

Financement

ONERA

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

www.onera.fr/pss

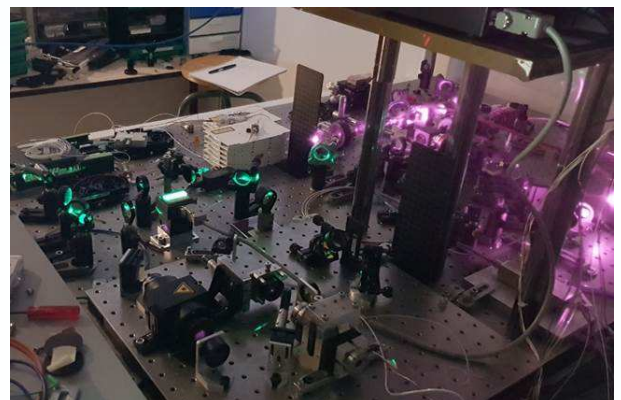
université
PARIS-SACLAY

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Contact : Jean-Baptiste.Dherbecourt @ onera.fr

Résumé

La surveillance et le contrôle des émanations de gaz à effet de serre sur les sites industriels est une thématique majeure pour accompagner la transition écologique. Pour répondre à cette problématique, une approche est de sonder la concentration en gaz des panaches émis par les usines. Une solution d'avenir repose sur le développement d'une instrumentation de mesure lidar par absorption différentielle (DIAL) permettant d'analyser la concentration et de localiser les émanations. Dans ce contexte, l'ONERA s'est engagé dans le développement de sources paramétriques de type NesCOPO énergétiques et accordables dans des bandes spectrales identifiées. La démocratisation d'une telle technologie nécessite le développement d'un instrument polyvalent, robuste et très compact. Pour atteindre ces objectifs, le projet mettra l'accent sur les points suivants : polyvalence et robustesse. Dans un premier temps, une étude du contrôle de la longueur d'onde du NesCOPO a été effectuée. Le but étant de choisir la longueur d'onde d'émission de l'onde complémentaire de l'OPO (autour de $3,3 \mu\text{m}$) et de la stabiliser par l'intermédiaire de la fréquence du laser de pompe. C'est le mélange de cette onde complémentaire et d'un autre laser de pompe dans des étages d'amplification paramétrique optique (OPA) qui a permis de générer une onde autour de $1,5 \mu\text{m}$. L'accord en longueur d'onde du signal à $1,5 \mu\text{m}$ s'effectue par l'accord en longueur d'onde du laser de pompe de l'OPA. Ce laser de pompe doit donc présenter certaines spécificités en terme d'accordabilité et d'énergie. Pour cela, nous avons choisi une architecture MOPA avec un laser à fibre accordable comme source d'injection. Une architecture d'amplification hybride à base de fibre puis de cristaux dopés ytterbium a permis d'obtenir des énergies de plusieurs mJ. Les étages à fibre optique déterminent les caractéristiques temporelles de la source (15 ns à 5 kHz). Limité par la diffusion Brillouin stimulée dans les fibres, la montée en énergie est assurée par les étages d'amplifications à base de cristaux massifs. Suite à cela, des étages d'OPA ont été mis en place pompés par le laser de pompe accordable et injectés par l'onde complémentaire de l'OPO. Cette onde signal issue du 1er étage d'OPA a ensuite été amplifiée dans plusieurs cristaux non-linéaires positionnés en cascades, délivrant au final des impulsions de l'ordre de la centaine de μJ vers $1,5 \mu\text{m}$. L'accord en longueur d'onde de l'onde signal par le laser de pompe a été caractérisée directement puis dans le cadre d'une expérience de spectroscopie d'absorption dans l'acétylène.



Aperçu du montage optique développé au cours de la thèse comprenant les étages laser (d'où provient le rayonnement rosé), OPO (en bas à gauche), et OPA (d'où provient le rayonnement vert)

Développer un LIDAR supercontinuum pour la caractérisation de l'atmosphère

Florian GAUDFRIN

Thèse soutenue le 17 février 2020

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

Titre de la thèse

Lidar supercontinuum pour la caractérisation spectrale des milieux diffusants à haute résolution spatiale : étude numérique et développement instrumental

Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrants : Romain Ceolato - ONERA
Guillaume Huss - LEUKOS

Directeurs de thèse : Nicolas Rivière - ONERA
Olivier Pujol - LOA

Financement

CIFRE LEUKOS



Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

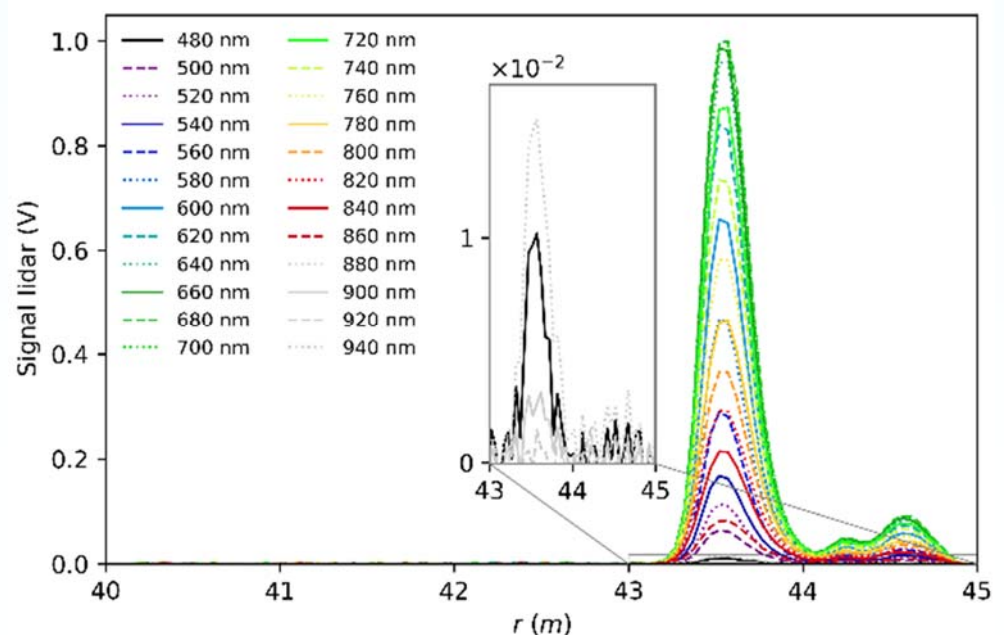
www.onera.fr/pss

Contact : Romain.Ceolato @ onera.fr

Résumé

Les méthodes de diagnostic par technique lidar donnent des informations sur les paramètres optiques du milieu (coefficients de diffusion et d'absorption). Ces grandeurs dépendent des propriétés de la lumière (longueur d'onde, polarisation) et sont ensuite utilisées pour remonter aux propriétés microscopiques du milieu comme la distribution en taille, la morphologie, l'indice optique ou la concentration en particules. Cependant, les techniques lidar actuelles présentent des limitations. Les sources laser utilisées sont limitées à quelques longueurs d'onde visible ou proche infrarouge et l'identification des propriétés microphysiques nécessite une connaissance a priori du milieu diffusant. Des hypothèses sont formulées pour contraindre les méthodes d'inversion et remonter aux informations d'intérêt sur des aérosols naturels et anthropiques (particules carbonées, poussières désertiques, cendres volcaniques, etc.). En outre, les lidars actuels considèrent des portées kilométriques alors que de nouveaux besoins existent à courtes distances. Les sources laser supercontinuum s'étendent du visible à l'infrarouge et offrent de nouvelles possibilités de mesures des propriétés optiques des aérosols sur un large domaine spectral continu. Leur utilisation dans les systèmes lidars est envisagée pour identifier les propriétés optiques du milieu sur toute une gamme continue de longueurs d'onde. L'un des objectifs majeurs de cette thèse est de démontrer la faisabilité des lidars supercontinuum pour la caractérisation spectrale de cibles surfaciques et volumiques à haute résolution spatiale. Une étude numérique du système lidar supercontinuum a été entreprise avec le développement d'un simulateur lidar. La conception d'un instrument lidar a permis de réaliser des premières mesures lidar supercontinuum pour la caractérisation d'aérosol. Une nouvelle méthode d'inversion lidar a été développée pour identifier les propriétés optiques d'un panache sans hypothèse a priori sur le rapport lidar (paramètre optique caractérisant le milieu sondé).

Exemple d'une mesure
LIDAR supercontinuum
appliquée à la caractérisation d'un panache
d'aérosol



Développer un système de mesure à distance pour améliorer le suivi des émanations de méthane sur les installations pétrolières

Simon LE MÉHAUTÉ

Thèse soutenue le 19 juin 2020

Ecole doctorale : ED 104 (SMRE) - Sciences de la Matière, du Rayonnement et de l'Environnement - Lille

Titre de la thèse

Étude et réalisation d'un lidar DIAL cohérent fibré à 1,65 μm pour la mesure simultanée de la vitesse du vent et de la concentration de méthane

Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrant : Nicolas Cézard - ONERA

Directeur de thèse : Hervé Delbarre - LPCA

Financement

TOTAL & ONERA

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

www.onera.fr/pss



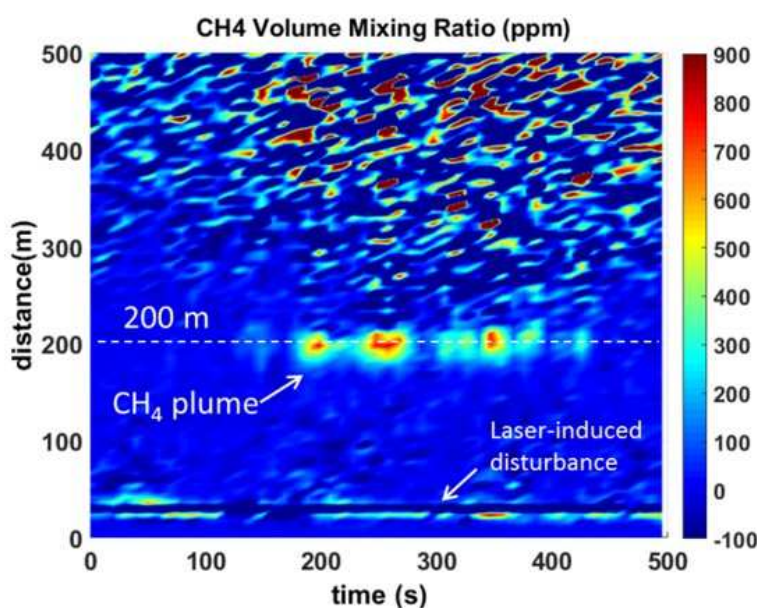
Contact : [Nicolas.Cezard @ onera.fr](mailto:Nicolas.Cezard@onera.fr)

Résumé

Lorsqu'une fuite de méthane survient sur une installation pétrolière, le contrôle du panache à distance (50 m à 1 km) permettrait de prévenir d'éventuels drames humains et de quantifier les rejets afin d'en estimer l'impact environnemental et économique. Survenant dans le cadre du projet NAOMI liant TOTAL à l'ONERA, ce travail de thèse décrit l'étude, la conception et la caractérisation d'un système lidar DIAL (« Differential Absorption ») cohérent, fonctionnant dans le proche infrarouge (1,65 μm). La spécificité de l'instrument réside dans son caractère bi-fonction, puisqu'il est capable de mesurer simultanément, et de manière résolue, la vitesse du vent et la concentration de méthane. Cette spécificité confère son nom au système : VEGA pour « VEnt et GAZ ». Le mémoire de thèse discute :

- des choix relatifs à la conception de l'instrument ;
- de l'estimation de performances de VEGA au travers de simulations numériques ;
- des résultats expérimentaux, notamment issus de la participation à une campagne de mesures (à Lacq, dans sud de la France) ayant permis d'étudier la capacité de VEGA à identifier et caractériser des fuites industrielles sur le terrain, dans un environnement simulant des conditions réelles.

Les résultats du travail de thèse, posant les bases pour l'estimation autonome du débit d'une fuite (g/s) en combinant les mesures de la concentration gaz et de la vitesse du vent restituées par VEGA, sont décrits dans un article à paraître dans *Optics Express*.



Détection d'un panache de méthane à 200 m de distance par le Lidar VEGA, lors de la campagne NAOMI de Lacq (2018)

Développer une nouvelle technique pour améliorer la résolution des images astronomiques corrigées par optique adaptative

Romain FETICK

Thèse soutenue le 1er octobre 2020

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

Titre de la thèse

Traitement d'image en optique adaptative : estimation paramétrique de la réponse impulsionnelle et déconvolution

Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrant : Benoit Neichel- LAM

Directeurs de thèse : Thierry Fusco & Laurent Mugnier - ONERA

Financement

Agence de l'Innovation de Défense (AID) & Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (MESRI)

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

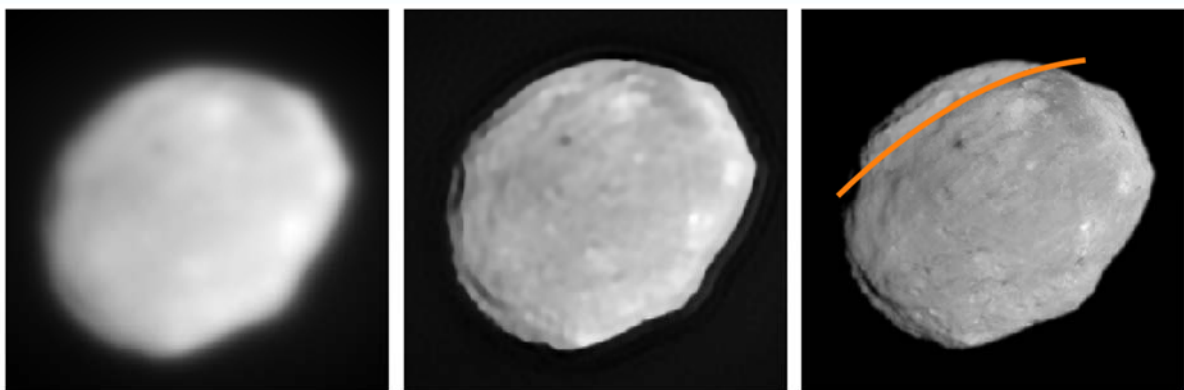
www.onera.fr/pss



Contact : Romain.Fetick @ onera.fr

Résumé

La résolution des images astronomiques est sévèrement dégradée par la turbulence atmosphérique. La réponse impulsionnelle (Point Spread Function, PSF) du système d'imagerie, télescope et atmosphère, est étendue et ne permet pas de dépasser la limite de diffraction d'un télescope de quelques dizaines de centimètres dans le visible. L'optique adaptative (OA) est une correction en temps réel de la turbulence atmosphérique qui augmente considérablement la résolution du système. Cependant la correction d'OA dans la bande visible est seulement partielle. La déconvolution est une technique de traitement a posteriori qui permet de restaurer l'information contenue dans l'image mais qui a été atténuée par la turbulence. Cette déconvolution nécessite l'utilisation de la PSF du système, souvent inconnue ou incorrectement estimée. Le travail présenté ici montre l'intérêt d'utiliser un modèle paramétrique de PSF en traitement d'image. Les deux grands axes de ce travail sont alors i) la création et validation d'un modèle de PSF adapté à la correction OA et ii) l'utilisation de ce modèle de PSF pour la déconvolution. Le modèle proposé ici inclut des paramètres physiques, dont le paramètre de Fried qui indique la force de la turbulence ou la variance de phase corrigée par OA. Grâce à son origine physique, ce modèle de PSF corrigée par OA est précis sur la forme de la PSF et ses paramètres peuvent être déterminés par télémétrie. La robustesse et adaptabilité du modèle sont validées notamment sur l'imageur SPHERE/Zimpol et sur le spectro-imageur MUSE du VLT. Ensuite le modèle est utilisé en déconvolution d'images astronomiques. Nous montrons que la déconvolution jointe qui estime à la fois la PSF et l'objet est dégénérée. A la place nous utilisons une technique dite de marginalisation : l'image est utilisée pour estimer dans un premier temps uniquement la PSF. Puis la PSF est injectée à nouveau dans un algorithme de déconvolution non myope. Les techniques de déconvolution avec PSF paramétriques sont appliquées à l'ESO Large Program d'observation d'astéroïdes de la ceinture principale.



*Image de l'astéroïde Vesta par l'instrument SPHERE/Zimpol du Very Large Telescope (à gauche).
Objet déconvolué avec une PSF paramétrique (au milieu), et image de synthèse obtenue à partir
de données de la sonde NASA/Dawn pour comparaison (à droite)*

Développer de nouveaux systèmes optiques pour accroître la capacité de transmission de données entre l'espace et le sol

Distinction

Prix jeune chercheur
CNES (2019)

Laurie PAILLIER

Thèse soutenue le 14 octobre 2020

Ecole doctorale : ED 626 (IPP) - Institut Polytechnique de Paris

Titre de la thèse

Architecture de récepteur cohérent pour les liens optiques satellite-sol avec optique adaptative

Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrants : Nicolas Vedrenne & Jean-Marc Conan - ONERA
Géraldine Artaud - CNES

Directeurs de thèse : Yves Jaouen - Télécom Paris
Raphaël Le Bidan - IMT Atlantique

Financement

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) & ONERA

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

www.onera.fr/pss

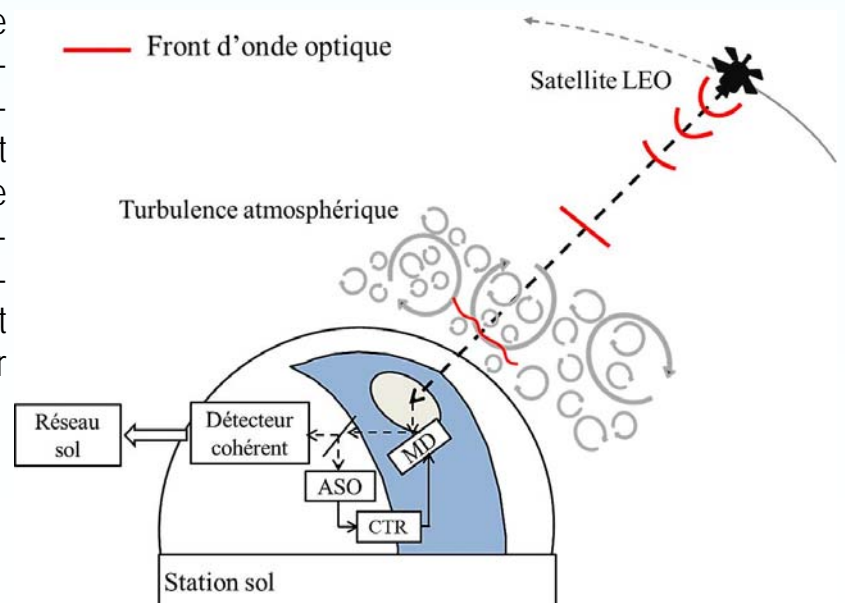


Contact : [Laurie.Paillier @ onera.fr](mailto:Laurie.Paillier@onera.fr)

Résumé

L'émergence et la multiplication de moyens d'observation du sol de résolution croissante, et de réseaux de télécommunication spatiaux à très haut débit pour l'internet globalisé, rendent nécessaire d'accroître la capacité de transmission de données entre l'espace et le sol de plusieurs ordres de grandeur. Les liens optiques, avec des débits de plusieurs dizaines de Gbps par canal, constituent une solution à très fort potentiel si les techniques de modulation de phase exploitées dans les réseaux fibrés peuvent y être appliquées. L'enjeu de cette thèse est d'investiguer le recours à des méthodes de modulation de phase pour des liens optiques satellite-sol en prenant en compte les spécificités propres à l'application : bruits de phase des lasers, effet Doppler, et impact de la propagation à travers la turbulence atmosphérique corrigée par optique adaptative pour maximiser l'efficacité de la détection cohérente.

Dans ce but, une simulation complète d'une transmission cohérente BPSK a été développée incluant les étapes de propagation à travers l'atmosphère, de détection et de démodulation. En s'appuyant sur cet outil, nous avons proposé deux architectures de récepteur numérique : l'une exploitant une boucle à verrouillage de phase l'autre reposant sur une synchronisation en boucle ouverte. La méthodologie de conception développée à cette occasion permet de réduire l'impact du bruit de phase des lasers sur la précision de synchronisation, ce terme restant néanmoins prépondérant. L'étude menée montre que les deux architectures présentent des performances comparables en termes de précision de synchronisation, de seuil de convergence et de taux d'erreur dans différentes conditions de turbulence. Les performances en taux d'erreur obtenues soulignent l'importance de la qualité de la correction par optique adaptative. Une confirmation par modélisation du faible impact du bruit de phase turbulent sur la performance est apportée. Ces travaux laissent envisager la possibilité d'un accroissement très significatif du débit atteignable pour des liens de télémesure cohérents dans le cas de l'emploi de constellations d'ordre supérieur (QPSK et au-delà) associé à une correction par optique adaptative de bonne qualité.



Principe d'un lien optique descendant satellite-sol en présence de correction par optique adaptative (ASO : Analyseur de surface d'onde, CTR : contrôleur temps réel, MD : Miroir déformable)

Mieux connaître la transmission optique en milieu urbain sous toutes conditions météorologiques pour fiabiliser ce type de liaison

Chloé SAUVAGE

Thèse soutenue le 26 octobre 2020

Ecole doctorale : ED 626 (IPP) - Institut Polytechnique de Paris

Titre de la thèse

Impact de l'environnement atmosphérique sur les liaisons optiques sans fil pour la ville du futur

Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrant : Frédéric Grillot - Télécom Paris

Directeurs de thèse : Didier Erasme - Télécom Paris

Clélia Robert - ONERA

Financement

Télécom Paris & ONERA

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

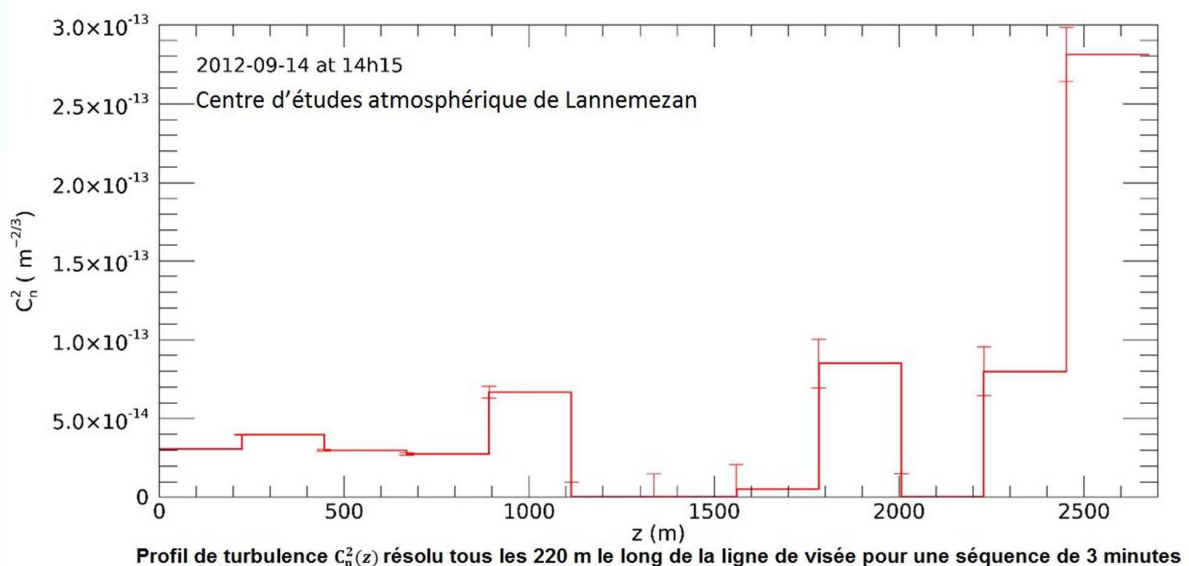
www.onera.fr/pss



Contact : Clelia.Robert @ onera.fr

Résumé

Les liens de télécommunications optiques en espace libre sont amenés à se répandre. En particulier car leur déploiement est simple, rapide et économique au contraire des réseaux fibrés. Néanmoins leur fragilité face aux faibles visibilités et au-delà de quelques kilomètres de portée freine leur utilisation. Connaître plus finement le canal atmosphérique urbain sous toutes conditions météorologiques est donc nécessaire afin d'apporter les solutions pour fiabiliser ce type de liaison, notamment avec le choix d'une longueur d'onde adaptée. La première partie de cette thèse introduit le fonctionnement des liens de télécommunications optiques expérimentaux et décrit les différents phénomènes atmosphériques, tel que l'atténuation et la turbulence, auxquels sont soumis les faisceaux laser se propageant sur plusieurs kilomètres en espace libre. La seconde partie présente deux études. Pour la première, un lien optique a été modélisé afin de déterminer sa disponibilité en fonction de différentes longueurs d'onde et conditions atmosphériques. Dans la seconde étude l'évolution temporelle du canal atmosphérique en présence de turbulence a été déterminée, à l'aide de mesures réelles. La troisième partie de cette thèse valide la méthode de reconstruction du C_n^2 , distribué le long du canal turbulent. La dernière partie porte sur le travail préparatoire d'un lien expérimental à la longueur d'onde de 4 μm qui permettra de relier la performance télécom et l'état du canal, en terme de turbulence caractérisée par la constante de l'indice de réfraction C_n^2 . L'ensemble de ces travaux constitue une première étape dans la mise en œuvre de liens de télécommunications optiques en espace libre fonctionnant sous toutes conditions météorologiques.



Profil de turbulence (C_n^2) mesuré (en rouge) à Lannemezan à 20 mètres de hauteur

Développer un nouveau type d'ophtalmoscope pour améliorer la résolution et le contraste des images rétiniennes

Yann LAI-TIM

Thèse soutenue le 19 novembre 2020

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

Titre de la thèse

Imagerie haute résolution de la rétine humaine par illumination structurée assistée par optique adaptative

Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrant : Serge Meimon - ONERA

Directeurs de thèse : Laurent Mugnier - ONERA

Michel Paques - INSERM

Financement

Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm) & ONERA

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

www.onera.fr/pss



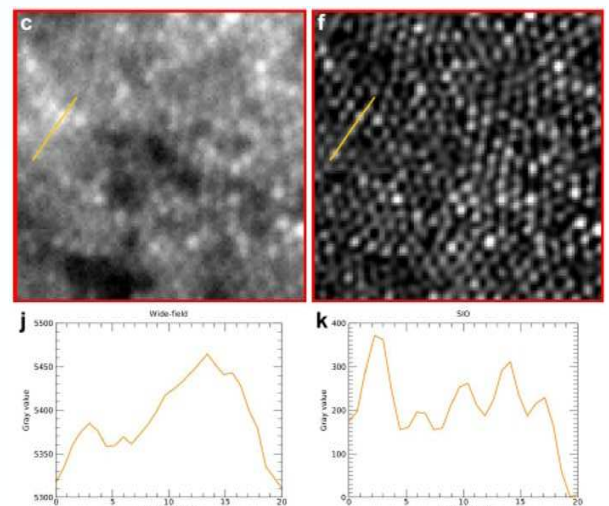
Contact : Laurent.Mugnier @ onera.fr

Résumé

La détection précoce des pathologies rétinienne chez l'Homme réclame des moyens d'imagerie *in vivo* non invasifs du tissu rétinien, à l'échelle de la cellule. Or, l'observation de la rétine depuis l'extérieur souffre de la mauvaise qualité optique de l'œil, des mouvements oculaires, de la diffusion de la lumière par les tissus, et du mauvais rapport signal-à-bruit dû aux contraintes de sécurité oculaire. L'optique adaptative (OA), qui compense en temps réel les aberrations optiques introduites par l'œil, permet d'augmenter la résolution spatiale des images *in vivo*. Néanmoins, le contraste des images rétinienne *in vivo* corrigées par OA est dégradé par un fond diffus dominant et leur résolution ultime reste limitée par l'ouverture de la pupille de l'œil. L'imagerie par illumination structurée, une technique de super-résolution éprouvée en microscopie, permet de résoudre ces limitations et d'obtenir des images contrastées (par sectionnement optique) et super-résolues, c'est-à-dire avec une résolution meilleure que la limite de diffraction. Son application à l'imagerie rétinienne *in vivo* n'a cependant jamais été réalisée.

L'enjeu de cette thèse est de concevoir, de mettre en œuvre et d'exploiter un ophtalmoscope par illumination structurée afin d'obtenir des images rétinienne contrastées et super-résolues. Tout d'abord, une méthode bayésienne de reconstruction par illumination structurée prenant en compte les spécificités de l'imagerie rétinienne, à savoir les mouvements oculaires, le caractère tridimensionnel de la rétine et la diffusion induite par l'œil, a été développée. Cette méthode, validée dans un premier temps sur des données de microscopie, a été caractérisée par simulations dans le but d'en optimiser les paramètres et de quantifier ses performances. Ensuite, pour valider expérimentalement la méthode proposée sur rétine *in vivo*, un ophtalmoscope plein champ assisté par OA capable de projeter de l'illumination structurée dans la rétine a été développé dans une approche de co-conception. Dans cette même approche, la méthode de reconstruction a été adaptée et des images rétinienne reconstruites par illumination structurée ont été réalisées, ce qui constitue la première démonstration mondiale de l'imagerie rétinienne *in vivo* à haute résolution par illumination structurée. Les images ainsi obtenues présentent un gain notable en contraste et en résolution par rapport aux images plein champ conventionnelles.

Démonstration de l'imagerie rétinienne par illumination structurée : première mondiale.
En haut à gauche, image in vivo classique de photorécepteurs sur un sujet humain.
En haut à droite : image reconstruite avec illumination structurée, qui montre l'amélioration du contraste dû au sectionnement optique.
En bas : coupes de ces images selon le trait orange, qui montre le gain en résolution (super-résolution)



Développer de nouvelles méthodes de caractérisation de performance des nouveaux détecteurs matriciels pour l'infrarouge

Edouard HUARD de VERNEUIL

Thèse soutenue le 14 février 2020

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

Titre de la thèse

Vers une approche métrologique de la mesure de fonction de transfert de détecteurs infrarouge

Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrante : Sophie Derelle - ONERA

Directeur de thèse : Jérôme Primot - ONERA

Financement

LabEx Focus (Focal Plane Array for Universe Sensing) & ONERA

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

www.onera.fr/pss

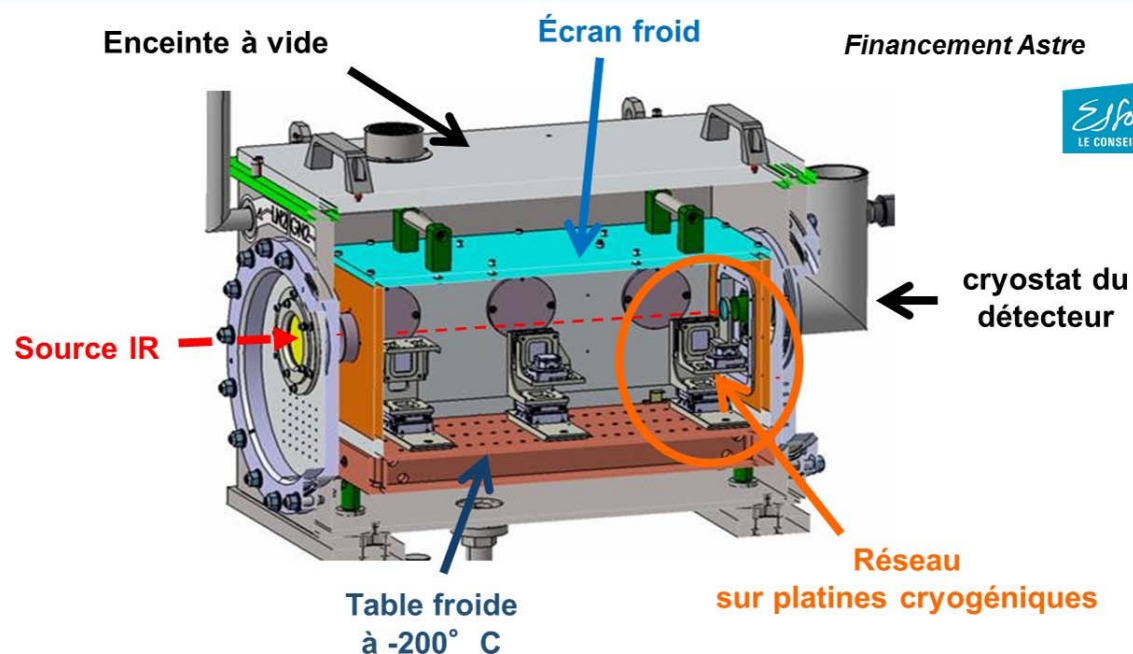


Contact : [Edouard.Huard @ onera.fr](mailto:Edouard.Huard@onera.fr)

Résumé

Les détecteurs matriciels pour l'infrarouge sont en plein développement technologique et s'appliquent à des domaines divers (spatial/défense, astronomie, industrie...). La tendance à la réduction des pas pixels et le développement d'applications multi- et hyper-spectrales posent alors un défi en termes de caractérisation de performance. C'est en particulier le cas pour la mesure de la fonction de transfert de modulation (FTM), fonction de mérite qui mesure la capacité du détecteur à résoudre des détails d'une scène, et qui est liée à la réponse spatiale de la matrice de pixels.

Dans cette thèse, nous étudions une méthode interférentielle permettant la projection 2D de motifs haut en résolution prédictibles par simulation. Un banc de mesure cryogénique spécifique a été développé pour effectuer la mesure avec un fond thermique réduit tout en ayant accès à des grands angles d'ouvertures optiques vus depuis le détecteur. Un traitement de mesure permettant d'estimer la propagation du bruit à travers la méthode est développé et des mesures de FTM spectrales sont effectuées. Un retour d'expérience est alors mené, débouchant sur la proposition d'un nouveau protocole de mesure pour mesurer la FTM par voie monochromatique.



*Enceinte cryogénique MIRCOS
(Moyen IR pour la Caractérisation Optique de Système)*

Concevoir des filtres spectraux IR nanostructurés dont les propriétés peuvent être ajustées en temps réel

Clément MAËS

Thèse soutenue le 28 septembre 2020

Ecole doctorale : ED 166 (I2S) - Information, Structures et Systèmes -
Montpellier

Titre de la thèse

Plasmonique active pour l'infrarouge sur semi-conducteur fortement dopé

Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrant : Grégory Vincent - ONERA

Directeurs de thèse : Thierry Taliercio - Université de Montpellier
Riad Haïdar - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

www.onera.fr/pss



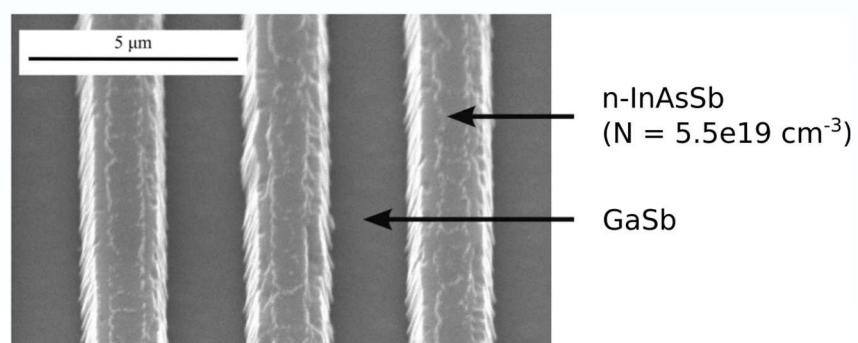
Contact : [Gregory.Vincent @ onera.fr](mailto:Gregory.Vincent@onera.fr)

Résumé

Depuis une dizaine d'années, l'ONERA investit dans la recherche en nanotechnologies pour améliorer les performances des systèmes optiques, en particulier celles des caméras infrarouges, et collabore avec de prestigieux laboratoires nationaux. Parmi ces améliorations, l'ONERA a déjà proposé des architectures de composants nanostructurés permettant de réaliser de l'imagerie multispectrale en temps réel. Cependant, cela se faisait avec un compromis entre la résolution spatiale et la résolution spectrale.

Cette thèse porte sur une nouvelle génération de composants qui permettraient de lever ce compromis. Plus précisément, il s'agit de filtres spectraux nanostructurés dont les propriétés spectrales seraient modifiées par application d'une différence de potentiel. Pour poursuivre cet objectif, des matériaux relativement peu utilisés en nanophotonique ont été étudiés : des semiconducteurs fortement dopés. Le premier avantage dans l'utilisation de ces matériaux est la compatibilité technologique avec le photodétecteur infrarouge, permettant ainsi une intégration monolithique des nanostructures au détecteur. Le second avantage vient de la possibilité de concevoir des empilements de couches dont l'indice de réfraction peut être modifié en fonction de la valeur d'une tension électrique. Au contraire des mécanismes de type MEMS, l'utilisation de ces matériaux permettrait une accordabilité électrique sans partie mobile, permettant donc une réactivité importante et une meilleure tenue aux vibrations.

Les travaux ont consisté d'une part à dimensionner des composants à l'aide de logiciels de calculs électromagnétiques et d'autre part à les fabriquer en salles blanches à l'Institut d'Electronique et des Systèmes (Université de Montpellier). L'image ci-dessous, prise au microscope électronique à balayage, montre les nanostructures à la surface d'un composant. La thèse s'est poursuivie par le développement d'un banc de caractérisation optique à l'ONERA, ce qui a permis de valider expérimentalement les concepts proposés.



Vue au microscope électronique à balayage de nanostructures à la surface d'un filtre spectral en InAsSb et GaSb

Concevoir des nano-antennes permettant de générer efficacement des effets non linéaires pour développer de nouvelles sources pour la spectroscopie infrarouge

Distinction

Article sélectionné
Optics Express
Editor's Picks
(2020)

Léna SOUN

Thèse soutenue le 26 novembre 2020

Ecole doctorale : ED 626 (IPP) - Institut Polytechnique de Paris

Titre de la thèse

Exaltation d'effets non linéaires dans des métasurfaces à multi-résonances accordées

Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Directeurs de thèse : Riad Haïdar & Patrick Bouchon - ONERA

Financement

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

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

www.onera.fr/pss

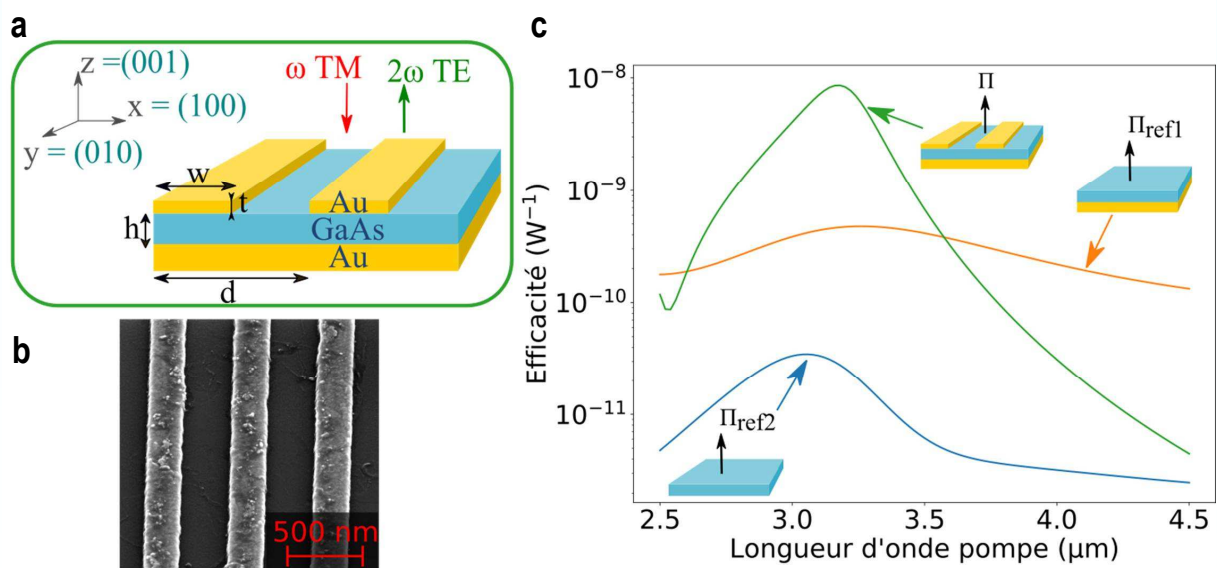


Contact : Patrick.Bouchon @ onera.fr

Résumé

Les nano-antennes sont des composants nanostructurés capables de concentrer la lumière dans des volumes sublongueur d'onde, exaltant le champ électrique selon plusieurs ordres de grandeur. Cela est particulièrement intéressant pour la génération d'effets non linéaires, qui dépendent des puissances du champ électrique incident. En effet, les effets non linéaires d'ordre 2, qui permettent les phénomènes de conversion de fréquence, comme la génération de second harmonique (SHG), ou la différence de fréquence (DFG), dépendent du carré du champ électrique. Ainsi, si l'on inclut un cristal non linéaire dans une nano-antenne, on peut exalter significativement ces effets. L'objectif de cette thèse est donc de concevoir des nano-antennes permettant de générer efficacement des effets non linéaires d'ordre 2. De tels dispositifs pourraient être appliqués à la création de nouvelles sources pour la spectroscopie infrarouge.

Le travail de thèse va de la modélisation électromagnétique des effets non linéaires dans les nanostructures à la démonstration expérimentale. La modélisation de polarisation non linéaire générée suivant l'axe optique a été développée en s'appuyant sur une méthode modale B-Spline pour les calculs linéaires. Ce modèle a permis de simuler les effets non linéaires liés à cette polarisation, d'affiner la compréhension des phénomènes physiques dans les nanostructures multi-résonantes, et d'optimiser une structure ayant une efficacité de $0,1 \text{ W/W}^2$ en différence de fréquence dans l'infrarouge. La conception d'un échantillon a permis de valider les propriétés résonantes, ainsi qu'une démonstration expérimentale de génération de second harmonique.



(a) Schéma de la nanoantenne permettant de réaliser de la SHG, (b) Image MEB réalisée au C2N, (c) Spectre d'efficacité en fonction de la longueur d'onde pompe, comparé aux efficacités de deux références non structurées

Concevoir de nouveaux composants pour miniaturiser les antennes comportant un plan réflecteur

Christophe FISNÉ

Thèse soutenue le 23 octobre 2020

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

Titre de la thèse

Métasurfaces actives pour applications large-bande

Encadrement

Département ElectroMagnétisme et Radar (DEMR)

Encadrante : Anne-Laure Franc - LAPLACE

Directeurs de thèse : Nathalie Raveu - LAPLACE

Cédric Martel - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

Electromagnétisme
et radar

www.onera.fr/pss

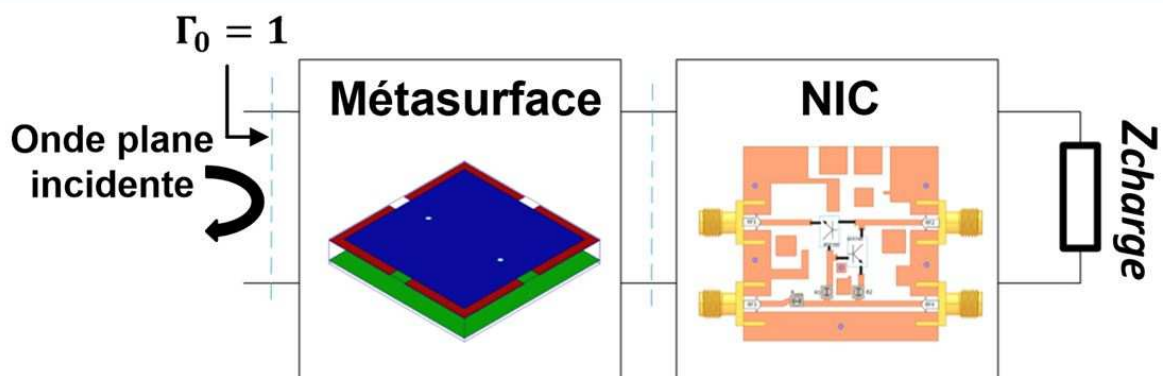


Contact : Cédric.Martel @ onera.fr

Résumé

Les métasurfaces offrent des propriétés électromagnétiques particulières permettant de générer des indices de réfraction inhabituels, produire des bandes électromagnétiques interdites, ou encore créer des surfaces à haute-impédance. Ces dernières, aussi nommées « Artificial Magnetic Conductor (AMC) » sont particulièrement intéressantes dans le domaine antenne. En effet elles permettent de réduire les couplages de divers éléments rayonnants, mais aussi de miniaturiser les antennes comportant un plan réflecteur. Cependant, leur bande de fonctionnement inférieure à 10% les rend souvent incompatibles avec des applications large bande. Pour pallier cette limitation en bande passante, l'intégration de circuits actifs de type « non-Foster » ouvre une voie permettant d'élargir la bande passante des surfaces à haute-impédance.

Dans ce contexte, l'objectif de la thèse est de concevoir un réflecteur haute-impédance large-bande grâce à l'intégration de circuits actifs de type « non-Foster ». La bande passante visée est [0,5 GHz ; 1,5 GHz] soit 100% de bande passante relative. Une méthodologie de synthèse d'AMC large bande est proposée : un réflecteur AMC sous incidence normale est conçu à partir d'une métasurface connectée à un circuit non-Foster qui est lui-même chargé par une impédance optimisée. Les relations analytiques permettant d'exprimer le coefficient de réflexion de la métasurface en fonction du circuit non-Foster et de sa charge sont explicitées. Dans un premier temps, une métasurface fonctionnant en polarisation rectiligne permettant le report d'un circuit non Foster est proposée. Cette topologie permet de protéger le circuit électronique des ondes électromagnétiques incidentes. Ensuite, un circuit Non-Foster de type « Negative Impedance Converter (NIC) » est conçu. La topologie du circuit est choisie dans un souci de simplification technologique. La réalisation de ce circuit a été faite en utilisant des composants standards et l'utilisation de potentiomètres permet un contrôle de l'impédance en entrée du circuit. Enfin, la charge de ce circuit NIC est déterminée afin de permettre le comportement AMC large bande en prenant en compte le comportement réel du circuit non Foster. De plus, une étude permettant d'étendre le fonctionnement de la métasurface en polarisation circulaire est amorcée.



Cellule périodique d'une métasurface active large bande

Faire progresser la caractérisation de la surface océanique dans la bande des micro-ondes : extension des modèles de rétrodiffusion et télédétection des pollutions marines

Sébastien ANGELLIAUME

Thèse soutenue le 11 décembre 2020

Ecole doctorale : ED 548 - Mer et Sciences - Toulon

Titre de la thèse

Imagerie radar de la surface océanique : de l'estimation de l'état de mer à la caractérisation de pollution marine

Encadrement

Département Electromagnétisme et Radar (DEMR)

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

Financement

Doctorat obtenu dans le cadre de la Validation des Acquis de l'Expérience (VAE)

Défi scientifique

Electromagnétisme
et radar

www.onera.fr/pss

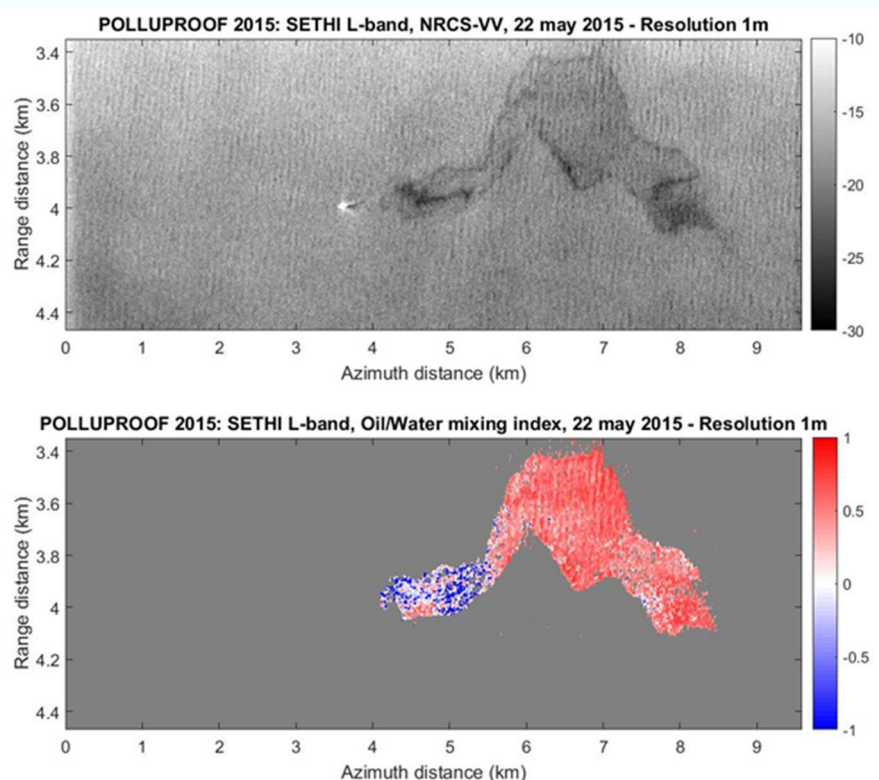


Contact : Sébastien.Angelliaume @ onera.fr

Résumé

L'imagerie radar est utilisée depuis plus de 40 ans pour l'observation de la Terre. Elle permet l'acquisition de données à haute résolution spatiale, sur l'ensemble du globe, de jour comme de nuit et quasi indépendamment des conditions atmosphériques et météorologiques. Même si la réponse radar des surfaces océaniques est en général bien caractérisée dans la littérature, il demeure à ce jour un certain nombre de verrous scientifiques. Les travaux de recherche exposés dans ce manuscrit ont pour vocation à faire progresser la caractérisation de la surface océanique dans la bande des micro-ondes : deux volets ont été explorés, l'extension des modèles de rétrodiffusion et la télédétection des pollutions marines. Une originalité importante des résultats présentés est qu'ils s'appuient simultanément sur des travaux expérimentaux et sur des développements théoriques. Une meilleure compréhension de l'interaction entre l'onde EM et la surface de mer nous a permis d'étendre le domaine d'emploi des modèles analytiques de rétrodiffusion. Une distribution adaptée des pentes des vagues permet de restituer qualitativement les asymétries directionnelles observées expérimentalement. L'utilisation d'un modèle de Bragg composite corrigé du rapport de polarisation permet quant à lui de restituer la distribution de fouillis de mer en polarisation directe. Traditionnellement restreinte à la détection des nappes d'hydrocarbures en mer, nous avons exploré l'usage de l'imagerie radar pour le suivi des pollutions par produits chimiques. Au-delà de la détection, nous avons également démontré la pertinence des données SAR pour la caractérisation et la quantification des pollutions marines, à condition de disposer d'un instrument dont le niveau de bruit est suffisamment faible.

Image SAR bande L sur déversement contrôlé de produits chimiques (en haut) et carte d'indice de mélange (en bas)



Développer une nouvelle méthode pour mieux caractériser un état de mer à partir de mesures radar

Floriane SCHREIBER

Thèse soutenue le 14 décembre 2020

Ecole doctorale : ED 548 - Mer et Sciences - Toulon

Titre de la thèse

Estimation des conditions océanographiques par inversion de données issues d'un radar imageur non calibré

Encadrement

Département Electromagnétisme et Radar (DEMR)

Encadrant : Sébastien Angelliaume - ONERA

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

Financement

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

Défi scientifique

Electromagnétisme
et radar

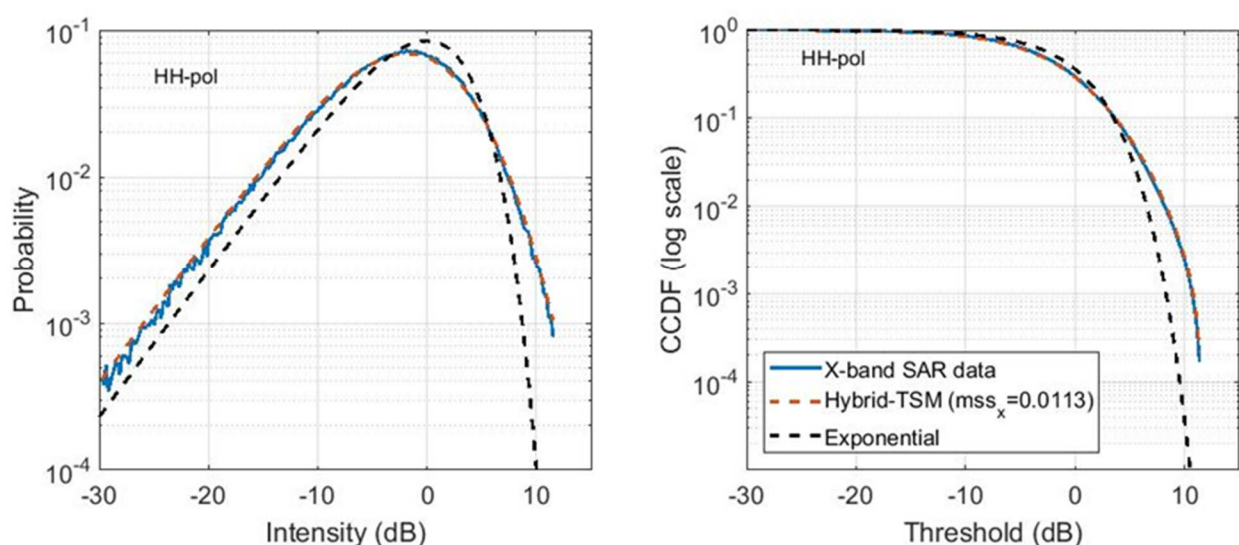
www.onera.fr/pss



Contact : Sébastien.Angelliaume @ onera.fr

Résumé

La caractérisation statistique du «fouillis de mer » est un problème important en télédétection radar microondes. Elle repose en général sur des modèles purement empiriques qui ne sont pas directement interprétables en termes d'état de mer et ne peuvent pas se prêter à une procédure d'inversion. Pour modéliser la distribution statistique de l'intensité rétrodiffusée, nous utilisons une approche deux-échelles paramétrée par la cellule de résolution radar et la pente quadratique moyenne des vagues. Ce modèle permet de décrire analytiquement la distribution des intensités normalisées, à l'aide d'un seul paramètre de pente et s'adapte parfaitement aux observations expérimentales lorsqu'on ajuste ce dernier dans les différents cas de polarisation. Cependant, une incohérence dans la variable d'ajustement du modèle est observée entre les deux canaux de polarisation et expliquée par une mauvaise estimation du rapport de polarisation des sections efficaces radar prédites par le modèle deux-échelles. Pour corriger ce défaut, nous avons développé une formulation analytique originale du modèle deux-échelles permettant de restaurer de manière simple les bons ordres de grandeur du rapport de polarisation indépendamment des fréquences radar et des états de mer. Cette version améliorée, validée par plusieurs comparaisons expérimentales dans des configurations diverses, permet d'obtenir une modélisation cohérente de la statistique du fouillis de mer dans les différents canaux de polarisation. Nous avons finalement élaboré une méthode d'inversion pour estimer un état de mer à partir des intensités non calibrées recueillies sur un radar imageur. La pertinence de ce modèle est établie à l'aide de différents jeux de données, y compris en présence d'incertitudes de calibration.



Signaux radar en bande X (bleu), loi exponentielle (noir) et modèle physique paramétré par la mms des vagues (rouge) - représentation sous forme de PDF (à gauche) et de CCDF (à droite)

Mieux comprendre les phénomènes physiques de rétrodiffusion des ondes radar par une surface de mer pour mieux modéliser l'écho de mer

Florestan PLATZER

Thèse soutenue le 3 mars 2020

Ecole doctorale : ED 548 - Mer et Sciences - Toulon

Titre de la thèse

Etude de la signature radar de la surface de mer en incidence rasante

Encadrement

Département ElectroMagnétisme et Radar (DEMR)

Encadrant : Vincent Fabbro - ONERA

Directeur de thèse : Marc Saillard - Université de Toulon

Financement

Agence de l'Innovation de Défense (AID) & ONERA

Défi scientifique

Electromagnétisme
et radar

www.onera.fr/pss



**AGENCE
INNOVATION
DÉFENSE**

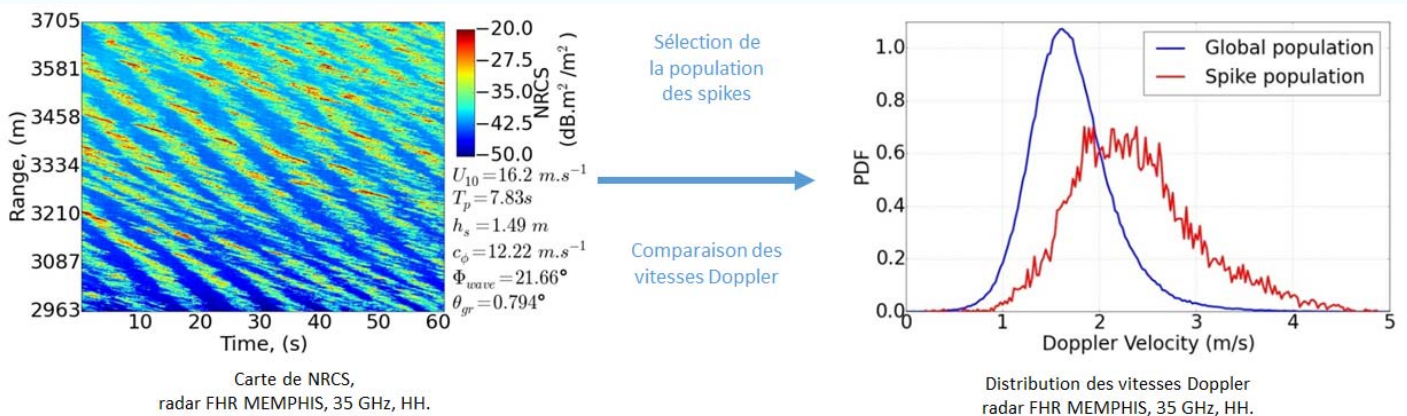
**UNIVERSITÉ
DE TOULON**

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Contact : Florestan.Platzer @ onera.fr

Résumé

Ces travaux proposent une analyse de l'écho radar de mer grâce au traitement d'une base de données issue de campagnes de mesures en zone côtière. L'analyse de l'amplitude de l'onde rétrodiffusée montre qu'elle respecte un modèle à deux échelles, combinaison de deux composantes nommées texture et speckle. La texture restitue les variations de la puissance rétrodiffusée associées aux grandes vagues, tandis que le speckle caractérise les variations rapides de la phase. Un traitement Doppler met alors en évidence la relation entre « spikes » de mer (événements ponctuels à forte rétrodiffusion) et vitesses Doppler élevées (diffuseurs rapides). La composante basse-fréquence présente sur les spectres 2D des cartes temps-distance de puissance rétrodiffusée, appelée « group line », est ensuite modélisée. Il apparaît que, contrairement à une hypothèse répandue, le déferlement n'est pas la cause principale de la présence de la « group line ». Une proposition de modélisation de l'écho de mer basée sur les observations expérimentales est finalement proposée, permettant de restituer des cartes spatio-temporelles dont les caractéristiques sont proches des mesures.



Mise en évidence de l'impact des spikes sur les vitesses Doppler

Tester des modèles de gravité alternatifs à la Relativité Générale grâce aux résultats de la mission MICROSCOPE

Martin PERNOT-BORRÀS

Thèse soutenue le 4 novembre 2020

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

Titre de la thèse

Tester la gravité dans l'espace : vers un traitement réaliste de la gravité Caméléon dans la mission MICROSCOPE

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Directeurs de thèse : Jean-Philippe Uzan - Institut d'Astrophysique de Paris
Joël Bergé - ONERA

Financement

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) & ONERA

Défi scientifique

Capteurs
et environnement
spatial

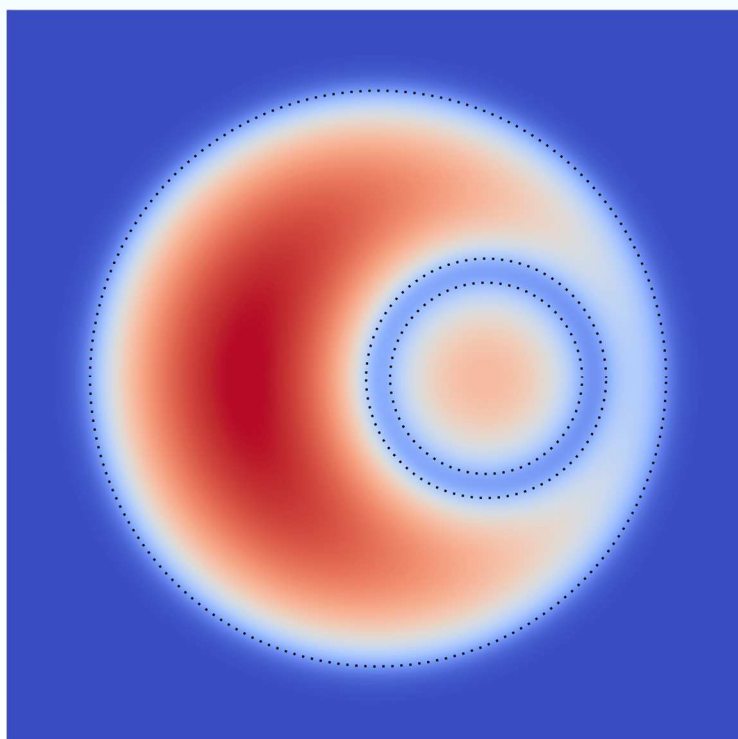
www.onera.fr/pss



Contact : [Joel.Berge @ onera.fr](mailto:Joel.Berge@onera.fr)

Résumé

Ce travail de thèse examine la testabilité, par des expériences menées dans l'espace, de théories de gravité alternatives à la Relativité Générale. Il profite du contexte offert par la mission MICROSCOPE qui a récemment amélioré la précision du test du principe d'équivalence faible, principe pilier de la Relativité Générale. Étant la première expérience qui réalise ce test de précision dans un laboratoire dans l'espace, ses résultats étaient attendus pour tester des modèles de gravité présentant une dynamique dépendante de l'environnement via un mécanisme d'écrantage. L'étude se concentre sur le cas des théories tenseur-scalaire et du modèle Caméléon. De nouvelles méthodes sont développées pour simuler le comportement de ce nouveau champ scalaire. Elles permettent de discuter la survenue de l'écrantage de MICROSCOPE et donc d'une cinquième force sourcée par l'extérieur du satellite et pouvant aboutir à une violation du principe d'équivalence. Un autre type de cinquième force résultante d'asymétries dans la géométrie interne de MICROSCOPE est étudié. Se comportant comme une raideur, l'utilisation de sessions de mesures de la raideur électrostatique de l'instrument permet de contraindre l'existence de cette force.



*Simulation du champ Caméléon dans une géométrie
de deux cylindres similaire à MICROSCOPE*

Mieux comprendre le processus de conditionnement des surfaces dans les accélérateurs de particules pour mieux prédire la charge thermique du système cryogénique

Valentine PETIT

Thèse soutenue le 17 janvier 2020

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

Titre de la thèse

Conditioning of Surfaces in Particle Accelerators

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrants : Mohamed Belhaj - ONERA
Mauro Taborelli - CERN

Directeur de thèse : Thierry Paulmier - ONERA

Financement

Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire (CERN)

Défi scientifique

Capteurs
et environnement
spatial

www.onera.fr/pss



Contact : [Mohamed.Belhaj @ onera.fr](mailto:Mohamed.Belhaj@onera.fr)

Résumé

Le nuage d'électrons se développant dans les chambres à vide du LHC lors de l'opération des faisceaux de protons engendre une charge thermique sur le système cryogénique de ses aimants supraconducteurs. La valeur de cette charge thermique présente une forte dispersion entre les différents arcs du LHC, pourtant identiques par design, dont certains sont actuellement proches de la limite de la capacité cryogénique. Sous l'effet du nuage d'électrons, le conditionnement de la surface de cuivre des chambres à vide du LHC a lieu, réduisant son rendement d'électrons secondaires. Un tel processus est supposé décroître l'activité du nuage vers un niveau acceptable pour l'opération du LHC et semble donc localement mis en défaut. Ce travail a analysé les phénomènes de conditionnement du cuivre ayant lieu dans le LHC afin d'expliquer les différences d'activités du nuage électronique observées dans l'accélérateur. L'étude des mécanismes de conditionnement du cuivre en laboratoire, à température ambiante, en remplaçant le nuage par un canon à électrons, a mis en évidence le rôle crucial du carbone dans la décroissance du rendement d'électrons secondaires. L'étude du déconditionnement, ayant lieu à la remise à l'air d'une surface irradiée (étape nécessaire à l'extraction de tubes faisceau du LHC) a permis d'établir une procédure limitant l'effacement de l'état de conditionnement in-situ de ces composants en vue de l'analyse de leur surface en laboratoire. Des analyses réalisées sur des tubes faisceau extraits d'un aimant à faible charge thermique montrent que ces surfaces présentent des caractéristiques similaires à celles conditionnées en laboratoire. En revanche, les tubes faisceau extraits d'un aimant à forte charge thermique présentent du CuO ainsi qu'un taux de carbone surfacique extrêmement faible. Il est prouvé que ces modifications résultent de l'opération du LHC et conduisent à un conditionnement altéré de ces surfaces. Ces modifications sont actuellement le meilleur candidat pour expliquer l'origine des différences de charges thermiques observées dans le LHC.



Écran de faisceau LHC, CERN

Comprendre et modéliser l'apparition de l'effet multipactor dans des configurations complexes pour mieux le maîtriser

Distinction

Prix du meilleur article
de l'école doctorale
GEET (2020)

Adrien PLAÇAIS

Thèse soutenue le 19 novembre 2020

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

Titre de la thèse

Modélisation et mesures de l'émission secondaire de diélectriques et des phénomènes multipactor en présence de champ magnétique pour la fusion nucléaire contrôlée et le spatial

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Directeurs de thèse : Mohamed Belhaj - ONERA

Julien Hillairet - CEA Cadarache

Jérôme Puech - CNES

Financement

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

Défi scientifique

Capteurs
et environnement
spatial

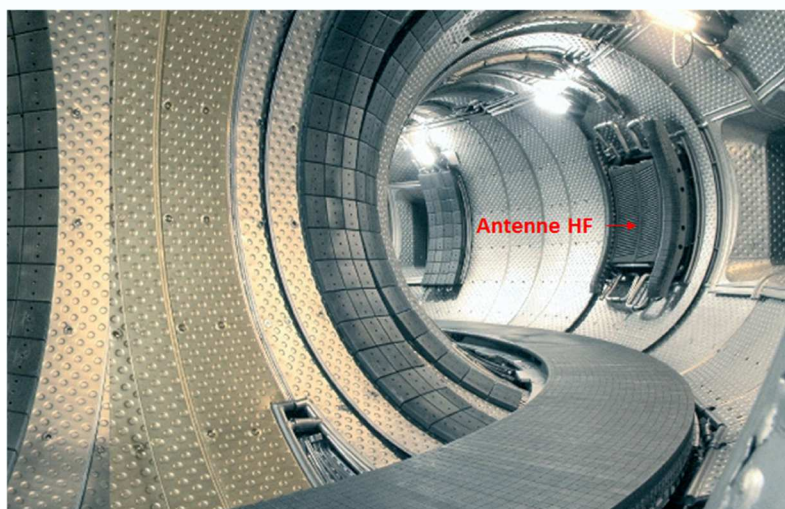
www.onera.fr/pss



Contact : Mohamed.Belhaj @ onera.fr

Résumé

La fusion nucléaire contrôlée par confinement magnétique dans les réacteurs de type Tokamak et le spatial avec les charges utiles des satellites ont en commun d'utiliser des systèmes haute-fréquence (HF) de forte puissance (du kilowatt au mégawatt) et fonctionnant sous vide. La puissance transmissible par de tels systèmes P_{\max} est limitée par l'effet multipactor, qui apparaît quand les électrons présents dans le système entrent en résonance avec le signal HF. Si leur énergie est suffisante, d'autres électrons peuvent être extraits des parois et la population électronique peut croître de manière exponentielle. Ce nuage électronique peut perturber le signal transmis, dégrader des surfaces, voire provoquer un arc électrique. Bien maîtrisée dans les configurations les plus simples (e.g. : guide d'onde rectangulaire métallique), la prévision du phénomène multipactor est plus difficile dans les scénarios complexes, notamment en présence de champs magnétiques et/ou de matériaux de type diélectriques. Ces deux paramètres influencent aussi bien les trajectoires des électrons que les phénomènes d'émission secondaire à l'origine de l'augmentation de la population électronique. L'objectif de la thèse est de modéliser et comprendre l'apparition du multipactor dans ces configurations complexes. Dans ce cadre, le modèle POTOMAC (Physical simulation TOol for Multipactor in Advanced Configurations) a été développé. POTOMAC a permis de montrer que la précision du modèle d'émission électronique utilisé avait une importance capitale, et ce d'autant plus que la configuration étudiée utilise des matériaux diélectriques. Pour modéliser des géométries réalistes, une extension en trois dimensions du modèle de Dionne, qui est le seul modèle d'émission électronique capable de prendre en compte la charge déposée dans les diélectriques, a été proposée. Enfin, ces travaux de thèse ont montré que l'accumulation de charges électriques à la surface des diélectriques avait un impact considérable sur l'apparition du multipactor, en favorisant ou défavorisant certains modes multipactor. Cette influence a été partiellement vérifiée de manière expérimentale, en collaboration avec un partenaire industriel.



Antenne HF du Tokamak WEST IRFM CEA Cadarache

Elaborer et étudier un matériau composite PEEK / Fibres de Carbone pour améliorer le comportement du polymère en environnement spatial

Guilhem RIVAL

Thèse soutenue le 29 septembre 2020

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

Titre de la thèse

**Vieillesse sous irradiation électronique du
PolyEtherEtherKetone : Optimisation des propriétés
électriques pour applications en environnement spatial**

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Directeurs de thèse : Eric Dantras - CIRIMAT Toulouse

Thierry Paulmier - ONERA

Financement

Région Occitanie & ONERA

Défi scientifique

Capteurs
et environnement
spatial

www.onera.fr/pss



Université
de Toulouse



Contact : Thierry.Paulmier @ onera.fr

Résumé

Cette thèse s'inscrit dans une thématique de recherche liée au comportement des polymères en environnement spatial. Elle présente deux objectifs : étudier le vieillissement du PolyEtherEtherKetone (PEEK) sous irradiation électronique et optimiser ses propriétés électriques afin de limiter les phénomènes de charge de surface. Pour cela, des composites PEEK / Fibres Courtes de Carbone ont été élaborés. Le seuil de percolation électrique des fibres a été déterminé à un taux volumique de 9 %. Les applications spatiales du PEEK nécessitant un comportement isolant électrique, le taux de charges de 3 %vol. a été sélectionné. La présence des fibres permet d'améliorer la conductivité électronique à température ambiante, même en-dessous du seuil de percolation électrique. Les matériaux ont alors été soumis à un flux d'électrons de haute énergie afin de simuler leur vieillissement en environnement spatial. L'analyse des échantillons irradiés a mis en évidence deux phénomènes de vieillissement simultanés : une réticulation de la phase amorphe et une amorphisation de la phase cristalline. L'irradiation au voisinage de la transition vitreuse (165° C) conduit à une densité de réticulation plus importante, due à un taux de recombinaison des radicaux plus élevé. Dans les composites, les fibres limitent l'amorphisation et stabilisent le comportement mécanique. Vis-à-vis des propriétés électriques, le vieillissement induit une diminution de la conductivité ionique au-dessus de Tg. Dans les composites, cette diminution est amplifiée. À température ambiante, l'irradiation à 25°C ou à 165°C conduit à des évolutions opposées du transport électronique associées à la compétition entre réticulation et amorphisation. Dans les composites, les fibres stabilisent l'évolution de la relaxation de potentiel et permettent toujours un écoulement plus rapide des électrons.

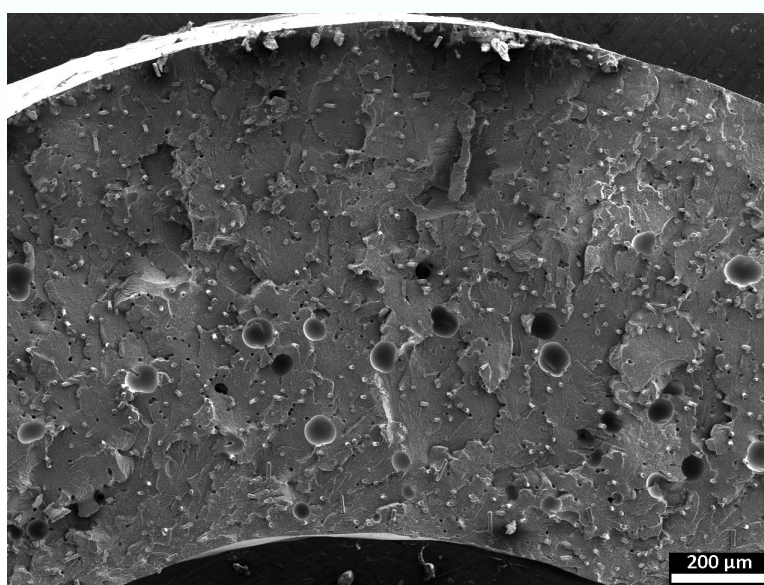


Image MEB en mode électrons secondaires de la cryofracture d'un composite PEEK / Fibres Courtes de Carbone réalisé par extrusion à l'état fondu

Améliorer la tenue au rayonnement des résines utilisées sur les satellites pour limiter les dégradations qu'elles subissent en orbite

Distinction

Prix de communication orale aux JC² CNES (2019)

David LANSADE

Thèse soutenue le 4 décembre 2020

Ecole doctorale : ED 040 - Sciences Chimiques - Bordeaux

Titre de la thèse

Stabilisation de résines poly(diméthylsiloxane) en environnement spatial radiatif

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrant : Simon Lewandowski - ONERA

Directeur de thèse : Stéphane Carlotti - LCPO

Financement

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) & ONERA

Défi scientifique

Capteurs et environnement spatial

www.onera.fr/pss



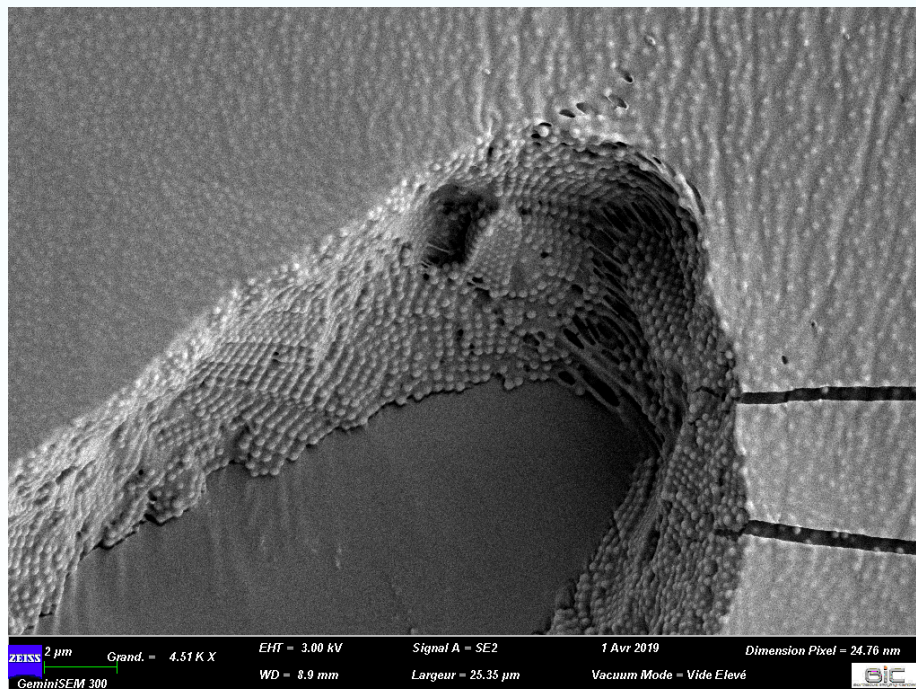
université
de BORDEAUX



Contact : David.Lansade @ onera.fr

Résumé

Les satellites placés en orbite à proximité de la Terre doivent faire face à des conditions radiatives qui dégradent fortement les matériaux qui les constituent. En orbite géostationnaire en particulier, de nombreux rayonnements électromagnétiques ou particulaires réduisent la durée de vie de ces matériaux. Les résines poly(diméthylsiloxane) sont largement utilisées sur les satellites comme adhésifs ou isolants et sont dégradées par ces rayonnements, ce qui se traduit par une perte de leur transparence et l'apparition de fissures. Les travaux présentés dans cette thèse ont pour but de limiter les dégradations subies par ces résines lorsque ces dernières sont soumises à un environnement spatial simulé, en particulier sous irradiation proton. Une première approche a été l'incorporation d'une couche de nanoparticules de silice assemblées de manière compacte à la surface des résines silicones. La taille des nanoparticules, l'épaisseur de la couche ainsi que l'ancrage covalent de ces particules à la matrice ont été étudiés. Une autre approche a été de synthétiser une résine poly(diméthylsiloxane) dont tout ou partie des nœuds de réticulation sont réversibles thermiquement, via une réaction de (rétro-)Diels-Alder.



Front de fissure dans un matériau irradié par des protons de 240 keV contenant un assemblage de particules de silice de 250 nm de diamètre liées de façon covalente à une matrice de poly(diméthylsiloxane)

Développer de nouveaux modèles pour mieux estimer l'effet du rayonnement sur les capteurs d'image embarqués à bord des satellites

Kevin LEMIÈRE

Thèse soutenue le 3 décembre 2020

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

Titre de la thèse

Réorganisation et effets des défauts en volume dans les imageurs irradiés

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrant : Thierry Nuns - ONERA

Directeur de thèse : Christophe Inguibert - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

Capteurs
et environnement
spatial

www.onera.fr/pss



Université
de Toulouse



Contact : Thierry.Nuns @ onera.fr

Résumé

Les capteurs d'image embarqués à bord des satellites, également appelés imageurs, jouent un rôle crucial pour le bon déroulement des missions spatiales. Cependant, ces matrices de pixels sont sensibles aux particules énergétiques issues des diverses sources de rayonnement de l'environnement spatial. Dans certains cas, les interactions entre le rayonnement énergétique et la matière modifient la structure cristalline du semi-conducteur qui compose la zone sensible du pixel. Par la suite, les défauts cristallins produits lors de l'irradiation vont se réorganiser pour former des entités électriquement actives et stables dans le temps. Ces défauts, également appelés pièges, vont contribuer à augmenter le signal parasite intrinsèque à chaque pixel : le courant d'obscurité. Après irradiation et sans exposition lumineuse, une augmentation de l'amplitude moyenne du courant d'obscurité ainsi que sa disparité entre chaque pixel est observée. La distribution des courants d'obscurité (également appelée « Dark Current Non Uniformity » en anglais, abrégé DCNU) évolue dans le temps avec le niveau d'irradiation. La thèse vise à apporter des éléments de compréhension pour améliorer l'estimation de l'augmentation du courant d'obscurité après irradiation. Les travaux de recherche menés se focalisent en grande partie sur la prédiction du nombre et de l'intensité des pixels fortement dégradés, car ce sont les plus pénalisants pour le fonctionnement nominal d'un imageur. La méthode de prédiction des distributions de courant d'obscurité post-irradiation développée par l'ONERA (DAAM) a été améliorée par l'adjonction de nouveaux modèles. Les travaux de thèse ont permis dans un premier temps d'améliorer la prise en compte des effets du champ électrique sur l'estimation du courant d'obscurité, grâce à l'utilisation d'un modèle original d'effets de champ électrique en trois dimensions développé au cours de la thèse. La prédiction des courants d'obscurité repose sur l'hypothèse de la proportionnalité du courant à la dose de dommage. Le facteur empirique utilisé prend en compte implicitement tous les effets de recuits et d'amplification comme ceux amenés par la présence d'un champ électrique. Afin de s'affranchir de l'utilisation de ce coefficient empirique, un modèle de réorganisation des défauts cristallins, basé sur un algorithme de type Kinetic Monte Carlo, a été développé et étudié. Dans un dernier temps, ce modèle de réorganisation a été intégré à une chaîne de simulation multi-échelle dédiée au calcul du courant d'obscurité. Cette nouvelle méthode de calcul comprend une application GEANT4, l'algorithme Kinetic Monte Carlo et l'outil de calcul prédictif du courant d'obscurité. Les résultats de cette chaîne de simulation montrent qu'elle est une alternative prometteuse à l'utilisation du coefficient empirique largement utilisé dans la littérature.



*Star tracker HYDRA de la société SODERN.
Crédit photo : SODERN*

Améliorer les performances du moyen de séparation des espèces mis en œuvre à l'ONERA pour mieux comprendre la physique de la contamination en orbite

Eudes GROSJEAN

Thèse soutenue le 15 décembre 2020

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

Titre de la thèse

Caractérisation de la contamination moléculaire des satellites : Séparation des espèces par la méthode ATG/SM

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrante : Emilie Vanhove - ONERA

Directeur de thèse : Jean-François Roussel - ONERA

Financement

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) & ONERA

Défi scientifique

Capteurs
et environnement
spatial

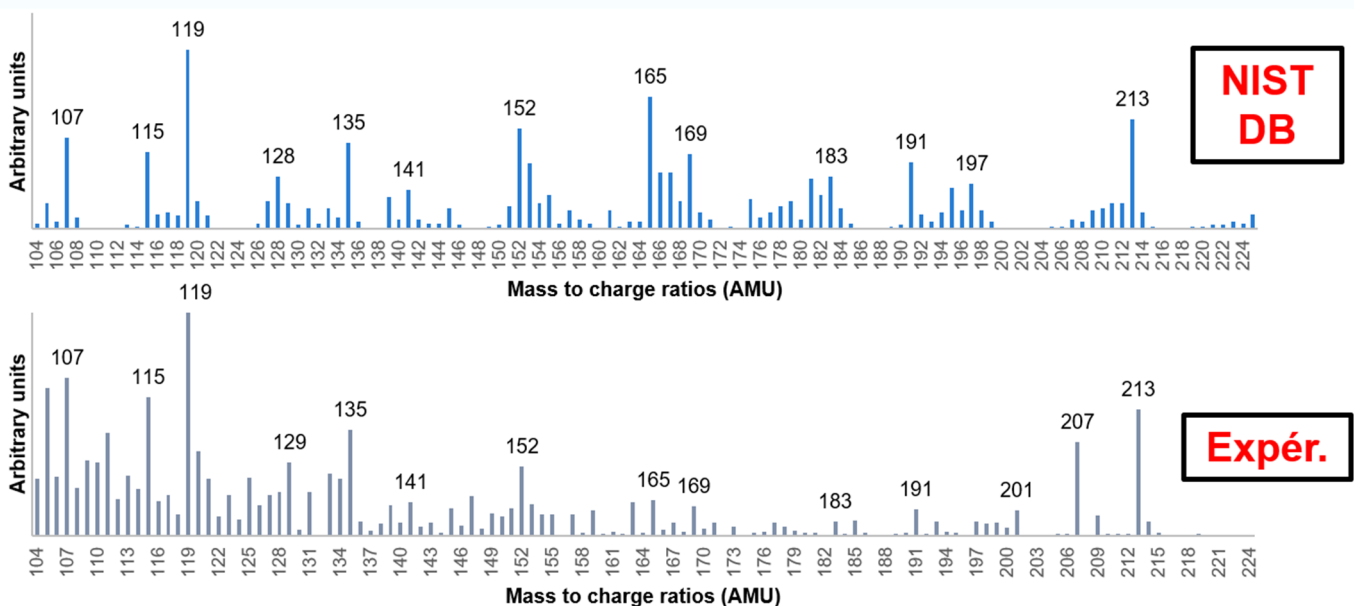
www.onera.fr/pss



Contact : Jean-Francois.Roussel @ onera.fr

Résumé

La contamination moléculaire désigne la formation de dépôts de molécules pouvant modifier les propriétés de surface des composants du satellite et diminuer leurs performances. Pour limiter le risque de dégradations, il est indispensable de réaliser des prédictions fiables des quantités de molécules déposées. Cependant, des erreurs de plusieurs ordres de grandeurs peuvent être générées si aucune méthode de séparation n'est utilisée pour obtenir les paramètres du modèle de chaque espèce moléculaire. Cette thèse a pour but de développer la méthode de séparation des espèces mise en œuvre à l'ONERA à l'aide du moyen d'essai COPHOS (COntamination PHOton Synergy) afin de réaliser une séparation des espèces robuste et exempte d'artefact thermique sur la plage de température [-80°C ; 150°C]. Pour cela, la capacité de génération de données par spectrométrie de masse et la régulation thermique des éléments du porte-échantillon ont été étendues à la plage de température de caractérisation visée afin de caractériser les molécules les moins volatiles, qui sont plus susceptibles d'engendrer des dégradations en vol. Ces développements ont permis de réaliser une séparation sur l'adhésif spatial Scotchweld™ EC2216 afin d'éprouver la méthode. Cette séparation a permis d'estimer le flux des espèces majoritaires et de les identifier via leur spectre de masse. Grâce à la mise en évidence des cinétiques réelles des molécules, les modèles de contamination ont été confrontés, permettant de porter un regard nouveau sur la physique de la contamination.



Spectre de masse déterminé expérimentalement par séparation des espèces par la méthode ATG/SM, comparé au spectre NIST de l'espèce chimique identifiée

Modéliser et réaliser de nouveaux types de capteurs inertiels pour améliorer les performances des accéléromètres et gyromètres embarqués

Lucas BONNIN

Thèse soutenue le 14 décembre 2020

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

Titre de la thèse

Exploitation des propriétés piézoélectriques du GaAs et application aux capteurs inertiels de type MEM

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrants : Olivier Le Traon & Raphaël Levy - ONERA

Directeur de thèse : Alain Bosseboeuf - C2N

Financement

Agence de l'Innovation de Défense (AID) & ONERA

Défi scientifique

Capteurs
et environnement
spatial

www.onera.fr/pss



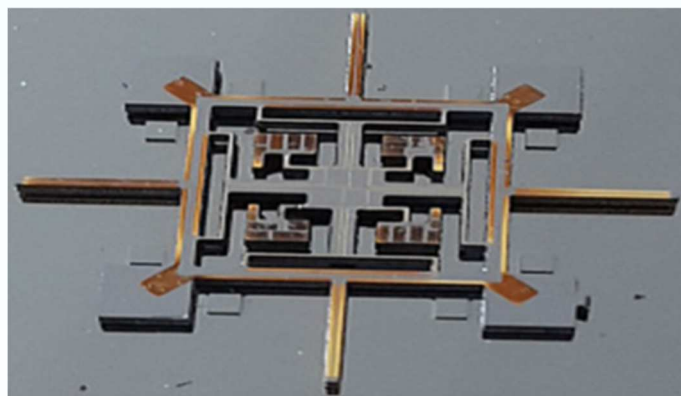
université
PARIS-SACLAY



Contact : [Raphael.Levy @ onera.fr](mailto:Raphael.Levy@onera.fr)

Résumé

Les accéléromètres et les gyromètres sont essentiels à la navigation des véhicules autonomes. Parmi les capteurs existants, les MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) sont les plus petits, les moins chers et les moins consommateurs d'énergie mais leurs performances restent encore trop faibles pour certaines applications. Pour les améliorer, cette thèse propose d'exploiter la piézoélectricité de l'arséniure de gallium (GaAs) semi-isolant. Des profils de tranchées obtenus par gravure réactive ionique profonde du GaAs jusqu'à 450 μm dans un plasma BCl_3/Cl_2 ont été étudiés et un nouveau masque de gravure bicouche résine sur silice a été développé pour rendre les flancs de tranchées plus verticaux et plus lisses. Des poutres encastrées-libres, un gyromètre diapason et un gyromètre triaxial ont été fabriqués par gravure traversante du GaAs et caractérisés. Malgré ses défauts, le procédé de fabrication permet de réaliser des résonateurs avec des facteurs de qualité supérieurs à 100 000 et une dispersion des fréquences inférieure à 3 %. Deux études théoriques sont également présentées. D'abord, une modification du gyromètre triaxial est proposée où les ancrages sont déplacés à l'extérieur de la structure. Ensuite, un modèle mathématique complet de l'épaisseur et de la forme d'électrodes métalliques déposées sur les flancs de tranchées par évaporation et masquage par ombrage (shadow-masking) est détaillé. Ces électrodes latérales sont nécessaires à la détection piézoélectrique des vibrations.



Cellule de gyromètre triaxe en arséniure de gallium, d'épaisseur 450 μm , réalisée par usinage ionique réactif profond

Développer des têtes de détection miniaturisées pour mesurer l'énergie et le flux des particules auquel est soumis un satellite en orbite

Distinctions

Prix RADFAC de la
meilleure présentation
(2018)

Prix poster SDU2E
(2018)

Prix Amelia Earhart du
Zonta International
(2019)

Prix doctorant ONERA
(2020)

Marinne RUFFENACH

Thèse soutenue le 30 septembre 2020

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

Titre de la thèse

**Optimisation de têtes de détection pour mesurer les protons
et les électrons des ceintures de radiations terrestres dans
une gamme en énergie étendue**

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrant : Julien Mekki - CNES

Directeurs de thèse : Sébastien Bourdarie - ONERA
Jean-Roch Vaille - IES Montpellier

Financement

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) & ONERA

Défi scientifique

Capteurs
et environnement
spatial

www.onera.fr/pss

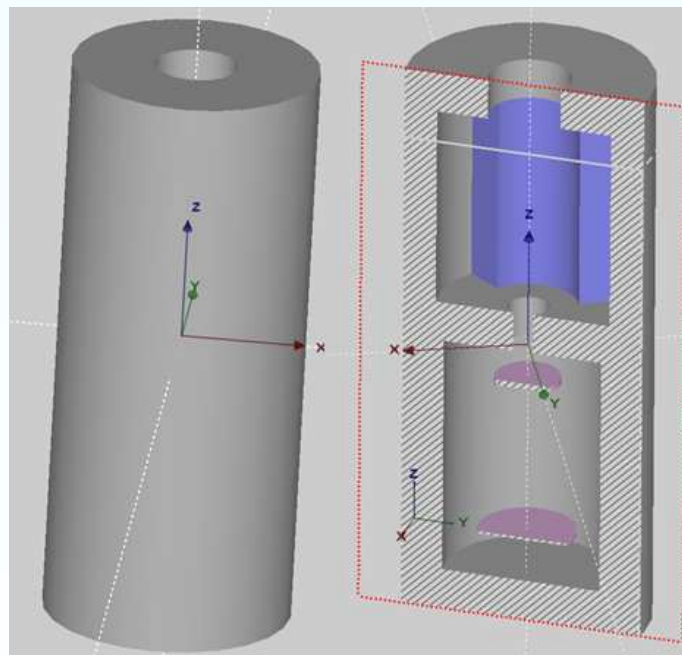


Université
de Toulouse

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

Résumé

Le Soleil émet des particules, essentiellement des protons et des électrons. Le champ magnétique de la Terre piège ces particules pour former les ceintures de radiations, dans lesquelles orbitent les satellites. Afin de les protéger, il est essentiel de connaître l'énergie des particules, leur flux, ainsi que leur localisation grâce à des mesures faites par des moniteurs de radiations composés de têtes de détection. Cependant, les protons de basses énergies sont peu mesurés, et les moniteurs de radiations sont en général massifs et volumineux, non adaptés pour être embarqués sur des petits satellites. La thèse a permis de développer une tête de détection capable de mesurer les protons de faibles énergies avec un bon rapport signal sur bruit. Une méthode basée sur les réseaux de neurones a permis de montrer qu'il est possible d'utiliser des matrices CCD (Timepix) afin de développer des têtes de détection miniaturisées capables de mesurer l'énergie des protons et des électrons.



Vue schématique de la tête de détection de protons de basses énergies (2-20 MeV) compatible avec le moniteur de radiation ICARE-NG² du CNES-ONERA-EREMS

Refondre le cœur numérique du code Salammbô pour mieux prendre en compte les phénomènes multi-échelles et multi-physiques présents dans les ceintures de radiation terrestres

Nourallah DAHMEN

Thèse soutenue le 17 décembre 2020

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

Titre de la thèse

Développement d'un nouveau cœur numérique pour le code de calcul Salammbô de modélisation des ceintures de radiation terrestres

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Directeurs de thèse : Vincent Maget & François Rogier - ONERA

Financement

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) & ONERA

Défi scientifique

Capteurs
et environnement
spatial

www.onera.fr/pss

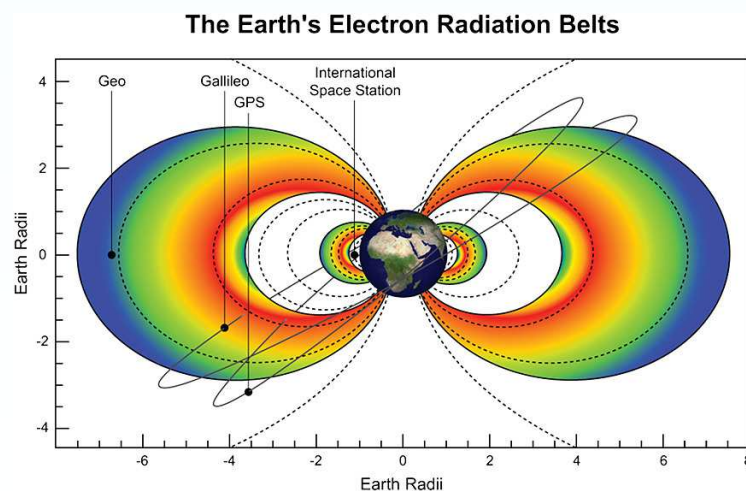


Université
de Toulouse

Contact : Nourallah.Dahmen @ onera.fr

Résumé

Les ceintures de radiation sont des structures toroïdales de l'environnement spatial voisin de la Terre. Peuplées d'électrons et de protons de haute énergie, elles se caractérisent par une dynamique très variable, fortement couplée avec celle du vent solaire. Le code physique Salammbô, développé à l'ONERA depuis les années 90, restitue avec une grande fidélité cette dynamique en se basant sur un modèle d'équation de diffusion. Cependant, les processus multi-échelles et multi-physiques mis en jeu peuvent contraindre sa résolution numérique en impactant sa robustesse numérique et sa stabilité. L'objectif de ce travail de thèse a donc été la mise en œuvre d'un nouveau cœur numérique pour Salammbô, plus adapté aux spécificités de la physique mise en jeu. Du fait de la difficulté de construire une solution de référence permettant la validation des schémas numériques pour cette application particulière, il a fallu tout d'abord mettre en place une méthodologie basée sur des tests numériques représentatifs des caractéristiques de la physique étudiée. Cela a permis de confirmer le passage vers une discrétisation Volumes finis – Euler implicite qui apporte une meilleure gestion de la forte inhomogénéité spatiale des coefficients, une stabilité inconditionnelle et une résolution plus rapide. Suite à cela, la problématique de la prise en compte de la diffusion croisée, non retenue dans la version actuelle du code, a été traitée. On préconise en particulier l'adoption d'une résolution non-linéaire qui corrige la perte de représentativité physique de la solution. Avec les trois directions de diffusion implémentées et suite à une procédure de vérification numérique rigoureuse, on se retrouve à la fin avec un prototype de cœur numérique plus conservatif, inconditionnellement monotone, robuste vis-à-vis de la prise en compte de la diffusion croisée, et plus rapide. Enfin, cette mise à niveau du cœur numérique de Salammbô a été évaluée sur une simulation de l'orage magnétique survenu le 8 septembre 2017, qui rassemble différentes dynamiques caractéristiques des ceintures de radiations.



*Les ceintures de radiation des électrons étendues sur différentes orbites de satellites
crédit : Horne et al 2013, Space weather impacts on satellites and forecasting the Earth's electron
radiation belts with SPACECAST, JGR*

Traitement de l'Information et Systèmes

Défi 1 - Optimisation pluridisciplinaire et évaluation

- PERRET Raphaël** - Modélisation du champ des vitesses induit par un rotor et de ses interactions pour simuler la dynamique du vol des aéronefs à voilures tournantes..... 136
- PELAMATTI Julien** - Mixed-Variable Bayesian Optimization – Application to Aerospace System Design..... 138
- PRIEM Rémy** - Optimisation bayésienne sous contraintes et en grande dimension appliquée à la conception avion avant-projet..... 140
- AIT OUBELLI Lynda** - Transformations sémantiques pour l'évolution des modèles de données.. 142
- ROUSSE Paul** - Surapproximation de l'ensemble d'atteignabilité d'une interconnexion de systèmes dynamiques par une méthode de cosimulation ensembliste 144
- NGUYEN VAN Éric** - Stabilité et contrôle latéral d'un aéronef à petite dérive par utilisation différentielle des systèmes de propulsion, utilisation de méthodes de co-design 146

Défi 2 - Systèmes intelligents

- PÉREZ ROCA Sergio** - Model-Based Robust Transient Control of Reusable Liquid-Propellant Rocket Engines..... 148
- SADIEN Edouard** - Design of Aircraft Integrated Ground Control Laws..... 150
- MICHEL Nathan** - Construction d'ensembles invariants pour la commande d'un quadrotor sous contraintes 152
- BOLLON Florent** - Recognized Cyber Picture et Confiance interpersonnelle : optimiser les activités collaboratives cyber militaires 154
- SINGH Jasdeep** - Schedulability Analysis of Probabilistic Real-Time Systems..... 156
- PACHECO Adriana** - Techniques de décisions hiérarchiques pour l'allocation et l'ordonnancement de tâches 158
- CAYE DAUDT Rodrigo** - Réseaux de neurones convolutifs pour l'analyse de changements en imagerie de télédétection avec des annotations bruitées et des décalages de domaine..... 160

ÖMAN LUNDIN Gustav - Supervision for Drone Flight Safety	162
LECARPENTIER Erwan - Apprentissage par renforcement en environnement non-stationnaire	164
KOCAN Oktay - Feedback via Iterative Learning Control for Repetitive Systems	166
BOUZIAT Valentin - Gestion des aléas dans un système multi-robots	168
MENZ Morgane - Réduction du coût numérique des méthodes d'apprentissage actif pour l'analyse de fiabilité.....	170

Défi 3 - Soufflerie du futur

AIT TILAT Soufiane - Détection et localisation de particules dans des images PIV via des approches parcimonieuses à grille	172
---	-----

Défi 8 - La propulsion dans toute sa complexité

BAGY Simon - Design and Optimization of Aircraft Engine Nozzles in Under-Wing Configuration	174
--	-----

Développer un nouveau modèle de sillage d'un rotor pour mieux simuler la dynamique du vol des avions à voilures tournantes

Raphaël PERRET

Thèse soutenue le 7 janvier 2020

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

Titre de la thèse

Modélisation du champ des vitesses induit par un rotor et de ses interactions pour simuler la dynamique du vol des avions à voilures tournantes

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Directeurs de thèse : Jean-Marc Moschetta - ISAE-SUPAERO
Pierre-Marie Basset - ONERA

Financement

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

Défi scientifique

Optimisation
pluridisciplinaire
et évaluation

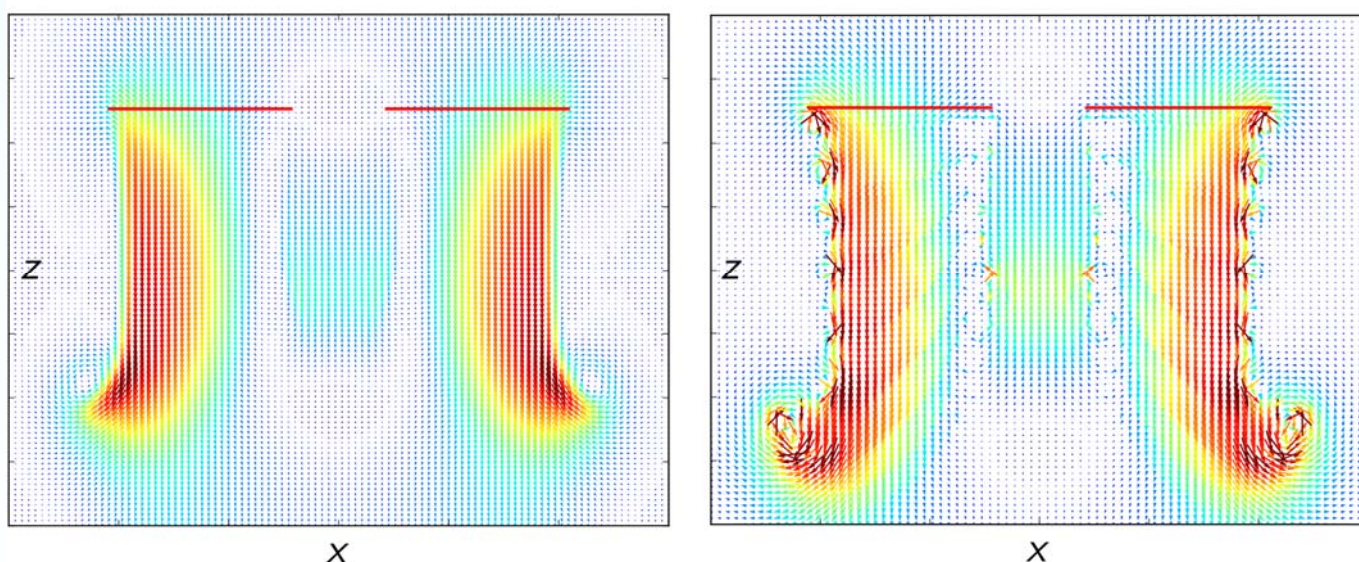
www.onera.fr/pss



Contact : [Raphael.Perret @ onera.fr](mailto:Raphael.Perret@onera.fr)

Résumé

Le sillage d'un rotor est complexe à modéliser et a un impact significatif sur la dynamique du vol des avions à voilures tournantes, leurs vibrations, leurs caractéristiques aérodynamiques et acoustiques,... De nombreux modèles existent, mais le plus utilisé pour l'application à la mécanique du vol est le modèle à états finis développé par Peters et al. Ce type de modèle permet d'ajuster à chaque application le prix en temps de calcul et le réalisme des résultats. Cette thèse explore le développement de ces modèles et en souligne les points faibles. Des améliorations sont suggérées, mais il semble nécessaire d'appliquer des changements théoriques plus profonds pour dépasser certaines limites. Ainsi, une nouvelle méthode est développée dans un cadre plus général permettant une description plus homogène dans tout le champ d'influence du rotor, tout en conservant l'approche spectrale propre aux formulations à nombre d'états fini. Cette révolution dans le domaine n'est cependant pas exempte de défauts. Ils sont donc analysés et traités afin d'améliorer le modèle. Le nouveau modèle donne de bons résultats dans le cas d'un grand nombre d'états utilisés, et l'impact d'une approximation plus rapide mais moins précise est souligné.



*Comparaison du champ des vitesses induites du rotor 7A entre le modèle proposé
(à gauche, 7,5 s par pas de temps)
et un modèle free-wake (à droite, 150 s par pas de temps)*

Développer des méthodes et algorithmes permettant d'optimiser la conception des lanceurs en tenant compte des choix technologiques les caractérisant

Julien PELAMATTI

Thèse soutenue le 9 mars 2020

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

Titre de la thèse

Mixed-Variable Bayesian Optimization – Application to Aerospace System Design

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Encadrants : Mathieu Balesdent & Loïc Brevault - ONERA

Directeur de thèse : El-Ghazali Talbi - INRIA

Financement

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) & ONERA

Défi scientifique

Optimisation
pluridisciplinaire
et évaluation

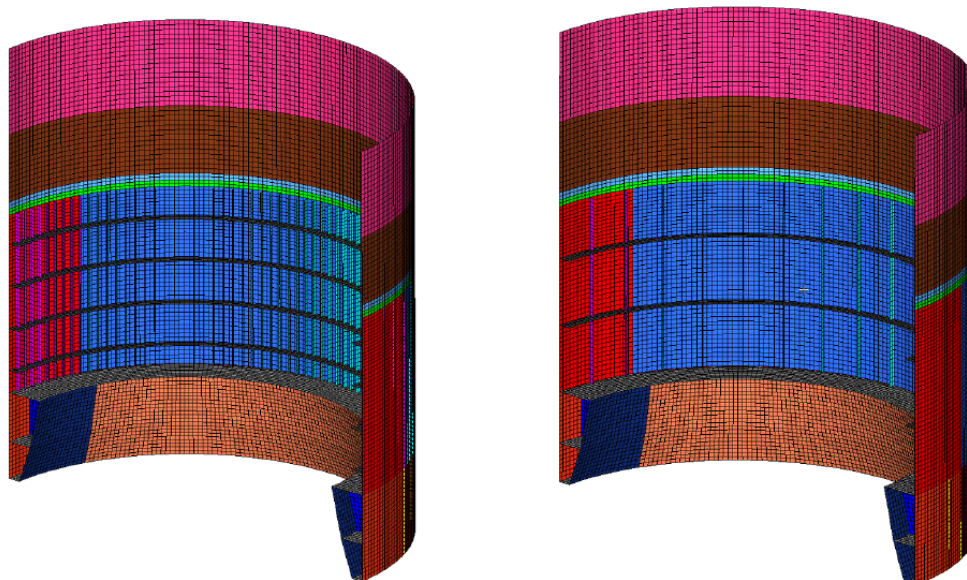
www.onera.fr/pss



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

Résumé

Dans le cadre de la conception de systèmes complexes, tels que les avions et les lanceurs, la présence de fonctions d'objectifs et/ou de contraintes à forte intensité de calcul (e.g., modèles d'éléments finis et analyses multidisciplinaires) couplée à la dépendance de choix de conception technologiques discrets et non ordonnés rend des problèmes d'optimisation difficiles à résoudre. De plus, une partie de ces choix technologiques est associée à un certain nombre de variables de conception continues et discrètes spécifiques qui ne doivent être prises en considération que si certains des choix technologiques et/ou architecturaux spécifiques sont effectués. Pour résoudre ce type de problèmes, les approches développées dans le cadre de cette thèse s'appuient sur des méthodes d'optimisation à base de modèles de substitution créés à l'aide de processus Gaussiens, également connus sous le nom d'optimisation Bayésienne. Plus spécifiquement, 3 axes principaux sont discutés. Premièrement, la modélisation de substitution par processus Gaussien de fonctions mixtes continues/discrètes et les défis qui y sont associés sont analysés en détail. Dans un deuxième temps, la possibilité d'étendre les modèles de substitution mixtes continus/discrets à un contexte d'optimisation Bayésienne est développée. Finalement, le troisième axe de ces travaux de thèse porte sur la proposition de deux approches permettant d'adapter les algorithmes d'optimisation Bayésienne mixte continue/discrete discutés précédemment afin de résoudre des problèmes caractérisés par un espace de conception de taille variable (i.e., variant dynamiquement au cours de l'optimisation en fonction des choix technologiques étudiés).



*Optimisation mixte continue/discrete d'une jupe de bâti moteur de lanceur
(à gauche : configuration à 144 lisses et 4 cadres, à droite : configuration à 36 lisses et 2 cadres)*

Développer de nouveaux algorithmes d'optimisation pour réduire le temps de calcul des méthodes d'aide à la conception avant-projet en aéronautique

Distinction

co-lauréat du 1er
challenge « AGILE
Academy » -
meeting du H2020
AGILE (2019)

Rémy PRIEM

Thèse soutenue le 24 novembre 2020

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

Titre de la thèse

**Optimisation bayésienne sous contraintes et en grande
dimension appliquée à la conception avion avant-projet**

Encadrement

Département Traitement de l'information et Systèmes (DTIS)

Directeurs de thèse : Nathalie Bartoli - ONERA

Youssef Diouane - ISAE-SUPAERO

Financement

Institut supérieur de l'aéronautique et de l'espace (ISAE-SUPAERO)
& ONERA

Défi scientifique

Optimisation
pluridisciplinaire
et évaluation

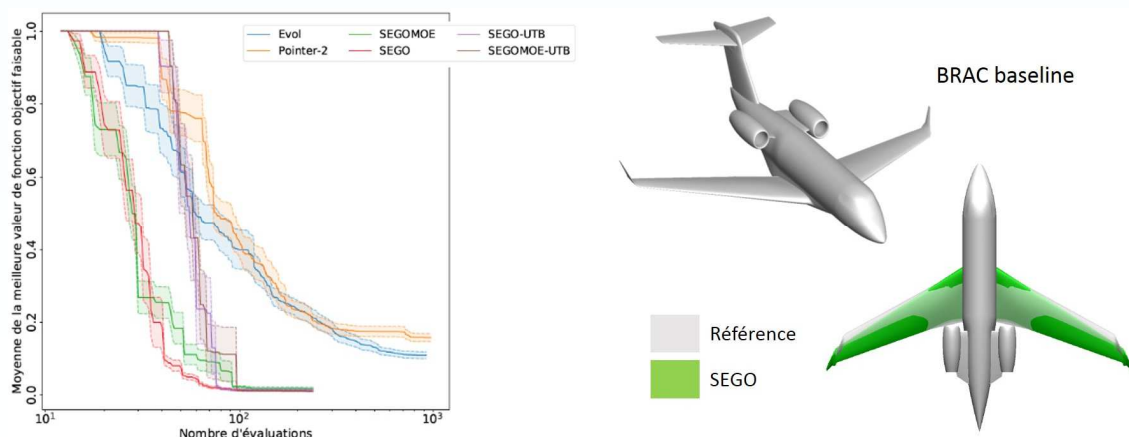
www.onera.fr/pss



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

Résumé

De nos jours, la conception avant-projet en aéronautique repose majoritairement sur des modèles numériques faisant interagir de nombreuses disciplines visant à évaluer les performances de l'avion. Cela produit un processus d'évaluation des performances de l'avion coûteux en temps de calcul dont aucune propriété n'est connue. De plus, l'ensemble de ces disciplines sont régies par de nombreuses contraintes de faisabilité et de nombreuses variables de conception. Afin de concevoir un avion optimal, on résout donc un problème d'optimisation « boîte noire » sous contraintes et de grande dimension. De plus, le coût élevé d'évaluation de ces problèmes d'optimisation rend l'utilisation des méthodes d'optimisation classiques partiellement inefficaces, qu'elles reposent sur les dérivées ou non. Pour lever ce verrou, on s'intéresse plus particulièrement aux méthodes d'optimisation bayésiennes qui souffrent de trois verrous principaux : la prise en compte simultanée des contraintes d'égalité et d'inégalité, une exploration limitée du domaine de conception qui détériore la vitesse de convergence et la qualité de l'optimum obtenu ainsi que la prise en compte d'un grand nombre de variables de conception dans le processus d'optimisation. On a tenté de lever ces trois verrous à travers le développement de deux algorithmes d'optimisation bayésienne. Le premier permet de résoudre des problèmes d'optimisation sans contrainte de très grande dimension (plus d'une centaine). Il repose sur la recherche d'un sous-espace linéaire de forte variation de la fonction objectif afin de favoriser certaines directions de l'espace de recherche. Cette méthode a été comparée avec d'autres algorithmes d'optimisation bayésienne de la littérature. Un second algorithme permet de prendre en compte les problèmes d'optimisation comprenant simultanément des contraintes d'égalité et d'inégalité tout en pouvant gérer un nombre moyen de variables de conception (une vingtaine environ). On a comparé cette méthode avec des algorithmes d'optimisation bayésiennes de la littérature sur un grand nombre de problèmes d'optimisation académiques. Enfin, cette méthode a été testée dans un cadre industriel lors d'une mobilité de quatre mois réalisée à Bombardier Aviation, Montréal, CA en 2019.



Conception de la configuration BRAC (Bombardier Research Aircraft Configuration), comparaison d'optimiseurs classiques et de la toolbox SEGO (différentes variantes)

Améliorer la maîtrise de l'évolution des modèles de données lors du développement de systèmes complexes

Lynda AIT OUBELLI

Thèse soutenue le 12 juin 2020

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

Titre de la thèse

Transformations sémantiques pour l'évolution des modèles de données

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Encadrants : Benoît Chausserie-Laprée & Béatrice Larzul - CNES

Directeurs de thèse : Yamine Ait Ameer - INP-ENSEEIH
Judicaël Bedouet - ONERA

Financement

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) & ONERA

Défi scientifique

Optimisation
pluridisciplinaire
et évaluation

www.onera.fr/pss

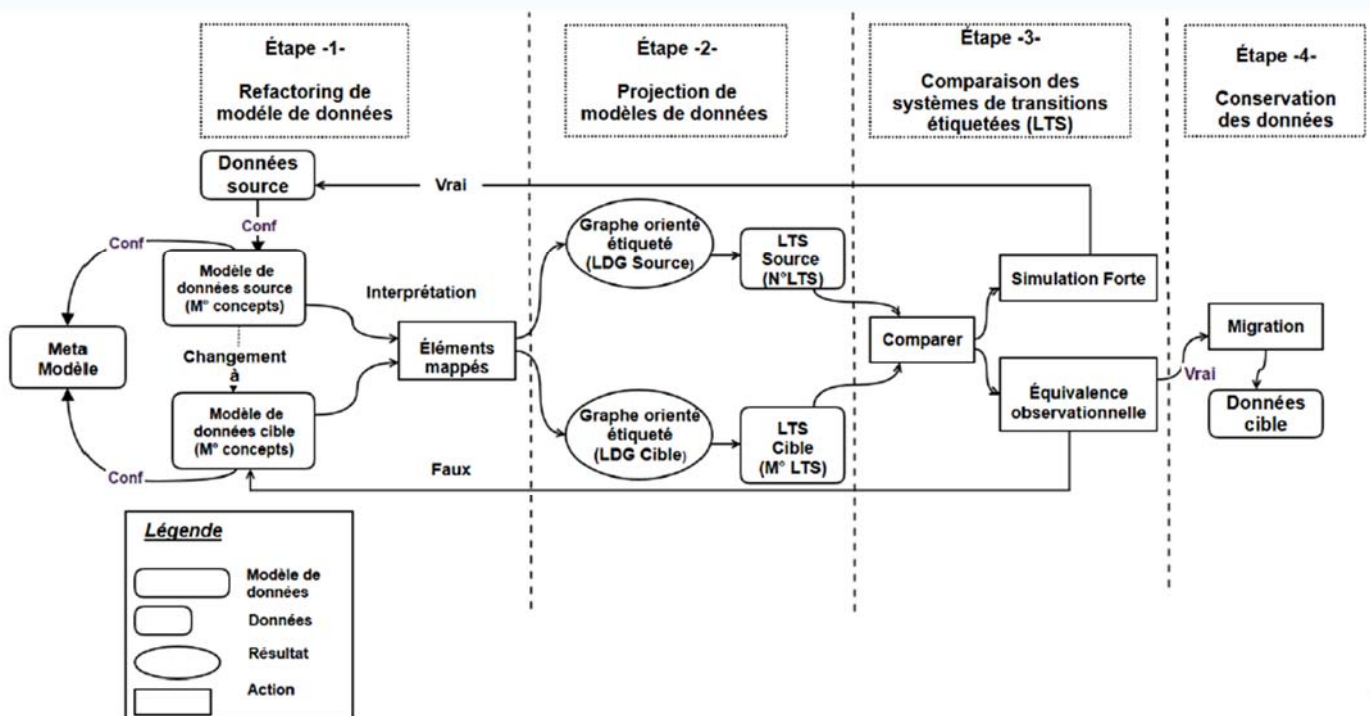


Contact : [Judicael.Bedouet @ onera.fr](mailto:Judicael.Bedouet@onera.fr)

Résumé

Lors du développement d'un système complexe, les modèles de données sont la clé d'un processus d'ingénierie réussi : ils contiennent et organisent toutes les informations manipulées par les différentes fonctions impliquées dans la conception du système. Le fait que les modèles de données évoluent tout au long de la conception soulève des problèmes de maintenance des données existantes, ce qui amène à comparer leurs versions successives. En raison de la croissance des changements en termes de type et de nombre, il devient difficile de suivre les différences qui résultent de cette comparaison. De nouvelles méthodes et techniques pour comprendre et représenter les différences et les points communs entre les différentes versions du modèle sont indispensables.

Dans cette thèse, nous avons exploré la définition d'opérateurs d'évolution et leur composition, qui encapsulent à la fois l'évolution du modèle de données et la migration des données. L'utilisation de ces opérateurs améliore la qualité des résultats lors de la migration des données, tout en assurant au maximum la conservation de l'information contenue dans les données. Ensuite, nous avons présenté une approche observationnelle. L'intérêt principal de cette approche est la transposition du problème d'accessibilité de l'information dans un modèle de données en un problème de chemin dans un système de transition d'états étiqueté.



Architecture linéaire de l'approche d'évolution sémantique et de migration des données

Développer de nouveaux outils d'analyse de systèmes non-linéaires pour la validation automatique de codes de contrôleurs

Paul ROUSSE

Thèse soutenue le 5 novembre 2020

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

Titre de la thèse

**Surapproximation de l'ensemble d'atteignabilité d'une
interconnexion de systèmes dynamiques par une méthode
de cosimulation ensembliste**

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Directeur de thèse : Pierre-Loïc Garoche - ONERA

Financement

Agence de l'Innovation de Défense (AID) & ONERA

Défi scientifique

Optimisation
pluridisciplinaire
et évaluation

www.onera.fr/pss



Université
de Toulouse

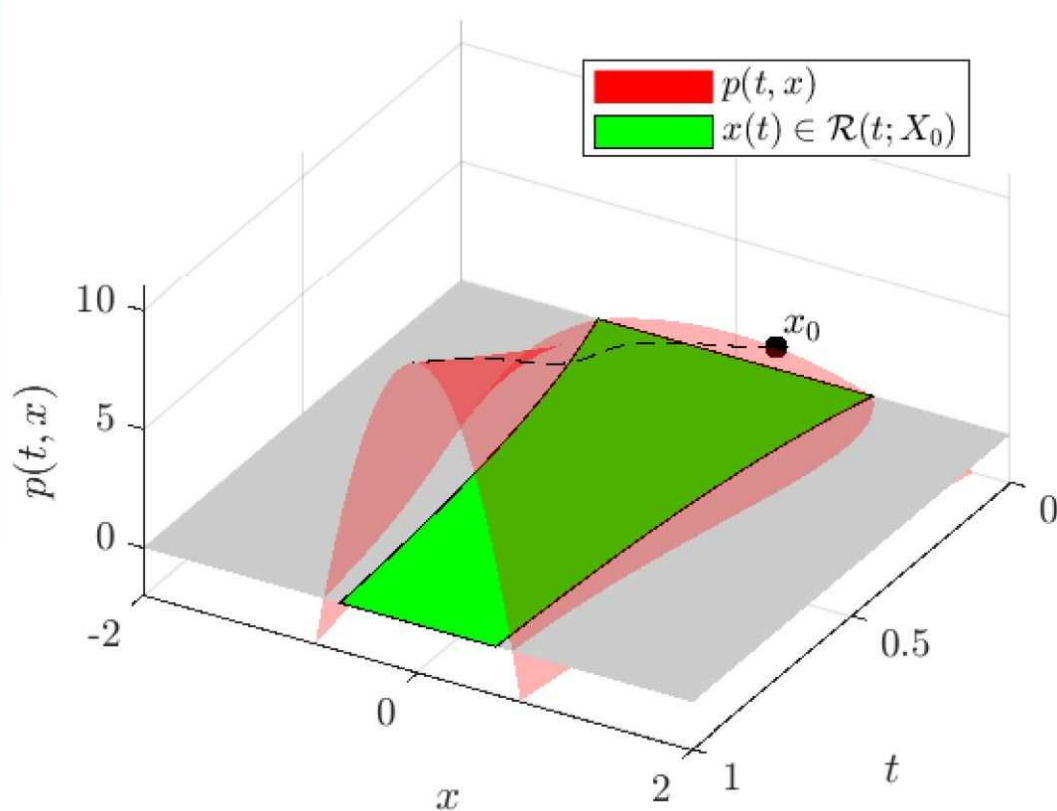


Contact : Virginie.Wiels @ onera.fr

Résumé

L'ensemble d'atteignabilité d'un système embarqué est central dans la vérification de propriété de sûreté. Cet ensemble géométrique est en général complexe à décrire (il peut être non convexe et/ou non connecté même dans des cas simples) et complexe à calculer. Cette thèse propose trois méthodes pour surapproximer cet ensemble.

La première méthode, la « méthode ellipsoïdale », surapproxime avec des coniques l'ensemble d'atteignabilité d'un système linéaire sujet à des perturbations bornées par des inégalités en norme 2 ou en norme inf. La seconde méthode, la « méthode des intervalles », surapproxime avec des intervalles l'ensemble d'atteignabilité d'un système non linéaire sujet à des perturbations bornées par une inégalité de norme 2. La dernière méthode, la « méthode de cosimulation », formalise par une approche interprétation abstraite la surapproximation de l'ensemble d'atteignabilité d'une interconnexion de systèmes.



Tube des états atteignables

Etudier le potentiel de la propulsion électrique distribuée pour le contrôle d'attitude des avions

Eric NGUYEN VAN

Thèse soutenue le 23 octobre 2020

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

Titre de la thèse

Stabilité et contrôle latéral d'un aéronef à petite dérive par utilisation différentielle des systèmes de propulsion, utilisation de méthodes de co-design

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Directeurs de thèse : Daniel Alazard & Philippe Pastor - ISAE-SUPAERO
Carsten Döll - ONERA

Financement

Chaire CEDAR - Institut supérieur de l'aéronautique et de l'espace (ISAE-SUPAERO) & ONERA

Défi scientifique

Optimisation
pluridisciplinaire
et évaluation

www.onera.fr/pss



Contact : [Eric.Nguyen_Van @ onera.fr](mailto:Eric.Nguyen_Van@onera.fr)

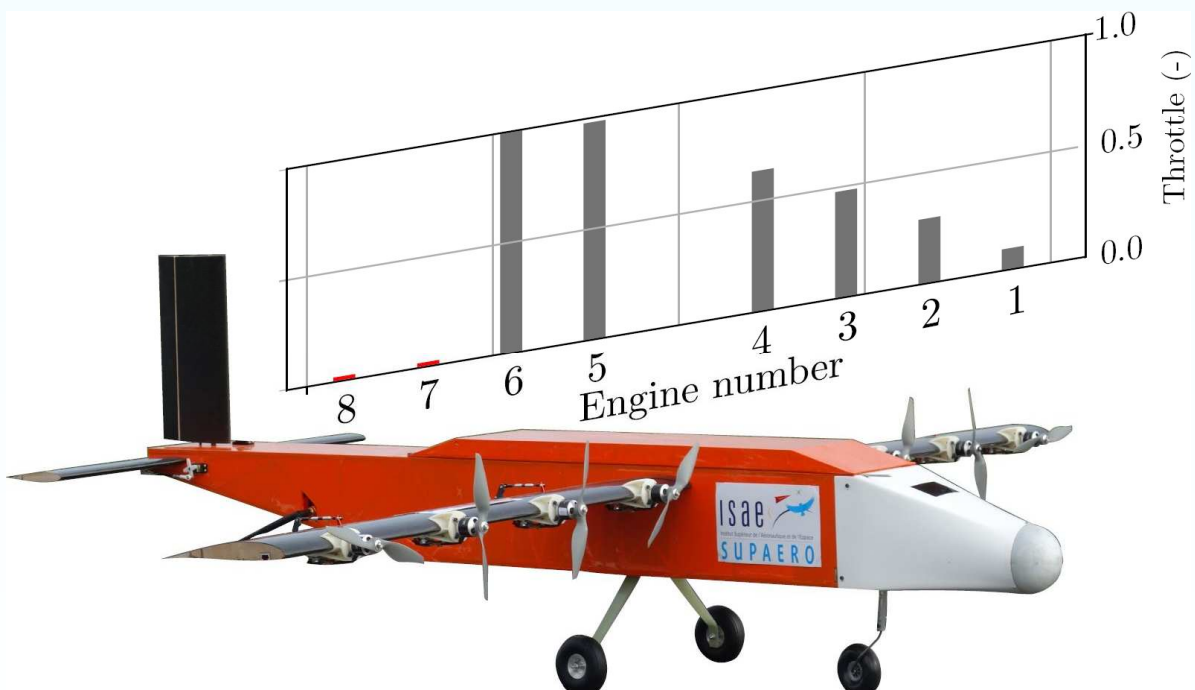
Résumé

La possibilité de diminuer la surface du stabilisateur vertical d'un avion de transport employant la propulsion électrique distribuée est étudiée. L'avion de référence présente une aile entièrement soufflée par ses hélices et utilise la poussée différentielle à la place de la traditionnelle gouverne de direction.

Dans la première partie, les aspects non-conventionnels de la propulsion électrique distribuée et de l'aile soufflée sont pris en compte dans le calcul de la stabilité de l'avion lorsque la taille du stabilisateur vertical varie.

Le stabilisateur vertical est ensuite dimensionné pour garantir certaines qualités de vol. La méthode proposée repose sur une technique de co-design qui permet de concevoir des systèmes en parallèle plutôt que de façon séquentielle.

La troisième partie décrit des recherches expérimentales. Un démonstrateur à petite échelle est testé en vol et les effets du soufflage de l'aile sur le comportement de l'avion sont mis en évidence.



Démonstrateur à propulsion électrique distribuée (DECOL) et stratégie de ré-allocation de poussée en cas de panne moteur permettant de diminuer la taille du stabilisateur vertical

Améliorer le contrôle des moteurs de fusée à propergol liquide pour les adapter aux nouveaux scénarios liés à la réutilisation des lanceurs

Sergio PÉREZ ROCA

Thèse soutenue le 27 janvier 2020

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

Titre de la thèse

Model-Based Robust Transient Control of Reusable Liquid-Propellant Rocket Engines

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Encadrant : Julien Marzat - ONERA

Directeurs de thèse : Hélène Piet-Lahanier - ONERA
Nicolas Langlois - IRSEEM

Financement

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) & ArianeGroup

Défi scientifique

Systèmes
intelligents

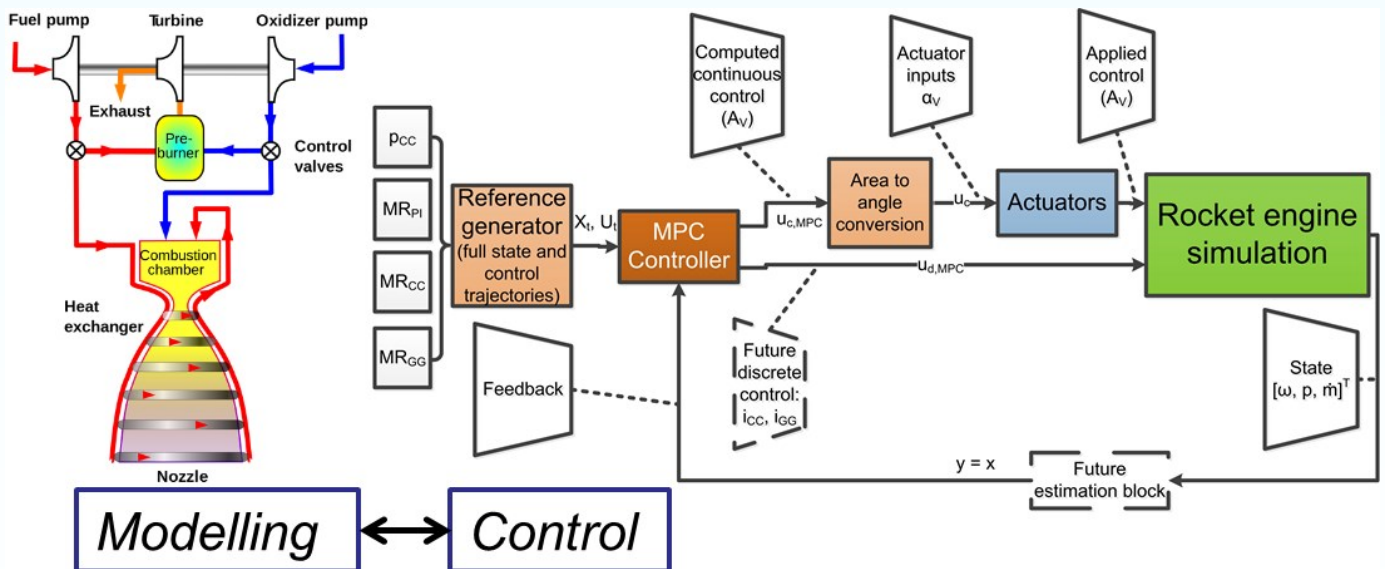
www.onera.fr/pss



Contact : Julien.Marzat @ onera.fr

Résumé

Current reusable liquid-propellant rocket engine designs require improved performance and robustness of their on-board control systems. The main reasons for this need are the new capabilities and demanding operating scenarios that these engines, expected to have longer lives, must face. The control system, driving the engine to a desired state, has to be robust to conditions variations, i.e., it has to perform well even in degraded circumstances. In this thesis, controllers for managing the transient phases of these engines, such as start-up and thrust modulation, have been developed. The methodology carried out has consisted first in defining their thermodynamics, in order to simulate their behaviour and establish mathematical models. These models have then been used to elaborate controllers based on predictive optimal methods. The resulting controllers, when connected to the developed simulator, achieve the steering of the system towards the desired operating point, while respecting all imposed constraints and demonstrating robustness to varying internal parameters. The next validation steps should rely on more realistic experimental tests.



Proposed generic control loop for Liquid-Propellant Rocket Engines

Développer de nouveaux systèmes de contrôle pour améliorer la sécurité et le pilotage des avions lors des opérations au sol

Edouard SADIEN

Thèse soutenue le 10 janvier 2020

Ecole doctorale : ED 269 (MSII) Mathématiques, Sciences de l'Information et de l'Ingénieur

Titre de la thèse

Design of Aircraft Integrated Ground Control Laws

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Directeurs de thèse : Michel Basset - Université de Haute-Alsace
Clément Roos - ONERA

Financement

CIFRE Airbus

Défi scientifique

Systèmes
intelligents

www.onera.fr/pss

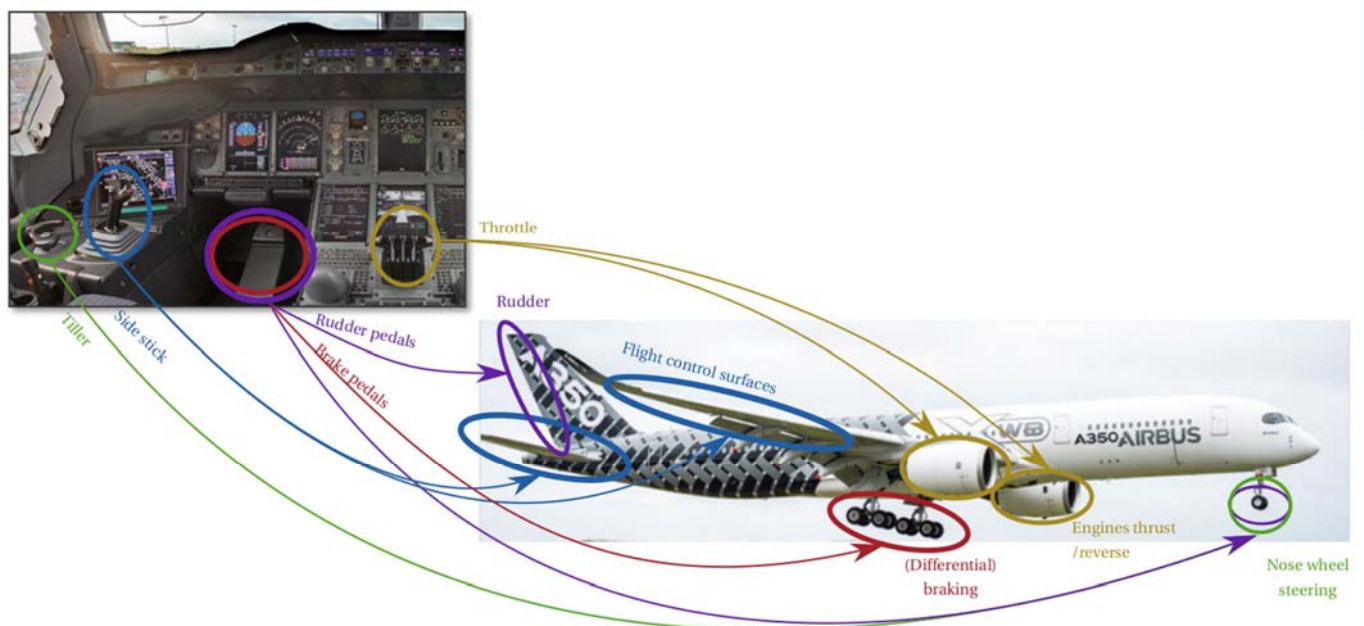


Contact : [Clement.Roos @ onera.fr](mailto:Clement.Roos@onera.fr)

Design of Aircraft Integrated Ground Control Laws

Résumé

To achieve a high performance level during ground operations, the lateral dynamics of an aircraft must be controlled using all available actuators (rudder, nose-wheel steering system, engines and brakes) and under various constraints, which gives rise to a challenging allocation problem. To address this issue, a simple yet accurate design-oriented on-ground aircraft model is first developed. It takes into account the effects of aerodynamics, thrust and tire-ground interactions, both laterally and longitudinally, and for several runway states. It is validated on a high-fidelity Airbus simulator and a complete set of numerical values representative of a commercial aircraft is given, as well as design objectives, so as to provide the control community with a challenging benchmark. After an extensive literature review and an evaluation of the pros and cons of many existing control allocation techniques, a novel and easily implementable algorithm is then developed, which meets actuator and implementation constraints. It automatically manages the trade-off between two antagonistic objectives, namely minimizing the control effort and attaining the maximum virtual control. Its validation on both the design-oriented model and the high-fidelity simulator shows promising results, and flight tests on a real aircraft are scheduled in the short term.



On-ground control of an Airbus aircraft

Concevoir des commandes de drones autonomes prenant en compte la présence de perturbations externes et de contraintes

Nathan MICHEL

Thèse soutenue le 2 octobre 2020

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

Titre de la thèse

**Construction d'ensembles invariants pour la commande
d'un quadrotor sous contraintes**

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Encadrants : Sylvain Bertrand - ONERA

Giorgio Valmorbida & Didier Dumur - CentraleSupélec

Directeur de thèse : Sorin Olaru - CentraleSupélec

Financement

ONERA

Défi scientifique

Systemes
intelligents

www.onera.fr/pss



Contact : Sylvain.Bertrand @ onera.fr

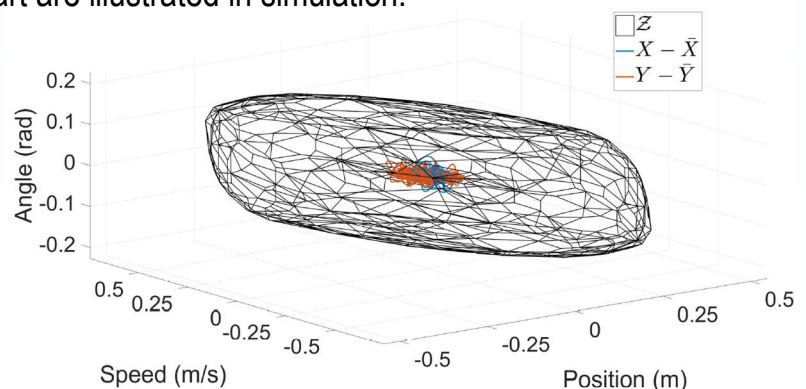
Résumé

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) quadrotors are versatile platforms capable of agile motion and stable hovering. The use of drones in civil application and industry has considerably increased in the last years, and is foreseen to continue growing. The design of autonomous UAVs should take into account safety and technological constraints, such as distance to obstacles, actuator limitations or real-time computational constraints for embedded implementation. Here we focus on quadrotor control for applications in a cluttered environment, where we want to account for the presence of external disturbances. External disturbances and modelling mismatches can affect the execution of a mission and its impact on the closed-loop trajectories must be assessed. A systematic way to assess the influence of disturbances is to compute invariant sets. The goal is to compute control laws that generate collision-free trajectories by bounding them within safe flight regions, characterized set-wise by invariant sets, where all constraints satisfaction is guaranteed. In particular, we study the design of control laws leading to invariant sets that are as small as possible.

The first part of the thesis considers the broader topics of the implementation and experimental validation of a control law for the stabilization of the translational dynamics of a quadrotor that ensures recursive constraint satisfaction and closed-loop stability in presence of disturbances. For this task, we chose Tube Based Model Predictive Control as control scheme for its strong theoretical properties. Its implementation is based on the construction of an invariant set one wishes to be as small as possible. To that extent, we propose a novel system identification approach in view of its minimization. The experiments are performed on the Parrot AR.Drone 2.0 quadrotor.

The second part considers the broader class of constrained discrete-time linear systems subject to bounded additive disturbances from a theoretic point of view. Here, the control law is the only design parameter of the invariant sets. Our first approach uses the invariant sets associated to discrete-time sliding mode control laws. These invariant sets have a remarkable geometrical structure, inherited from the selection of a stable sliding surface. The choice of such invariant sets offer several advantages, among which the low computational complexity of their characterization and their minimality properties among the collection of invariant sets. Our second approach is based on the exploration of set-iterative procedures for the refinement of any initial invariant set towards its minimization. The results presented in this part are illustrated in simulation.

Ensemble invariant robuste servant de garantie sur les erreurs en trajectoires d'un drone en présence de perturbations et de contraintes (données de vol expérimentales)



Affiner les modèles de compréhension des ressorts de la confiance pour aider à la prise de décisions dans les environnements à forte incertitude

Florent BOLLON

Thèse soutenue le 9 octobre 2020

Ecole doctorale : ED 209 (SPI) - Sciences Physiques et de l'Ingénieur -
Bordeaux

Titre de la thèse

**Recognized Cyber Picture et Confiance interpersonnelle :
optimiser les activités collaboratives cyber militaires**

Encadrement

Département Traitement de l'information et Systèmes (DTIS)

Encadrants : Nicolas Maille - ONERA

Anne-Lise Marchand - CReA

Directeurs de thèse : Jean-Marc Salotti - Université de Bordeaux

Laurent Chaudron - Theorik-Lab

Financement

Thales

Défi scientifique

Systèmes
intelligents

www.onera.fr/pss

THALES

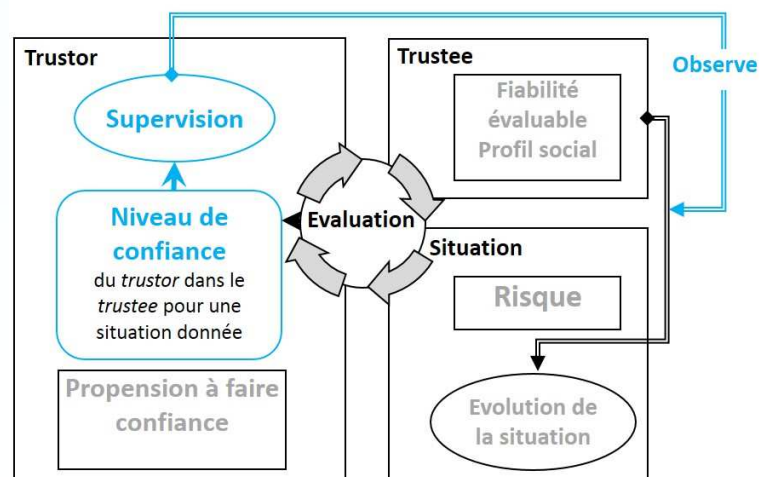
université
de **BORDEAUX**

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

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

Résumé

Depuis les années 2000, les réseaux civils et militaires sont confrontés à une augmentation constante du nombre de cyber attaques. Afin d'accélérer le processus décisionnel et de coordonner au mieux les actions en cas d'attaque provenant du cyberspace il devient nécessaire, pour l'armée de l'air française (AA), de mettre en place un système permettant d'avoir une représentation partagée de l'état cyber de ses infrastructures. Ce système, nommé recognized cyber picture (RCP), placé dans les centres de commandement et de conduite (C2), devra repérer et mettre en évidence d'éventuels problèmes concernant les informations reçues (informations modifiées, ajoutées, perdues,...). Les opérateurs seront confrontés à une dissonance en termes de traitement et de transmission de l'information et devront mettre en place des mécanismes permettant de « compenser » cette dissonance pour prendre leurs décisions. Parmi ces mécanismes, le niveau de confiance est déjà étudié dans la littérature comme facilitant les prises de décisions dans les environnements à forte incertitude. Cette thèse étudie le rôle de la confiance sur les comportements des opérateurs avec un protocole expérimental permettant d'induire différents niveaux de confiance et d'étudier leur influence sur le comportement des individus. Quatre expérimentations, avec comme participants de potentiels opérateurs de la RCP, ont été réalisées en laboratoire. Elles montrent notamment des modifications comportementales engendrées par le niveau de confiance présent dans la relation, dont la supervision, la qualité des supervisions, la gestion du temps mais également l'acceptation des informations transmises par le coéquipier. Enfin la cohérence des informations disponibles ainsi que le niveau de confiance jouent un rôle dans la prise de décision des opérateurs. Ces résultats ont été confrontés aux modèles issus de la littérature et ont permis d'affiner et adapter ces modèles au cas des C2 ayant une composante cyber. La thèse présente donc à la fois une contribution fondamentale sur la compréhension des ressorts de la confiance et un apport plus applicatif pouvant orienter des éléments de mise en œuvre de la RCP au sein des C2.



Exemple de liens du modèle investigué de manière expérimentale

Développer des méthodes formelles pour analyser les systèmes probabilistes en temps réel

Jasdeep SINGH

Thèse soutenue le 6 mars 2020

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

Titre de la thèse

Schedulability Analysis of Probabilistic Real-Time Systems

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Directeurs de thèse : Luca Santinelli & Jean-Loup Farges - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

Systèmes
intelligents

www.onera.fr/pss



Université
de Toulouse



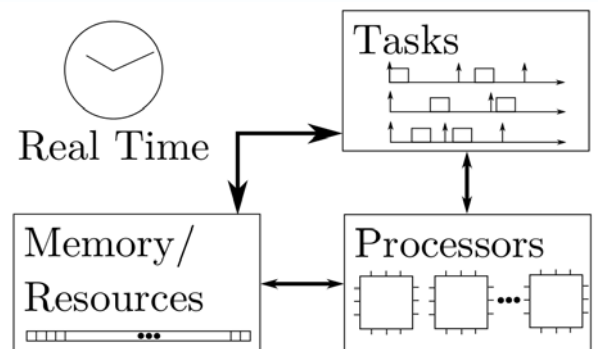
Contact : Jean-Loup.Farges @ onera.fr

Résumé

The objective of this thesis is to perform schedulability analysis of probabilistic real-time systems. The task execution is described using a probabilistic Worst Case Execution Time (pWCET) which is a probability distribution. The pWCETs are assumed given. The tasks are scheduled to ensure that all tasks are allowed a processor time. In order to ensure that all tasks are scheduled, schedulability analysis is performed. Because task execution is described probabilistically, the schedulability analysis must also be probabilistic. This implies a probabilistic modelling of the system to probabilistically ensure that all tasks are scheduled. Assuming continuous pWCET distribution, a formal approach towards the probabilistic analysis of the system through Continuous Time Markov Chain (CTMCh) uses CTMCh to model jobs of the tasks which are scheduled using Earliest Deadline First or Fixed Priority scheduling algorithm. Differences between continuous and discrete pWCET distributions are highlighted with the advantages and disadvantages of each. Searching for reducing pessimism through real-time systems by using a Discrete Time Markov Chain (DTMCh) model for a Mixed Criticality (MC) probabilistic Real-Time System (pRTS) allows to quantify the probability of the system entering high criticality. Moreover that pessimism can be further reduced in a probabilistic environment by letting go of the classical schedulability algorithms. A schedule which is safe and ensures schedulability of high criticality jobs is obtained using the graph based exploratory model for MC pRTS developed in this thesis. At the same time, the low criticality jobs are scheduled whenever possible. This approach drops the classical idea of suspending all low criticality jobs when a high criticality job enters high criticality mode. Here, probabilities can only be quantified because they arrive from pWCET and pWCET does not depend on the schedule. Tasks enter high criticality at runtime implying that response time, and not execution time, must be used to decide criticality modes. Since the response time is affected by the schedule, this schedule can be optimized with respect to a probability criterion. Usability and hidden assumptions are presented for the classical convolution operation between pWCET distributions in the context of real-time systems. It leads to a MC schedule with minimal probability of system entering high criticality. At the same time, if the system does enter high criticality, the schedulability of high criticality jobs is ensured with allowing low criticality jobs to execute. The schedule is also adaptive, which means that depending on the when and which job enters high criticality, the following schedule is decided accordingly. The schedule is ensured in the worst case.

A first step towards dependence between the tasks which is apart from the scheduling is also presented.

Système temps réel composé de tâches qui demandent des ressources pour être exécutées ; processeur, mémoire et bus



Développer de nouveaux modèles et algorithmes pour gérer les problématiques de décision hiérarchique complexes

Adriana PACHECO

Thèse soutenue le 17 décembre 2020

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

Titre de la thèse

**Techniques de décisions hiérarchiques pour l'allocation
et l'ordonnancement de tâches**

Encadrement

Département Traitement de l'information et Systèmes (DTIS)

Directeurs de thèse : Cédric Pralet & Stéphanie Roussel - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

Systèmes
intelligents

www.onera.fr/pss



Université
de Toulouse



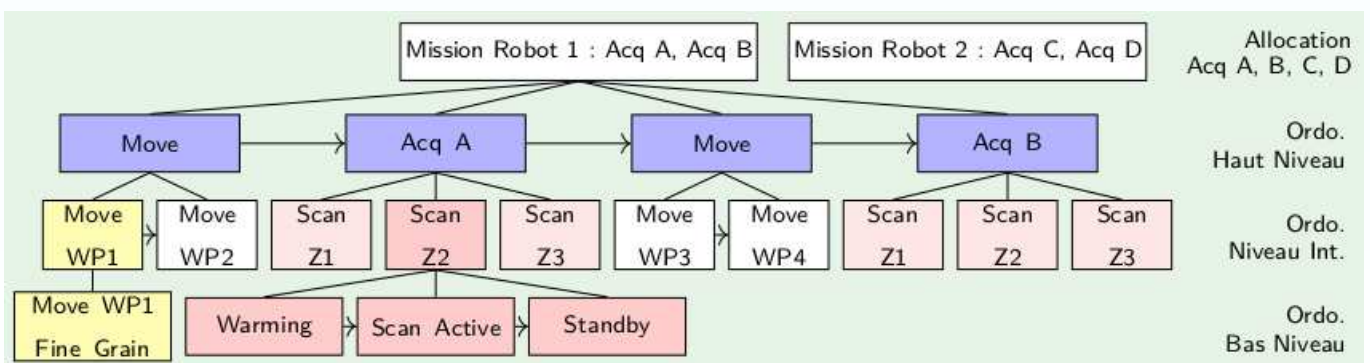
Contact : [Cedric.Pralet @ onera.fr](mailto:Cedric.Pralet@onera.fr)

Résumé

Dans de nombreuses applications qui présentent un problème de décision ou d'optimisation combinatoire, il est utile de raisonner à différents niveaux d'abstraction. C'est par exemple le cas pour des missions d'exploration multi-robots, où l'on peut s'intéresser premièrement à la répartition de tâches d'exploration entre différents robots, puis à la manière dont chaque robot enchaîne les tâches qui lui sont allouées, et enfin à la décomposition de ces enchaînements de tâches sous la forme de déplacements à coordonner pour éviter des collisions. D'un point de vue général, il est nécessaire dans ce type d'application de considérer différents niveaux de décision couvrant allocation des tâches sur des ressources et ordonnancement des tâches sur ces mêmes ressources.

Chaque tâche à considérer peut de plus se décomposer en plusieurs sous-tâches qui doivent toutes être réalisées pour que la tâche parente le soit. Plusieurs alternatives de décomposition peuvent être considérées dans ce cas.

Finalement, les contraintes des problèmes de décision à résoudre peuvent être représentées avec différents niveaux d'abstraction. La thèse s'intéresse à la définition de modèles et d'algorithmes de décision utilisables pour gérer ces problématiques de décision hiérarchique. Plus précisément, les contributions de la thèse consistent tout d'abord en la définition d'un modèle générique pour les problèmes d'ordonnancement hiérarchique, ainsi qu'en la définition d'un cadre générique permettant de décomposer un tel problème en plusieurs couches. Ensuite, lorsque le problème est découpé en plusieurs couches, deux stratégies d'interaction sont proposées entre les couches, la première inspirée des modèles de substitution et la seconde inspirée des décompositions logiques de Benders. Des expérimentations menées sur l'application de déploiement multi-robot montrent l'efficacité des approches proposées.



Raisonnement à différents niveaux d'abstraction pour un problème de déploiement multi-robots

Distinction

Best Student Paper
Award, IEEE/ISPRS
workshop EarthVision
(2019)

Rodrigo CAYE DAUDT

Thèse soutenue le 6 novembre 2020

Ecole doctorale : ED 626 (IPP) - Institut Polytechnique de Paris

Titre de la thèse

**Réseaux de neurones convolutifs pour l'analyse
de changements en imagerie de télédétection avec
des annotations bruitées et des décalages de domaine**

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Encadrants : Bertrand Le Saux - European Space Agency

Alexandre Boulch - Valeo.ai

Guy Le Besnerais - ONERA

Directeur de thèse : Yann Gousseau - Télécom Paris

Financement

ONERA

Défi scientifique

Systèmes
intelligents

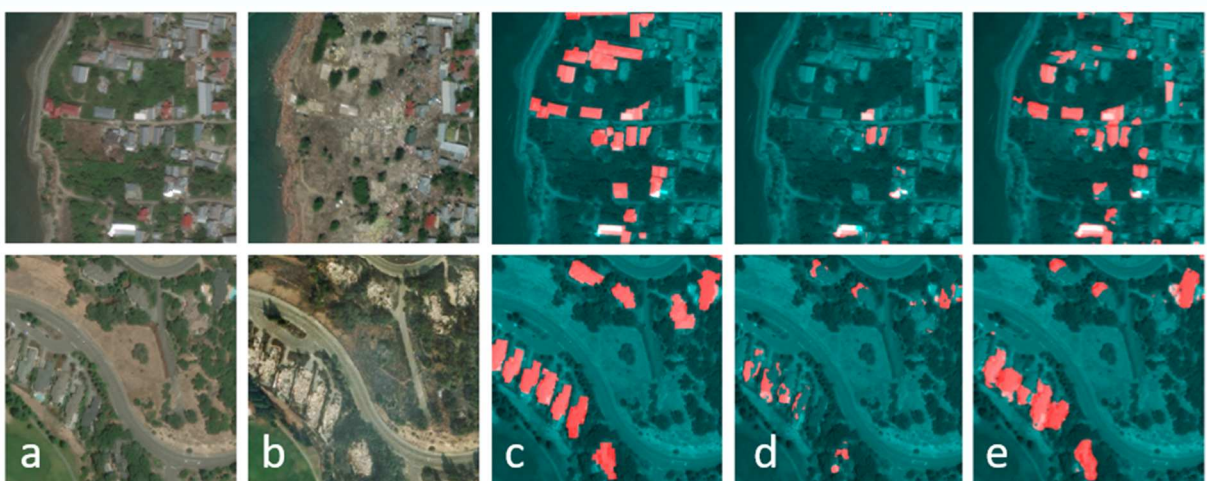
www.onera.fr/pss



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

Résumé

L'analyse de l'imagerie satellitaire et aérienne d'observation de la Terre nous permet d'obtenir des informations précises sur de vastes zones. Une analyse multitemporelle de telles images est nécessaire pour comprendre l'évolution de ces zones. Dans cette thèse, les réseaux de neurones convolutifs sont utilisés pour détecter et comprendre les changements en utilisant des images de télédétection provenant de diverses sources de manière supervisée et faiblement supervisée. Des architectures siamoises sont utilisées pour comparer des paires d'images recalées et identifier les pixels correspondant à des changements. La méthode proposée est ensuite étendue à une architecture de réseau multitâche qui est utilisée pour détecter les changements et effectuer une cartographie automatique simultanément, ce qui permet une compréhension sémantique des changements détectés. Ensuite, un filtrage de classification et un nouvel algorithme de diffusion anisotrope guidée sont utilisés pour réduire l'effet du bruit d'annotation, un défaut récurrent pour les ensembles de données à grande échelle générés automatiquement. Un apprentissage faiblement supervisé est également réalisé pour effectuer une détection de changement au niveau des pixels en utilisant uniquement une supervision au niveau de l'image grâce à l'utilisation de cartes d'activation de classe et d'une nouvelle couche d'attention spatiale. Enfin, une méthode d'adaptation de domaine fondée sur un entraînement adverse est proposée. Cette méthode permet de projeter des images de différents domaines dans un espace latent commun où une tâche donnée peut être effectuée. Cette méthode est testée non seulement pour l'adaptation de domaine pour la détection de changement, mais aussi pour la classification d'images et la segmentation sémantique, ce qui prouve sa polyvalence.



Apprendre à évaluer les dégâts d'un tsunami à partir d'images de feux de forêt. (a,b) images avant et après un tsunami. (c) vérité terrain des changements (en rose), annotée par un opérateur humain. Les images (d) et (e) sont des résultats de réseau entraînés sur des images de feux de forêt, (d) sans adaptation de domaine, (e) avec notre méthode d'adaptation de domaine

Développer des méthodes d'estimation de l'attitude et de la position des drones robustes aux pannes de capteurs

Gustav ÖMAN LUNDIN

Thèse soutenue le 12 février 2020

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

Titre de la thèse

Supervision for Drone Flight Safety

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Directeurs de thèse : Philippe Mouyon & Augustin Manecy - ONERA

Financement

Région Occitanie & ONERA

Défi scientifique

Systèmes
intelligents

www.onera.fr/pss



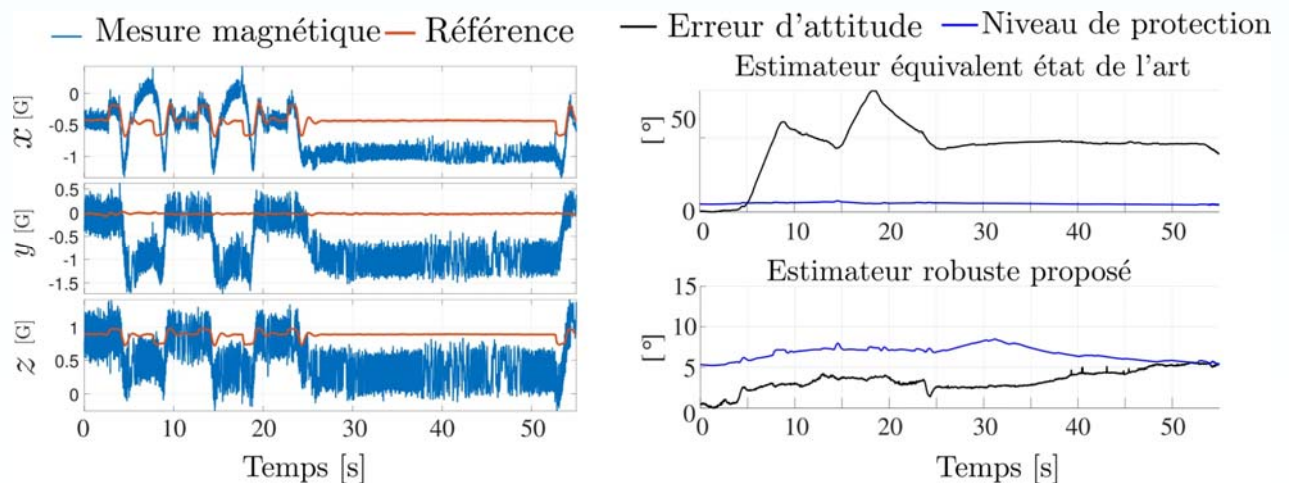
Université
de Toulouse



Contact : Philippe.Mouyon@onera.fr

Résumé

L'utilisation croissante des drones et leur intégration dans le trafic aérien nécessite de fournir un certain nombre de garanties de sûreté et de preuves de fonctionnement. La sécurité du vol est directement tributaire de la précision et de la fiabilité de la localisation qui est généralement obtenue par une fusion multi-capteurs, réalisée à l'aide d'un filtre estimateur. Ce travail de thèse s'intéresse au problème de la navigation tolérante aux défauts et aux pannes capteurs dans le cas de capteurs non redondés. L'objectif principal est de proposer des méthodes et des architectures d'estimations de l'attitude et de la position qui permettent de préserver la justesse de l'estimation, mais aussi d'améliorer sa consistance et son intégrité, même en cas de perturbations prolongées des capteurs. Un premier axe de travail concerne l'estimation et le rejet de biais multiples et fréquents sur un capteur de position, comme peut y être soumis un récepteur GNSS (multi-trajets), ou un capteur visuel (erreur de poursuite). Une architecture de détection et de correction de l'estimation de position a été développée pour cela et vient compléter les méthodes existantes basées sur le GLR. Un second axe de travail a été de proposer une architecture d'estimation de l'attitude qui soit robuste aux perturbations magnétiques et aux accélérations spécifiques. Elle comporte principalement trois briques : (1) Des modèles de performance permettent d'estimer les sorties capteurs nettoyées au mieux des perturbations ; (2) Une étape de consolidation de mesures utilise des tests statistiques pour sélectionner les signaux à fusionner entre les mesures brutes ou nettoyées, ou simplement rejeter les signaux dans les cas où la consolidation échoue ; (3) Un estimateur d'attitude basé sur un filtre de Kalman fusionne les mesures consolidées, avec des propriétés de découplage vis-à-vis des perturbations résiduelles, ainsi qu'un modèle de biais saturé. Les algorithmes d'estimation de position et attitude ont été validés en simulation et séparément lors de diverses campagnes d'essais expérimentales



Estimation d'attitude sous perturbations magnétiques

Améliorer la robustesse et réduire la complexité de calcul des algorithmes de planification dans un environnement évolutif

Distinction

Prix de thèse de la
Fondation ISAE-
SUPAERO
(2020)

Erwan LECARPENTIER

Thèse soutenue le 6 juillet 2020

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

Titre de la thèse

Apprentissage par renforcement en environnement
non-stationnaire

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Encadrant : Charles Lesire-Cabaniols - ONERA

Directeurs de thèse : Emmanuel Rachelson - ISAE-SUPAERO
Guillaume Infantes - JoliBrain

Financement

Région Occitanie & ONERA

Défi scientifique

Systèmes
intelligents

www.onera.fr/pss



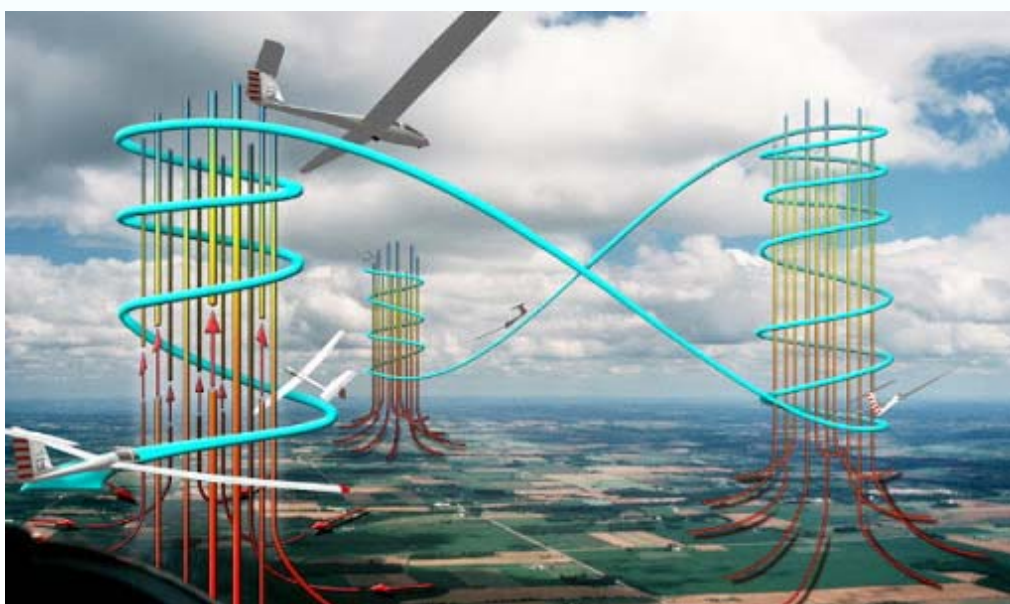
Université
de Toulouse



Contact : Charles.Lesire @ onera.fr

Résumé

Comment un agent doit-il agir étant donné l'incertitude qu'il a sur l'évolution de son environnement ? Dans cette thèse, nous adoptons la perspective de l'apprentissage par renforcement pour fournir une réponse à cette question. Le problème est vu sous trois aspects différents. Premièrement, nous étudions le compromis planification vs. re-planification des algorithmes de recherche arborescente dans les Processus Décisionnels Markoviens stationnaires. Nous proposons une méthode pour réduire la complexité de calcul d'un tel algorithme, tout en conservant des garanties théoriques sur la performance. Deuxièmement, nous étudions le cas des environnements évoluant graduellement au cours du temps. Cette hypothèse est formulée dans un cadre mathématique appelé Processus de Décision Markoviens Non-Stationnaires Lipschitziens. Dans ce cadre, nous proposons un algorithme de planification robuste aux évolutions possibles, dont nous montrons qu'il converge vers la politique minmax. Troisièmement, nous considérons le cas de l'évolution temporelle abrupte dans le cadre du "lifelong learning" (apprentissage tout au long de la vie). Nous proposons une méthode de transfert non-négatif basée sur l'étude théorique de la continuité de Lipschitz de la Q-fonction optimale par rapport à l'espace des tâches. L'approche permet d'accélérer l'apprentissage dans de nouvelles tâches. Dans l'ensemble, cette dissertation propose des réponses à la question de la résolution des Processus de Décision Markoviens Non-Stationnaires dans trois cadres d'hypothèses.



Le drone planeur : un exemple d'agent évoluant dans un environnement non-stationnaire. Les conditions atmosphériques évoluent à une vitesse telle que cette évolution doit être prise en compte dans le processus de décision (image de Roberto Centazzo)

Développer une nouvelle approche du contrôle d'un système en combinant la commande basée sur les données et les logiques de conception de commande conventionnelles

Oktay KOCAN

Thèse soutenue le 17 décembre 2020

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

Titre de la thèse

**Feedback via Iterative Learning Control for Repetitive
Systems**

Encadrement

Département Traitement de l'information et Systèmes (DTIS)

Directeurs de thèse : Augustin Manecy & Charles Poussot-Vassal - ONERA

Financement

Région Occitanie & ONERA

Défi scientifique

Systèmes
intelligents

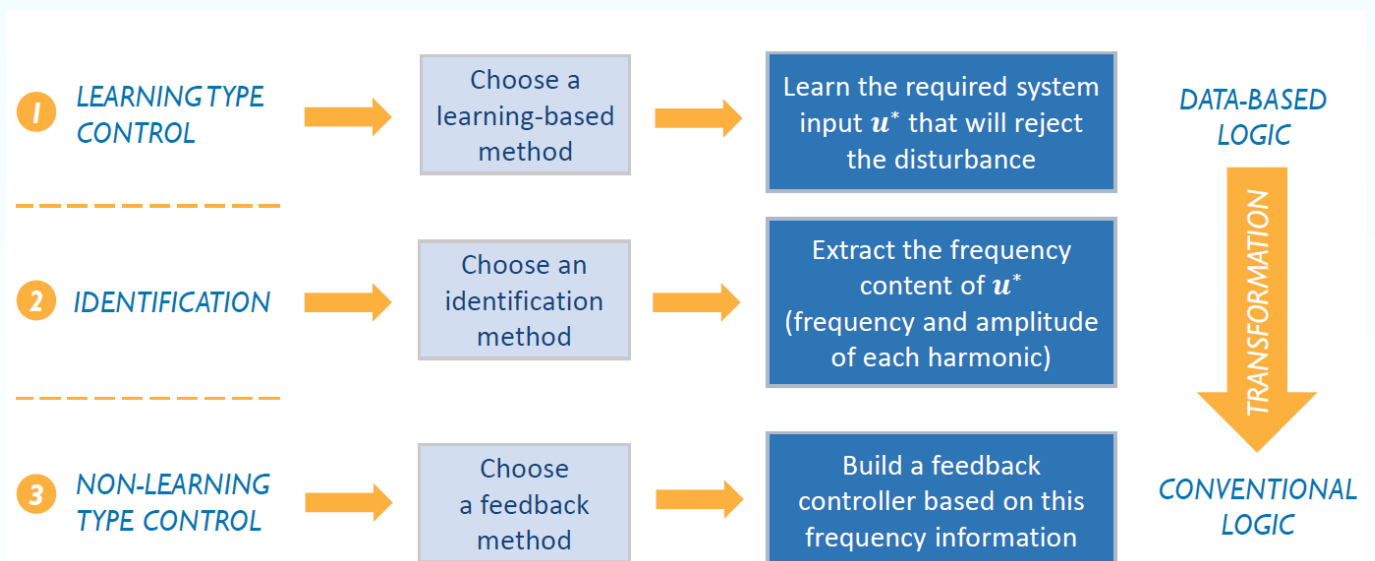
www.onera.fr/pss



Contact : Charles.Poussot-Vassal @ onera.fr

Résumé

The work presented in this thesis has the purpose of building a bridge between data-based control and conventional control design logics for rejecting complex unknown periodic disturbances acting on linear or a class of nonlinear systems. The main contribution of the thesis is the triple layer control approach which shows how to combine learning-type (data-based) control and non-learning-type (conventional) control by means of an identification process as connecting tool in between. A particularly motivating point of the proposed approach is that it can properly function under unknown periodic disturbances both when the system is linear and nonlinear.



Triple layer approach for control design from data to conventional logic

Développer un cadre de raisonnement à base de modèles pour la gestion des fautes dans un système autonome

Valentin BOUZIAT

Thèse soutenue le 18 décembre 2020

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

Titre de la thèse

Gestion des aléas dans un système multi-robots

Encadrement

Département Traitement de l'information et Systèmes (DTIS)

Encadrante : Stéphanie Roussel - ONERA

Directeurs de thèse : Louise Travé-Massuyès - LAAS-CNRS

Xavier Pucel - ONERA

Financement

Région Occitanie & ONERA

Défi scientifique

Systèmes
intelligents

www.onera.fr/pss



Université
de Toulouse



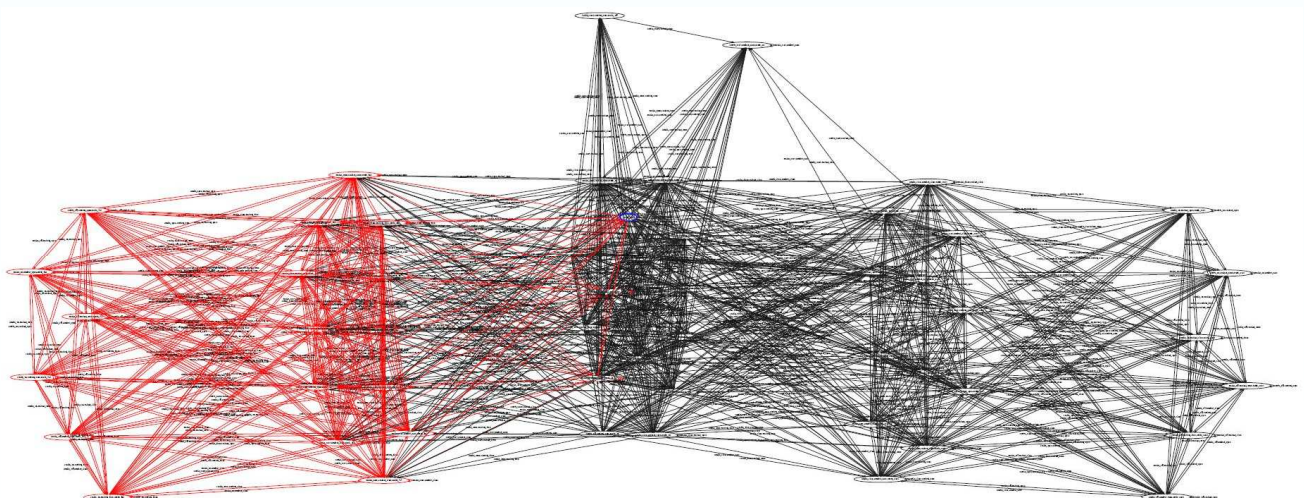
Contact : [Xavier.Pucel @ onera.fr](mailto:Xavier.Pucel@onera.fr)

Résumé

Les progrès de l'Intelligence Artificielle permettent aux systèmes de devenir plus autonomes. Il est primordial de comprendre leur comportement, notamment pour que ces systèmes soient acceptés dans l'environnement dans lequel ils évoluent. Dans cette thèse, nous nous intéressons aux systèmes modélisés sous la forme de systèmes à événements discrets partiellement observables et pour lesquels on cherche à fournir une estimation de l'état du système à partir du comportement observé de celui-ci.

Nous nous appuyons sur une approche d'estimation, basée sur un ensemble de préférences conditionnelles, qui consiste à ne garder qu'un seul diagnostic à chaque pas de temps. Cela permet notamment de satisfaire les contraintes opérationnelles liées aux applications robotiques (ressources de calcul ou de mémoire limitées) et faciliter la prise de décision. Cependant, cette approche peut mener à des scénarios d'impasse, c'est-à-dire des scénarios dans lesquels l'estimateur n'est plus en mesure d'expliquer l'observation du système en restant cohérent avec les estimations des états précédents.

L'objectif de la thèse est d'analyser, en mode hors-ligne, les stratégies d'estimation à état unique pour un système donné. La première contribution de la thèse consiste à détecter les scénarios d'impasse d'une taille donnée pour un système et une stratégie d'estimation. Deuxièmement, pour un scénario d'impasse donné, nous calculons un ensemble minimal de préférences de la stratégie d'estimation à l'origine de l'impasse. Finalement, nous caractérisons la propriété d'estimabilité à état unique d'un système, qui consiste en l'existence d'une stratégie d'estimation pour celui-ci qui ne mène à aucun scénario d'impasse. L'ensemble des contributions de la thèse a donné lieu à des développements de prototypes basés sur des techniques Model-Checking et SAT et la réalisation d'expérimentations sur des jeux de données représentatifs du monde réel.



Un système de commande de valves (source : Kurien, J. and Nayak, P. Back to the future for consistency-based trajectory tracking. AAAI 2020), et son estimateur en rouge

Développer une nouvelle méthodologie pour l'estimation de la probabilité de défaillance des systèmes complexes

Morgane MENZ

Thèse soutenue le 4 décembre 2020

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

Titre de la thèse

Réduction du coût numérique des méthodes d'apprentissage
actif pour l'analyse de fiabilité

Encadrement

Département Traitement de l'information et Systèmes (DTIS)

Encadrant : Sylvain Dubreuil - ONERA

Directeurs de thèse : Christian Gogu - Université Toulouse III

Jérôme Morio & Nathalie Bartoli - ONERA

Financement

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

Défi scientifique

Systèmes
intelligents

www.onera.fr/pss



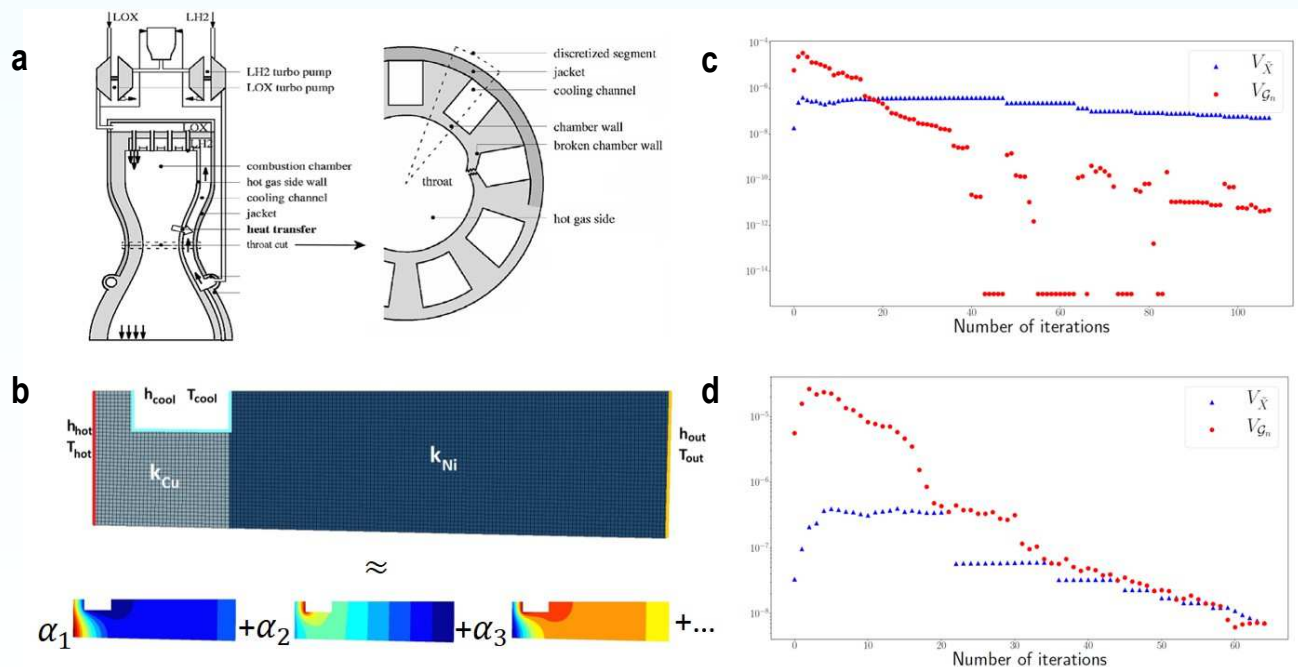
Contact : Sylvain.Dubreuil @ onera.fr

Résumé

Les analyses de fiabilité sur des problèmes d'ingénierie complexes impliquent souvent des temps de calcul très élevés et requièrent l'utilisation de méthodes numériques avancées.

L'estimation de la probabilité de défaillance par des approches d'apprentissage actif de processus gaussiens est une voie possible pour fortement réduire les temps de calcul. Elles consistent en le classement d'une population d'échantillons à partir du modèle de processus gaussien construit. Ainsi, deux sources d'incertitude ont une influence sur l'estimateur de la probabilité de défaillance : l'approximation par métamodèle et la variabilité de l'échantillonnage. Dans ces travaux de thèse, nous proposons une méthodologie pour quantifier la sensibilité de l'estimateur de la probabilité de défaillance à ces deux sources d'incertitude. Une méthodologie focalisant l'enrichissement sur la réduction de la source majeure d'incertitude ainsi qu'un critère d'arrêt basé sur l'erreur globale sont proposés. L'approche est étendue pour l'estimation d'évènements rares.

Une autre voie étudiée concerne la réduction du coût numérique unitaire d'évaluation des points d'apprentissage. Ainsi, nous proposons un couplage entre les approches d'apprentissage actif et la réduction de modèle de type base réduite. Une méthodologie adaptative permettant de choisir, par le biais d'un critère de couplage, si une solution réduite peut être utilisée à la place du modèle numérique complexe est proposée.



Etude de la fiabilité du refroidissement d'une chambre de combustion d'un moteur de fusée, (a) schéma de principe, (b) modèle éléments finis et illustration de la réduction de modèle pour le calcul du champ de température. Décomposition de la variance de l'estimateur de la probabilité de défaillance et évolution durant les itérations de l'algorithme d'apprentissage actif, (c) état de l'art, (d) amélioration proposée permettant un contrôle accru de la variance de l'estimateur

Développer de nouvelles techniques d'analyse des mesures de vélocimétrie par images de particules dans les fluides pour améliorer leur résolution spatiale

Soufiane AIT TILAT

Thèse soutenue le 16 décembre 2020

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

Titre de la thèse

Détection et localisation de particules dans des images PIV
via des approches parcimonieuses à grille

Encadrement

Département Traitement de l'information et Systèmes (DTIS)

Directeurs de thèse : Frédéric Champagnat - ONERA
Cedric Herzet - INRIA

Financement

Agence Nationale de la Recherche (ANR)

Défi scientifique

Souffleries du futur

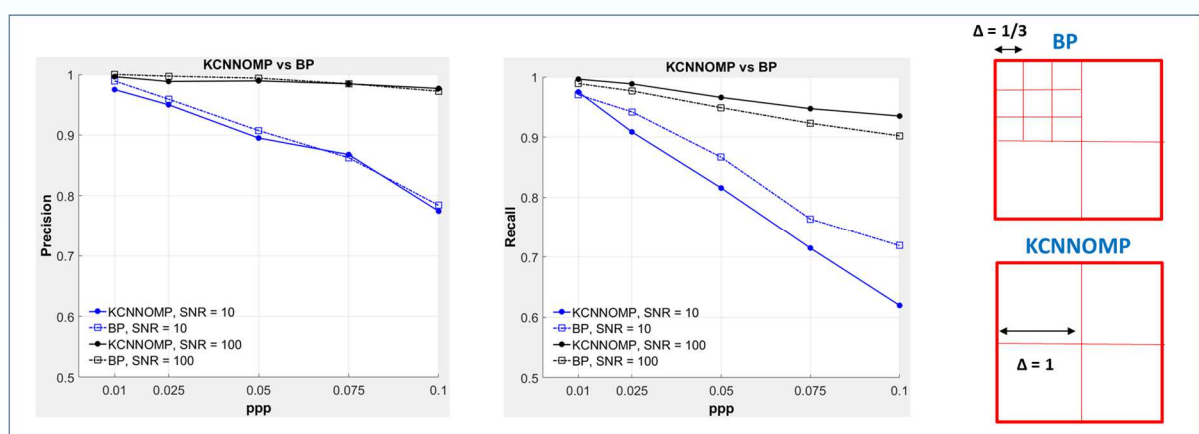
www.onera.fr/pss



Contact : Frédéric.Champagnat @ onera.fr

Résumé

Cette thèse trouve son application dans le domaine de la vélocimétrie par images de particules (PIV). Le principe est le suivant : des caméras acquièrent, à haute cadence, des images de particules injectées dans le fluide transparent pour visualiser son mouvement. Les images sont prises en paires et sont découpées en petites surfaces. Elles sont ensuite corrélées entre elles afin d'estimer la carte vectorielle de déplacement du fluide. Cependant, cette étape agit comme un filtre passe bas qui lisse les gradients de vitesse, ce qui limite la résolution spatiale des mesures de vitesses. Afin de dépasser cette limitation, d'autres approches suivent individuellement l'évolution de la position de chaque particule, ce qui permet l'estimation du vecteur vitesse à chaque instant et à chaque point de l'écoulement contenant une particule. La résolution spatiale dans ce cas est liée à la densité de marqueurs. L'augmentation de celle-ci est limitée par le chevauchement des images élémentaires de chaque particule. Ce chevauchement rend difficile la séparation des particules via des approches basées sur l'extraction de maxima locaux. L'objectif de cette thèse est de développer des approches permettant de distinguer les particules en cas de superposition et de les localiser avec une très haute précision. Pour ce faire, nous avons utilisé un modèle de formation d'image discrétisé, suivi d'une étape de minimisation, afin de chercher la distribution de particules représentant le plus fidèlement possible l'image observée. En pratique, cela correspond à l'inversion d'un système linéaire de grande dimension et très mal conditionné. Plusieurs a priori ont été testés à savoir la positivité des intensités de particules et la parcimonie de leur distribution dans l'image. Nous avons également conçu des algorithmes d'inversion rapides et efficaces en tenant compte de ces a priori et en adoptant également d'autres approches de discrétisation permettant de réduire la taille de la grille utilisée.



Domaine d'emploi respectif des méthodes de traitement vis-à-vis du SNR. BP (resp. KCNNOMP) désigne la meilleure méthode convexe (resp. gloutonne), de pas de discrétisation optimal $\Delta = 1/3$ pixel (resp. $\Delta = 1$ pixel). Les deux méthodes sont équivalentes en terme de faux négatifs, mais la méthode convexe détecte plus de vraies particules à bas SNR que la méthode gloutonne, pour un coût mémoire et calculatoire d'un ordre de grandeur plus faible

Développer de nouvelles stratégies d'optimisation adaptées à la conception de turboréacteurs aéronautiques modernes installés sous voilure

Simon BAGY

Thèse soutenue le 4 septembre 2020

Ecole doctorale : ED 166 (I2S) - Information, Structures et Systèmes -
Montpellier

Titre de la thèse

Design and Optimization of Aircraft Engine Nozzles in Under-Wing Configuration

Encadrement

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Encadrants : Michaël Méheut - ONERA

Mathieu Lallia & Pascal Coat - Safran Aircraft Engines

Directeur de thèse : Bijan Mohammadi - Université de Montpellier

Financement

CIFRE Safran Aircraft Engines

Défi scientifique

La propulsion dans
toute sa complexité

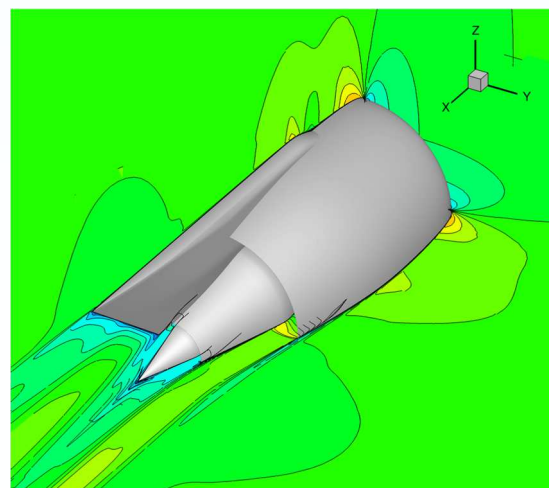
www.onera.fr/pss



Contact : Michael.Meheut @ onera.fr

Résumé

When aircraft have under-wing propulsion systems, aerodynamic interactions appear between engines and wings. The trend of increasing turbofans by-pass ratio in order to improve their efficiency leads to greater engine diameters, and therefore strengthens these installation effects. In particular, the engine rear-body and the nozzles are located in the vicinity of the wing pressure side and are directly concerned by these interactions. In order to take these effects into account during early design phases of nozzles aerolines, the present thesis work aims at developing design approaches based on aerodynamic shape optimization methods, with industrial tools (such as CAD) and coupled aeropropulsive simulations. Industrial geometrical models are usually defined with commercial CAD software and comprise hundreds of design parameters. However, a literature review on optimization methods shows the difficulty of considering these software as well as a high number of design variables. Consequently, an original approach called convex combination is proposed. This method enables a dimensional reduction for the optimization problem, by using industrial know-how to define a subspace of the design space. Thus, it allows the use of most optimization methods for optimum research on the subspace. At first, this approach is tested and validated on a 2D single-flow nozzle case. On this case without CAD, exploring a subspace appears capable of outperforming full-space research. Then, a case of industrial complexity is defined, with a CAD geometry of turbofan nacelle and dual separate flow nozzles. Optimizations performed on this isolated nacelle (without aircraft) validate the use of the proposed approach with industrial design tools. Finally, some developments towards fully-coupled aeropropulsive simulations are made. In the end, these simulations coupling aerodynamics to a thermodynamic engine model are expected to be integrated in the optimization workflow. The thesis work consisted in developing optimization strategies and workflows adapted to the design of aeronautic turbofan nozzles, while considering industrial use cases and tools. Although the final application case on a complete aircraft with under-wing engines has not been covered in this work, the proposed convex combination approach and the associated workflow will allow to carry out this study in the near future



Mach number field on an isolated nacelle configuration

Habilitations à Diriger des Recherches soutenues en 2020

HERBIN Stéphane - Vers des systèmes perceptifs autonomes.....	178
PETER Jacques - Contributions à la méthode adjointe discrète en simulation aérodynamique pour l'optimisation de forme et l'adaptation de maillage ciblée	180
BIDEL Yannick - Gravimètre à atomes froids embarquable.....	182
FABRE Sophie - Analyse de la biodiversité végétale par télédétection optique : Contribution à la caractérisation de l'impact anthropique	184
BELHAJ Mohamed - Emission électronique sous une irradiation par des électrons.....	186
MICHEL David Tomline - Implosion de cible sphérique par laser de puissance et LIDAR.....	188
DEMOURANT Fabrice - Identification, commande et analyse dans le domaine fréquentiel : Application à des systèmes de grande dimension	190
NUNS Thierry - Effet des radiations de l'environnement spatial sur la dégradation des photo-détecteurs et des imageurs	192

Stéphane HERBIN

HDR soutenue le 6 juillet 2020
Sorbonne Université
Spécialité : Sciences pour l'ingénieur

Vers des systèmes perceptifs autonomes

Composition du jury

François BRÉMOND	INRIA
Raja CHATILA	Sorbonne Université
Michel CRUCIANU	CNAM
David FILLIAT	ENSTA ParisTech
Jean PONCE	INRIA



Résumé

L'objectif du projet est d'introduire le principe de système perceptif autonome comme objet d'étude. Les fonctionnalités de perception artificielle, en particulier de vision, sont devenues à la fois plus faciles à concevoir et plus performantes par l'utilisation d'un ensemble de techniques et d'environnements de développement regroupés sous l'expression apprentissage profond (« Deep Learning »). Elles ont atteint un certain niveau de maturité permettant d'envisager leur utilisation pour des applications réelles voire critiques.

La direction de recherche proposée ici est de munir la perception d'un certain degré d'autonomie considéré comme moyen de garantir sa fiabilité. L'introduction d'une telle propriété implique de reconsidérer le statut de la perception non plus comme fonctionnalité passive mais comme une activité impliquant comme parties prenantes explicites l'environnement à percevoir mais également le destinataire des produits perceptifs avec lequel le système entretient une relation contractuelle déterminant la nature du service attendu et les moyens de le garantir.

L'étude des systèmes perceptifs autonomes conduit ainsi à un programme de recherche organisé selon trois axes : la conception d'une activité perceptive articulant dynamique fonctionnelle et processus d'apprentissage, le développement d'une intelligibilité propre des mécanismes de perception pour surveiller, spécifier ou justifier leur comportement, et la mise en oeuvre d'une démarche générale permettant de garantir leur utilisation sûre et maîtrisée.

Jacques PETER

HDR soutenue le 25 septembre 2020

Université de Nantes

Spécialité : Mécanique, génie mécanique, génie civil

Contributions à la méthode adjointe discrète en simulation aérodynamique pour l'optimisation de forme et l'adaptation de maillage ciblée

Composition du jury

Frédéric ALAUZET	INRIA
Richard DWIGHT	Université de Delft
Nicolas GAUGER	Université de Kaiserslautern
François JAUBERTEAU	Université de Nantes
Jens-Dominik MÜLLER	Queen Mary University of London
Michel VISONNEAU	CNRS



UNIVERSITÉ DE NANTES



Résumé

Le manuscrit rappelle tout d'abord les dépendances possibles et formules associées pour le calcul du gradient des fonctions aérodynamiques par rapport à des paramètres de la forme solide (ie faisant intervenir directement les paramètres ou d'abord les coordonnées du maillage volumique ou celles du maillage de la surface solide). Toutes requièrent la résolution d'un système linéaire de la taille du problème direct de simulation dont la solution est le vecteur adjoint de la fonction d'intérêt pour le schéma numérique. Les recherches menées à l'ONERA concernent tout d'abord une famille de linéarisations approchées pour la résolution de l'équation adjointe par méthode de point fixe. (Ce travail de renforcement de la robustesse est d'ailleurs poursuivi actuellement avec des méthodes GMRES avancées). On a par ailleurs réalisé la première adaptation (simultanément avec la NASA Langley) de la méthode adjointe discrète à la formulation mécanique adaptée pour le calcul des rotors d'hélicoptère en vol stationnaire. Enfin, dans le cadre de l'optimisation basée sur le gradient de forme, des méthodes nouvelles ont été proposées pour le lissage de ce champ et pour la caractérisation des formes solides de régularité acceptable.

La méthode adjointe permet aussi de raffiner le maillage du domaine fluide dans les zones nécessaires pour obtenir une bonne précision sur l'évaluation de la fonction d'intérêt (et l'on sait depuis les années 2000 que les maillages résultants sont très différents de ceux issus d'un raffinement basé sur la variation première ou seconde du champ d'une variable aérodynamique). On a proposé une méthode utilisant la dérivée totale de la fonction aérodynamique par rapport aux nœuds du maillage volumique (champ vectoriel impliquant le vecteur adjoint et sommant la dépendance géométrique directe sur le support de la fonction et la dépendance aérodynamique indirecte via la reconvergence de l'écoulement stationnaire). Ce champ est projeté à la paroi et aux extrémités du domaine pour ne retenir au premier ordre que les modifications de maillage n'altérant pas le domaine fluide. On en déduit une borne de la variation au premier ordre de la fonction d'intérêt quand un nœud bouge dans le polyèdre défini par ses voisins. Ce critère de sensibilité de la fonction au déplacement des nœuds conduit à des raffinements très similaires à ceux issus des méthodes de référence, beaucoup plus coûteuses, à deux grilles calculant l'effet sur la fonction d'un raffinement local. Le comportement asymptotique du critère proposé a été étudié théoriquement (pour des maillages réguliers) et empiriquement. L'efficacité du raffinement basé sur la sensibilité au déplacement des nœuds a été démontrée sur des configurations classiques pour plusieurs stratégies de maillage et pour les modélisations Euler et RANS.

Yannick BIDEL

HDR soutenue le 2 octobre 2020
Université Paris-Saclay

Gravimètre à atomes froids embarquable

Composition du jury

Pascal SZRIFTGISER

Saïda GUELLATI-KHELIFA

Arnaud LANDRAGIN

Denis BOIRON

Sylvain BONVALOT

PhLAM, Lille

LKB, Paris

SYRTE, Paris

Institut d'Optique, Palaiseau

GET, Toulouse

Résumé

Cette habilitation à diriger les recherches porte sur les travaux de recherches de Yannick Bidel à l'ONERA, consacrés au développement d'un gravimètre à atomes froids permettant de réaliser des mesures depuis un bateau ou un avion. Cet instrument est basé sur la mesure d'accélération d'un gaz d'atomes froids en chute libre par une technique d'interférométrie atomique. Contrairement aux gravimètres embarquables classiques, cette technologie quantique permet de fournir des mesures absolues et procure ainsi un avantage considérable pour des campagnes gravimétriques où les calibrations régulières nécessaires aux capteurs classiques imposent des contraintes importantes.

En 2006 au début de l'activité de recherche de Yannick Bidel à l'ONERA, il y avait uniquement des expériences de laboratoire de gravimétrie atomique. Son activité de recherche a porté sur les développements permettant d'utiliser cet instrument sur un porteur mobile. Le travail a porté sur la miniaturisation, la fiabilisation et la tenue en environnement du capteur avec entre autre le développement de systèmes lasers fibrés, l'étude d'un interféromètre atomique utilisant les oscillations de Bloch et des travaux sur l'hybridation avec des capteurs classiques. Grâce à ces développements, un prototype de gravimètre a été réalisé et testé avec succès sur bateau et avion, démontrant des précisions de mesure meilleures que les capteurs classiques. Fort de cette expérience, le projet de recherche vise à développer d'autres capteurs inertiels à atomes froids (accéléromètre, gyromètre) et ainsi de réaliser une centrale inertielle atomique.

Sophie FABRE

HDR soutenue le 2 novembre 2020

Université Toulouse III - Paul Sabatier

Spécialité : Sciences de l'Univers, de l'Environnement et de l'Espace

**Analyse de la biodiversité végétale par télédétection optique :
Contribution à la caractérisation de l'impact anthropique**

Composition du jury

Agnès BÉGUÉ

Fabienne BATTAGLIA-BRUNET

Isabelle LAFFONT-SCHWOB

Véronique CARRÈRE

Kamel SOUDANI

Jérôme VIERS

Xavier BRIOTTET

CIRAD

BRGM

Aix-Marseille Université

Université de Nantes

Université Paris-Sud

Université Toulouse III

ONERA



**Université
de Toulouse**



Résumé

Le suivi de la végétation est essentiel non seulement pour l'analyse des changements environnementaux, mais également pour la surveillance de l'environnement dégradé par des activités anthropiques. Parmi les effets du stress environnemental sur la biodiversité et les répercussions des activités anthropiques sur la végétation, des changements souvent irréversibles de la composition des espèces (disparition ou apparition de nouvelles espèces), de leur assemblage et de leur distribution spatiale sont observés. L'identification des espèces, leur cartographie et leur suivi constituent donc une source d'information majeure pour la caractérisation et le suivi d'un habitat dégradé, pollué ou réhabilité. L'état de santé de la végétation, relié aux attributs du sol (par exemples : type, humidité, matière organique) et à la présence potentielle de dépôts minéraux ou de contaminants sous-jacents, reflète la qualité de son environnement de développement. La caractérisation des traits des plantes (biochimiques, morphologiques, phénotypiques ou phénologiques...) altérés est donc essentielle pour analyser de manière indirecte la dégradation ou la pollution du sol par télédétection.

L'objectif des travaux de recherche présentés est la caractérisation de la végétation et son suivi par l'exploitation de l'imagerie optique multimodale. L'identification de l'espèce et son état de santé sont alors considérés comme des indicateurs d'une activité anthropique. Un habitat dégradé, pollué ou réhabilité végétalisé est alors étudié d'une part par l'exploitation de la cartographie des espèces et d'autre part, par l'estimation des traits des espèces impactées pour les relier au niveau de contamination du sol. Le suivi global de la réponse de la végétation au sol est ensuite assuré par l'analyse de la variation de ces indicateurs. Un autre paramètre d'intérêt étudié est l'humidité de surface, paramètre important pour de nombreuses applications (hydrologie, remédiation,...) et influant sur la répartition des espèces et la caractérisation de la contamination du sol par télédétection, qui sera intégré dans les perspectives de recherche. Les milieux dégradés, pollués ou réhabilités étant des paysages variés avec des types de végétation spécifiques à chaque milieu, divers habitats sont étudiés : forêts, milieux urbain et humide, friche industrielle et borbiers tropicaux contaminés par des hydrocarbures pétroliers, ancien site de traitement de minerais,... Cette diversité assure l'étude de milieux de complexités différentes, chacun avec des défis scientifiques nouveaux à relever. La démarche scientifique élaborée, l'intérêt des travaux réalisés, les avancées obtenues et un bilan incluant les collaborations avec les laboratoires externes et les thèses associées ainsi que les perspectives à court terme sont présentés pour chaque paramètre d'intérêt étudié : l'estimation de l'humidité de surface, la cartographie des espèces (avec délimitation des couronnes au préalable), la caractérisation de la contamination par les effets indirects sur la végétation.

La dernière partie est consacrée aux perspectives de recherche pour les mois et les années à venir qui concernent la caractérisation des effets anthropiques sur un habitat dégradé, pollué ou réhabilité et son suivi au moyen de la télédétection.

Mohamed BELHAJ

HDR soutenue le 3 novembre 2020
Université Toulouse III - Paul Sabatier

**Emission électronique sous une irradiation
par des électrons**

Composition du jury

Christine ROBERT-GOUMET	Institut Pascal, Aubière
Frédéric SAIGNÉ	Institut d'Electronique et des Systèmes, Montpellier
Philippe JONNARD	Laboratoire de Chimie Physique-Matière et Rayonnement, Paris
Éric RIUS	Lab-STICC, Brest
Omar JBARA	Laboratoire d'ingénierie et Sciences des matériaux, Reims
Thierry PAULMIER	ONERA, Toulouse



Université
de Toulouse



Résumé

Mohamed Belhaj présente un aperçu de son parcours de recherche depuis le début de sa thèse "Contribution à l'étude des effets de charge dans les isolants soumis à une irradiation électronique", soutenue en 2001, à aujourd'hui. Après une description succincte de ses travaux de thèse réalisés au LASSI, de son stage postdoctoral effectué à l'IMS et de son activité d'enseignement et de recherche à l'INSAT, il focalise sa présentation sur ses activités de recherche et d'encadrement actuelles à l'ONERA. Ses travaux sont essentiellement dédiés à l'étude des interactions d'électrons de quelques eV à quelques keV avec la matière. Ces interactions génèrent l'émission d'électrons secondaires arrachés aux atomes de la cible et des électrons rétrodiffusés. Cette émission électronique joue un rôle important et dimensionnant dans plusieurs applications spatiales. On citera en particulier :

- l'effet multipactor, phénomène d'avalanche d'électrons, susceptible de se déclencher dans les composants RF (radiofréquence) d'un satellite ;
- les effets de charge et de décharge électriques sur satellites ;
- la propulsion plasmique et en particulier les moteurs à courant de Hall, utilisés pour le maintien ou la mise à poste des satellites.

- (1) recherche en fusion nucléaire, source d'énergie verte inépuisable et de très forte capacité
- (2) technologie lidar développée pour la mise en place de vols d'avions de ligne en formation

David Tomline MICHEL

HDR soutenue le 20 novembre 2020
Université Paris-Saclay

Implosion de cible sphérique par laser de puissance et LIDAR

Composition du jury

Caterina RICONDA	Sorbonne Université
Alexis CASNER	Centre des lasers intenses et application
Dimitri BATANI	Centre des lasers intenses et application
Jean Marcel RAX	Ecole Polytechnique
Valeri GONCHAROV	Laboratory for Laser Energetics
Vincent MICHAU	ONERA
Philippe NICOLAÏ	Centre des lasers intenses et application

Résumé

La fusion nucléaire, qui représente une importante source d'énergie dans les étoiles, est un processus étudié depuis plus de 70 ans afin d'obtenir un moyen de forte production d'énergie sur terre, non polluant et peu radiatif. La fusion par confinement inertiel par laser consiste à faire imploser une cible sphérique contenant du deutériumtritium (DT) cryogénique afin d'engendrer, en fin de compression, des processus de fusion qui génèrent de l'énergie. L'accélération de la cible est obtenue par ablation des couches externes de l'ablateur (transformées très rapidement en plasma) par laser, ce qui engendre une accélération des couches internes par effet fusée. Pour obtenir une énergie générée supérieure à l'énergie utilisée, le DT doit être porté à une température de l'ordre de 300 millions de degrés et une densité de l'ordre de 300 fois la densité du solide. Pour cela, des lasers nanoseconde de plus en plus énergétiques ont été construits comme le laser OMEGA (30 kJ) au Laboratory for Laser Energetics (LLE), le National Ignition Facility (1,8 MJ) à Livermore ou le Laser MegaJoule (objectif 1,8 MJ) en France.

Dans cette soutenance d'HDR, David Tomline Michel présente différents travaux qu'il a pu mener au LLE portant sur différents aspects de la fusion inertielle par laser en attaque directe. Il discute notamment des instabilités laser plasma, du développement du diagnostic d'ombroscopie par émission propre de la cible permettant de sonder les propriétés hydrodynamiques de la cible pendant l'implosion, de la validation expérimentale des modèles hydrodynamiques utilisés au LLE, de l'optimisation du couplage hydrodynamique en modifiant l'ablateur et enfin de la mesure et de la réduction des non-uniformités hautes fréquences et basses fréquences de la coquille qui se développent pendant l'implosion.

Depuis 2018, il a rejoint l'ONERA et changé son domaine de recherche en passant aux lidars vent fibrés. Il décrit une étude à laquelle il a participé et dans laquelle a été construit un lidar pour localiser des vortex depuis un avion. Ce lidar devrait permettre, à terme, de réaliser des vols en formation (similaire à la formation en V des oiseaux) où l'avion suiveur pose son aile sur le vortex créé par l'avion leader afin d'augmenter son efficacité aérodynamique.

Fabrice DEMOURANT

HDR soutenue le 16 décembre 2020
Université Toulouse III - Paul Sabatier

Identification, commande et analyse dans le domaine fréquentiel : Application à des systèmes de grande dimension

Composition du jury

Alireza KARIMI	Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
Mohammed M'SAAD	ENSI de Caen
Edouard LAROCHE	Université de Strasbourg
Gérard SCORLETTI	Ecole Centrale Lyon
Valérie BUDINGER	ISAE-SUPAERO
Patrick DANES	Université Paul Sabatier
Philippe CHEVREL	IMT Atlantique Ecole Mines-Telecom
Pierre APKARIAN	ONERA



Université
de Toulouse



Résumé

L'approche fréquentielle est la représentation essentiellement utilisée et mise en œuvre durant l'activité de recherche de Fabrice Demourant à l'ONERA. C'est une approche structurante et unificatrice dans le domaine de l'identification, de la commande et de l'analyse.

L'approche fréquentielle a été mise en œuvre dans le cadre de l'identification au travers d'une technique basée sur les sous-espaces. Celle-ci permet de gérer facilement le compromis précision/complexité du modèle identifié en fonction de la finesse du maillage et du domaine fréquentiel considéré. *In fine* on obtient un modèle identifié associé à une erreur d'identification qui peut être facilement exploitée par la commande ou l'analyse.

La partie synthèse de lois s'appuie essentiellement sur des critères fréquentsiels du type H_2/H_∞ . Il s'agit de pondérer directement les transferts en boucle fermée afin d'obtenir un compensateur satisfaisant. Cette mise en forme du problème de commande où l'on contraint explicitement la boucle fermée et éventuellement la structure du compensateur simplifie significativement la méthodologie, réduit fortement les itérations entre l'analyse et la commande et permet de prendre en compte efficacement, par exemple, des critères de robustesse comme l'erreur d'identification fréquentielle obtenue lors de l'identification.

Enfin la partie analyse repose sur une approche du type IQC où la formulation originelle apparaît comme un critère synthétique en fonction de la fréquence. Cette représentation permet finalement de boucler la boucle, où de la modélisation à l'analyse en passant par la commande, la représentation en fréquence est la représentation unique utilisée à toutes les étapes.

Les différentes approches sont illustrées au travers de nombreuses applications qui concernent la modélisation et le contrôle d'avions civils de grande taille, l'analyse en boucle fermée d'avions d'arme, en passant par la modélisation et le contrôle des écoulements.

Thierry NUNS

HDR soutenue le 17 décembre 2020
Université Toulouse III - Paul Sabatier

**Effet des radiations de l'environnement spatial sur la
dégradation des photo-détecteurs et des imageurs**

Composition du jury

Guilhem ALMUNEAU	LAAS - CNRS, Toulouse
Patrick AUSTIN	LAAS - CNRS, Toulouse
Jérôme BOCH	IES, Montpellier
Philippe CHRISTOL	IES, Montpellier
Karine COULIÉ	IM2NP - CNRS, Marseille
Laurent DUSSEAU	CSU, Montpellier



Université
de Toulouse



Résumé

Cette présentation d'Habilitation à Diriger les Recherches se focalise sur les travaux menés sur l'effet des radiations sur l'optoélectronique depuis une quinzaine d'années à l'ONERA, et en particulier les photo-détecteurs. La finalité de ces études réside dans l'utilisation de ces composants pour des missions spatiales, pour lesquelles l'environnement est riche en particules énergétiques dommageables pour l'électronique. Après un résumé du contexte et de mon parcours de recherche, nous aborderons les effets d'ionisation et verrons qu'il apparait des domaines d'applications spécifiques qui peuvent poser des problèmes par rapport aux normes de qualification en vigueur. Nous présenterons ensuite des études liées aux effets des déplacements atomiques dans les monocristaux. Nous évoquerons des recherches spécifiques liées à l'évaluation d'une dégradation moyenne dans les mono-détecteurs, aux variations statistiques dans les matrices d'imageurs et au Random Telegraph Signal. La présentation se termine par une revue des thèmes de recherche en perspective.

Thèses en cours au 1^{er} janvier 2021

Matériaux et Structures

ARMANNI Thibaut - Conception d'alliages de titane pour applications aéronautiques hautes températures

AUDOUARD Lisa - Conception et caractérisation de matériaux ultra haute température à gradient de propriétés

BEN FEKIH Achraf - Influence de la nocivité des défauts initiaux sur le comportement en fatigue de matériaux composites thermoplastiques

BERTON Jordan - Effet de la vitesse de sollicitation sur les mécanismes du comportement irréversible de composites à matrice organique

BRARD Nathan - Céramiques nanocomposites pour fenêtres aérospatiales

BREYTON Grégoire - Structure et dynamique de nanoparticules bimétalliques dans un environnement réel

BROT Grégoire - Caractérisation accélérée de la fatigue à grand nombre de cycles de pièces en FA par thermographie infrarouge à détection synchrone et par fatigue gigacyclique

CADIOU Bastien - Protection de structures soumises à des sollicitations dynamiques à l'aide d'un absorbeur non-linéaire

CARRE Etienne - Opto-Électronique MID-IR à base de Phosphore noir

CHAIBI Salim - Préviation des dommages induits par petits chocs au sein de matériaux composites stratifiés de plis unidirectionnels de quatrième génération

CHEBIL Gwenaëlle - Optimisation d'alliages Al pour la fabrication additive LBM

CHIROUF Abdelhalim - Modélisation des transformations de phase diffusives par changement d'échelle depuis l'échelle mésoscopique

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

DEBARRE Antoine - Les composites oxyde/oxyde en conditions extrêmes

DEVO William - Study and Characterization of Contact, Friction, Heating and Abrasion Phenomena for metallic and Organic Matrix Composite Materials

EON Luis - Modélisation multi-physique de la propagation d'une fissure courte dans des matériaux ductiles

ERBI Matteo - Propriétés structurales de nanoparticules HEA sous contraintes

FOUGEROUSE Claire - Caractérisation et modélisation de l'endommagement dans les composites stratifiés à matrice thermoplastique avec prise en compte des défauts initiaux

FOURRIER Guillaume - Modèle mésoscopique de prévision de l'évolution de l'endommagement de matériaux tissés sains et en présence de défauts

FROELIGER Thibaut - Etude de l'élaboration par fabrication additive d'alliages à base de cobalt à durcissement structural

GORON Mathieu - Impacts hydrodynamiques obliques sur mer formée

HAMADOUCHE Inès - Etude de la durée de vie d'une barrière environnementale sur composite à matrice céramique sous sollicitations multi-physiques

KAROUI Zakia - Description de la fissuration dans les composites avec les méthodes Phase-Field

KERGOSIEN Nina - Instrumentation à cœur de structures composites pour le contrôle santé (SHM - Structural Health Monitoring)

LABOULFIE Clément - Gestion de incertitudes pour l'identification des lois de comportement composites

LAMMENS Bastien - Caractérisation de la décohésion dynamique des matériaux composites CMO

LE MESTRE Robin - Détermination numérique et expérimentale des masses, raideurs et amortissements ajoutés par les fluides internes et externes à un dirigeable

LENGLET Manon - Modèle d'endommagement de fatigue en lien avec la microstructure d'un superalliage base nickel

MAGAND Dimitri - Réponse forcée vibratoire de l'OGV d'un moteur aéronautique UHBR en présence d'ingestion de vortex

MAJNONI d'INTIGNANO Xavier - Fatigue-corrosion de l'acier 316L issu de fabrication additive

MARCOT Quentin - Essai dynamique innovant à double hétérogénéité mécanique et thermique pour l'identification de lois de comportement de matériaux par méthode inverse

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

MONTES ALVIS Andrea - Effet de la vitesse et la température sur le comportement en compression des composites à matrice organique

MOREIRA DA SILVA Cora - Développer une stratégie de synthèse des catalyseurs métalliques pour la croissance sélective de nanotubes de carbone

NICOL Matthieu - Compréhension et modélisation de l'influence de la séquence d'empilement sur le scénario d'endommagement dans un composite stratifié de plis unidirectionnels

NUTTE Maxime - Modélisation de la fatigue d'assemblages métalliques par une approche locale

OMBRET Nicolas - Prévision du flottement des soufflantes UHBR en présence de non-linéarités de liaison en pied d'aube

PATTI Stacy - Prévision de la durée de vie de pièces en composite stratifiés d'unidirectionnels en utilisant un modèle d'endommagement incrémental à variables observables

PECHEUX Alexandre - Réduction passive de charges aéroélastiques à l'aide d'un absorbeur de vibrations non-linéaire

PECORIELLO Luca - Apport de la thermographie infrarouge pour la caractérisation et la compréhension du comportement dynamique des composites tissés 3D

ROUX Sébastien - Etude par spectroscopies de luminescence et d'absorption des propriétés optiques d'hétérostructures de matériaux 2D

SALSI Camille - Etude expérimentale et modélisation thermocinétique de la diffusion dans les alliages métalliques

SAVINE Florent - Développement d'une stratégie d'optimisation pour les structures raidies composites

STRAGIOTTI Enrico - Conception de structures composites architecturées par optimisation des composants élémentaires

TAILPIED Laure - Synthèse par CVD d'hétérostructures à base de feuillets de graphène et de nitrure de bore aux propriétés optimisées pour dispositifs

THOBY Jean-David - Conception d'un essai innovant pour la caractérisation de comportements matériaux anisotropes en dynamique ultra-rapide par la Méthode des Champs Virtuels

TIXADOU Etienne - Optimisation du comportement aéro-élastique de pales d'hélicoptère innovantes

VERTONGHEN Lander - Développement d'une stratégie de conception optimale de pièces aéronautiques composites

VINEL Adrien - Caractérisation thermomécanique du comportement dynamique des métaux via mesures de champs ultra-rapides

VOREUX Olivier - Modélisation de la propagation de fissure en fatigue par une approche locale de la rupture

ZAID Maël - Etude, modélisation et simulation de la fissuration en mode I + II de pièces de boîte de vitesse d'hélicoptères à gradient de propriété, en fatigue de roulement

Mécanique des Fluides et Energétique

AGUILAR Boris - Etude expérimentale et modélisation numérique des phénomènes d'accrétion de particules de neige à l'origine de la formation d'accrétions sur des structures aéronautiques ou de génie civil.

AIRIAU Magdeleine - Analyse d'images expérimentales par apprentissage profond pour la caractérisation de la combustion de l'aluminium en propulsion solide

ALARY Thomas - Etude de l'impact de gouttes surfondues sur une paroi

ANDRE Alexis - Modélisation de la formation-oxydation des suies dans les foyers aéronautiques haute-pression

ARNOULT Thomas - Contrôle réactif d'écoulements par réseaux de MEMS innovants et réduction de modèle ou machine learning : augmentation des performances et réduction de l'empreinte écologique et nuisances des systèmes de transport

AVERSENG Mathias - Modélisation et simulation aux grandes échelles de l'atomisation assistée

BARADEL Baptiste - Micro-anémométrie pour l'aérodynamique : développement et application à la mesure de la turbulence

BARRELLON VERNAY Rafaël - Détermination des mécanismes de nucléation associées aux émissions aéronautiques et leurs liens avec la composition des carburants

BERHOUNI Ilyès - Développement d'une méthode d'analyse basée sur l'exergie pour des écoulements complexes.

BERNIGAUD Pierre - Modélisation de la combustion des matériaux énergétiques nouvelle génération

BERTHIER Antoine - Impact des biocarburants dans les émissions des moteurs

BOLLE Tobias - Simulation and Spatial Stability Analysis of the Wandering of Wing Tip Vortices

BOUCHARD Michel - Simulations ZDES des écoulements transitionnels au sein d'étages de turbomachines

BOURLET Aymeric - Modélisation et simulation de décharge électrique dans les statoréacteurs

BUSZYK Martin - Optimisation aéro-acoustique de traitements passifs d'aubages pour la réduction du bruit d'interaction d'une soufflante de turboréacteur

BYRDE Lorenzo - Etude expérimentale et numérique de la combustion d'un monergol vert ionique en vue d'un dimensionnement de moteur orbital

CARRICART Maialen - Modélisation et simulation numérique de la réponse en combustion d'un propergol solide

CASADEI Loris - Modèle d'impédance temporel large bande pour les codes d'aéroacoustique numérique : application à la propagation du bruit de choc dans les entrées d'air de nacelles traitées

CHANTEUX Xavier - Extension au régime hypersonique de la méthode des paraboles pour la prévision de la transition laminaire-turbulent dans le code elsA

CHMIELARSKI Vivien - Simulation of the Aircraft Jet/Wake Interaction and its Impact on Contrail Formation Using RANS and RANS/LES Hybrid Approaches

COLOMBIE Arthur - Amélioration de la prévision du refroidissement par impact à l'aide d'un modèle de turbulence anisotrope

CORIA Guillaume - Modélisation et simulation de l'interaction entre un écoulement et une paroi ablatable : application à la rentrée atmosphérique hypersonique

CRUZ MARQUEZ Rolando - Dynamics and Control of Trailing Vortices, a Coupled Water Towing Tank Experimental and Numerical Approach

DECKER Thomas - Agglomération de l'aluminium dans les propergols solides : étude des phénomènes physiques associés par simulation et mesures d'ombroscopie

DELACROIX Bastien - Modélisation du ruissellement sur paroi tournante

DERHILLE Elvina - Etude expérimentale et numérique du contrôle des écoulements sur le pont d'envol d'une frégate

DRYSDALE Catherine - Stability and Sensitivity Analysis of Bi Stable Turbulent Flows: The Case of Slender Body at High Angle of Attack

DUBOIS Pierre - Analyse et reconstruction d'un écoulement urbain pour la navigation de petits drones en milieu non-homogène

DUCAFFY Félix - Etude expérimentale de l'influence de la rugosité de surface sur la transition laminaire/turbulent d'une couche limite en écoulement incompressible

DUFAU Antoine - Transition instationnaire dans les turbines basse-pression

DUFITUMUKIZA Jean-Pierre - Développement des techniques optiques pour la caractérisation in-situ de la suie dans des foyers de combustion à haute pression

FERREIRA SABINO Diogo - Harmonic Balance Approach for Unsteady Data-assimilation in Aeroelasticity

FOURNIS Camille - Méthode d'extraction des coefficients aérodynamiques basée sur le vecteur de Lamb

FRAGGE Béatrice - Allumage d'une chambre de combustion par retournement temporel micro-onde

FRANÇOIS Laurent - Modélisation et simulations multiphysiques dans les moteurs à propergol solide

GALIVEL Simon - Physique des écoulements de culot aux hautes vitesses

GARCIA Sébastien - Caractérisation des sprays denses par imagerie laser

GIEHLER Julian - Characterization of shock wave/boundary layer interaction control by perforated plates

GLASER Christopher Karl - Design of an upper stage Hybrid Rocket Engine for orbital deployment of various payloads in various orbits

GRANGER Florian - Modélisation de l'atomisation primaire d'oxygène liquide dans les flammes diphasiques des moteurs-fusées à ergols liquides.

HARRY Rémi - Modélisation des transferts thermiques sur paroi givrée par méthode intégrale 3D

HURET Thomas - Wind tunnel simulations of environmental turbulent shear flows and atmospheric-like turbulent boundary layers

JAROSLAWSKI Thomas - Etude des mécanismes de transition de la couche limite sur les micro-drones en environnement urbain

KANTHARAJU Jahnavi - Contrôle expérimental du mélange dans les jets axisymétriques turbulents

KIROV Nikolay - Simulation numérique de l'écoulement air-huile dans une enceinte moteur

KITZINGER Euryale - Stabilité et contrôle de couches limites sur des profils en oscillation forcée

KLEIN Jean-Michel - Simulation de la combustion turbulente à haut Karlovitz pour les statoréacteurs

LAFONT Victor - Etude expérimentale et modélisation multiphysique d'un liner aéroacoustique soumis à des gradients thermiques

LANTELME Melissa - Aero-Thermo-Dynamics modelling for Reusable Launch Vehicles

LAVOIE Pierre - Méthode de frontières immergées pour la modélisation du givrage en vol des aéronefs

LECHNER Valentin - Etude expérimentale des paramètres influençant la stabilisation de la flamme LOx/CH₄ dans un moteur-fusée

LECLER Simon - Préviation du champ de pression instationnaire en régime transsonique pour les lanceurs spatiaux par des méthodes innovantes

LEFEVRE Laurianne - Evaluation expérimentale des interactions aérodynamiques rotor/hélice

LOUSTAU Marie - Analyse du comportement et de l'atomisation d'un film eau/huile en présence d'un cisaillement gazeux

LUGRIN Mathieu - Etude de l'interaction visqueuse avec décollement en régime hypersonique

MAILLARD Martin - Développement de nouvelles sources laser pour l'allumage et le rallumage en altitude de turboréacteurs

MANGIN Bruno - Modélisation de la propagation de sources acoustiques en milieu confiné complexe

MARCHENAY Yann - Modélisation de la turbulence en présence de rugosité et de soufflage en régime hypersonique

MILU-VAIDSEGAN Sebastian - Etude de l'interaction flamme/paroi : influence de la multiperforation sur les émissions polluantes

MONTSARRAT Christophe - Modélisation de l'effet du jeu radial de sommet de roue mobile sur les performances aérodynamiques d'un compresseur

MORIN Valentin - Effets de l'injection d'eau sur la réduction des niveaux de bruit des jets en interaction dans le cadre lanceur.

MOUFID Ilyes - Identification par méthode inverse en régime temporel de l'impédance acoustique de parois

NIBOUREL Pierre - Contrôle de la transition à la turbulence d'une couche limite supersonique

PALANQUE Valérian - Design Of Resonant ElectroMechanical delcing System

PARIS Romain - Réduction de modèle et contrôle des écoulements par deep learning

PAYSANT Romain - Prédiction de l'impact thermique des gaz d'échappement moteurs d'hélicoptères (phénoménologie, modélisation numérique et validation expérimentale)

PELLETIER Guillaume - Etude numérique d'un foyer à combustion supersonique ; calculs RANS et LES, comparaison aux résultats expérimentaux

PERRON Nicolas - Modélisation de la dégradation thermo-structurale des débris spatiaux durant la rentrée atmosphérique

POULAIN Arthur - Optimization of a control device to trigger laminar / turbulent transition in hypersonic boundary layers

QUERO GRANADO Elena - Développement d'un modèle 1,5D de chambre de combustion d'un moteur hybride pour une application système

RANNOU Clémence - Méthodologie pour la modélisation du contrôle actif d'écoulement dans un compresseur axial

REYNAUD Jolan - Etude de méthodes de prévision des interactions de jet pour les arrière-corps de lanceurs spatiaux

RIVEIRO MORENO Carmen - Interaction of shock waves with compliant walls

ROUSSEAU Lola - Etude expérimentale et modélisation du comportement d'un brouillard de carburant à haute température : influence des interactions inter-gouttes sur son évaporation

ROUVIERE Adrien - Amélioration des modèles de tolérance de surface pour les couches limites laminaires en s'appuyant sur des outils d'intelligence artificielle

SAULGEOT Pierre - Evolution des traînées de condensation en interaction avec le sillage de l'avion

SCHOULER Marc - Modélisation des écoulements en régime hypersonique raréfié par approche probabiliste : application aux satellites à très basse orbite

SOLORZANO Hector - Etude des écoulements sur une entrée d'air de moteur à ingestion de couche limite pour un avion commercial

STORCK Guillaume - Modélisation des instabilités de combustion de haute fréquence dans les moteurs-fusées cryogéniques en conditions d'injection subcritique

STUCK Maxime - Ablation d'un matériau de protection thermique en régime de transition laminaire-turbulent

TAGUEMA Ludovic - Prise en compte de la transition laminaire-turbulent dans des simulations ordre élevé d'aéronefs. Implémentation dans le code CODA

TORRENTE PARDO - Physical Understanding & Advanced Numerical Simulation of the Helicopter "Tail-shake" Phenomenon

UNCU Fatih - Modélisations numériques des cavités en turbine avec une approche (U)RANS

URIEN Nicolas - Etude de stabilité des sillages de rugosités en hypersonique par une approche PSE tridimensionnelle

VAQUERO Jaime - Simulations avancées de décollements turbulents au voisinage des parois des véhicules aéronautiques

VAUCHEL Nicolas - Sensibilité et robustesse du comportement des aéronefs au voisinage et au delà du décrochage aux modèles de représentation

VERVYNCK Arthur - Hybrid prediction of flows around airfoils through data assimilation

Physique

ABOU AMDAN Loubnan - Du champ proche des nanoantennes au champ lointain des métasurfaces infrarouges

AL HAJJ SLEIMAN Eva - Détermination des marges opérationnelles relatives aux phénomènes multipactor pour des composants radiofréquences en présence de champ magnétique et de diélectriques pour la fusion nucléaire contrôlée et le spatial

ANDRAUD Vincent - Etude expérimentale du déplacement de l'arc électrique lors d'un foudroiement d'aéronef

AROUNASSALAME Vignesh - Nouvelles architectures de détecteurs infrarouges "super-réseaux" pour l'infrarouge lointain

ASTRUC Séverin - Développement et validation d'un micro-capteur pour la mesure de poussée de propulseurs plasmiques

BANCEL Eve-Line - Peignes multi-fréquences femtosecondes dans les fibres optiques multi-cœurs ou multimodes pour la spectroscopie et la métrologie de précision

BARRACHINA José Augustin - Complex Deep Neural Networks for RADAR Applications

BEAUMONT Bastien - Etude d'un amplificateur laser de forte puissance en fibre dopée holmium

BELFIO Julie - Optimisation de la morphologie de surfaces métalliques par voies électrochimiques pour le contrôle de l'émission électronique secondaire

BEN ZAID Abdessamad - Effets des irradiations de haute énergie sur le comportement électrique des matériaux et systèmes embarqués en environnement spatial

BERNARD Jeanne - Développement d'une centrale inertielle hybride à atomes froids

BERNOUX Guillaume - Utilisation de l'imagerie solaire pour la prédiction de l'état des ceintures de radiations terrestres

BERTHOME Quentin - Source paramétrique infrarouge agile en longueur d'onde pour la détection à distance de substances chimiques

BONI Federico - Développement de micro-capteurs pour la mesure de performances de propulseurs électriques

BRULON Cyprien - Conversion électromagnétique – thermique dans les dispositifs nanophotoniques

CALASSOU Gabriel - Télédétection par imagerie hyperspectrale pour la cartographie des émissions de particules d'aérosols dans l'atmosphère

CERBELAUD Arnaud - Utilisation des données satellites en appui à la validation de modèles de ruissellement intense

CHAMBOULEYRON Vincent - Optimisation de senseurs de front d'onde à filtrage de Fourier pour les systèmes d'OA à haute performance

CHATILLON Pierrick - Contraintes physiques pour les réseaux antagonistes génératifs : application à la synthèse de fonds nuageux

CHATZITHEODORIDI Maria-Elisavet - Optimisation de formes d'onde pour imagerie radar par code de Phase

CHEN Antoine - Confinement Laser 3D assisté par optique adaptative en milieu perturbé : application à l'imagerie et la chirurgie rétinienne

CHERAL Alann - Optimisation robuste sous incertitudes du choix de bandes spectrales pour la détection d'anomalies

CHEVALIER Pier-Henri - Développement de l'imagerie LIF sur l'aluminium pour la caractérisation de flammes de propergols solides aluminisés

CHU Audrey - Photodétecteur à base de nanocristaux colloïdaux pour l'infrarouge

COLLAS Antoine - Classification robuste non-supervisée pour les séries temporelles d'images SAR

CONSTANS Yohann - Fusion de données hyperspectrales et panchromatique étendue au domaine infrarouge thermique

COSTA Carla - Étude du vieillissement des cellules solaires à base de perovskites dans les environnements spatiaux: mécanisme de dégradation des absorbeurs et optimisation des dispositifs

CRANNY Ronan - Etude d'une méthode volumes finis et d'un modèle de fils minces obliques pour des applications de Compatibilité Electromagnétiques.

CUSSAC Gaëtan - Etude et modélisation des mécanismes de dégradation aux températures cryogéniques des propriétés électriques des circuits de lecture de détecteur infrarouge

DAUPHIN Maxence - Absorption infrarouge par processus à deux photons dans les semi-conducteurs

DEBARY Hiyam - Imagerie depuis l'espace par interférométrie optique

DEHAN Guillaume - Modélisation des décharges Corona sur les structures métalliques élevées

DELULLIER Pierre - Etude et texturation 3D de lames optiques par laser femtoseconde pour des applications infrarouges

DELUZET Matthieu - Cartographie des espèces d'une forêt par fusion de données optiques multimodales

DEVELTER Pierre - Nouveaux traitements radar robustes aux erreurs de modèle : cas des cibles dites « hors grille »

DHUICQUE Océane - Analyse des données de la mission spatiale MICROSCOPE et de ses performances au niveau du femto-g.

DOZ Cyprien - Partitionnement Spectral pour la Classification non supervisée pour les applications d'imagerie radar

DUPIAU Alice - Modélisation de la réflectance des sols dans le domaine solaire en fonction de leur teneur en eau

DUQUESNOY Maxime - Capteur de gaz à base de laser à cascade quantique et d'un détecteur photo-acoustique

DUVEAU Louis - Application des optiques freeforms pour l'imagerie multispectrale

ECOFFET David - Caractérisation et modélisation de l'ionosphère aux hautes latitudes pour la propagation des ondes électromagnétiques

FABAS Alice - Nanostructures métalliques à faible pertes pour la conception de composants optiques haute performance infrarouge et térahertz

FRISON Luc - Caractérisation et modélisation de la propagation dans la troposphère aux hautes latitudes pour systèmes satcom bandes Ka à W

GAUBERT Thierry - Suivi des caractéristiques fonctionnelles des espèces de forêts denses tempérées pour de futures missions hyperspectrales satellitaires

GERARD Julien - Sélection et reconnaissance de drones par Deep Learning

GERGES Nadine - Structuration de lames en silicium pour des spectromètres imageurs compacts dédiés au sondage atmosphérique

GIAKOUMAKIS Georges - Imagerie de phase en rayons X haute résolution pour le contrôle non destructif dynamique de matériaux composite

GIBARU Quentin - Modèle de transport d'électrons basse énergie pour les diélectriques en application spatiale

GIMENEZ Rollin - Exploitation de données optiques hyperspectrales et multispectrales multitemporelles pour la cartographie des espèces végétales suivant leur sensibilité aux hydrocarbures

GOREE Joris - Métrologie de la réponse spatiale de détecteurs infrarouge refroidis au moyen de systèmes de projection cryogéniques

GUENIN Maxence - Amélioration de la stabilité temporelle de la qualité image des détecteurs infrarouge matriciels

GUREGHIAN Clément - Etude et réalisation de photodétecteurs nanostructurés pour l'infrarouge

HAMPERL Jonas - Analyse des performances et optimisation de plusieurs systèmes LIDAR DIAL pour la mesure des gaz à effet de serre CO₂ et CH₄, et de la vapeur d'eau

HERBETTE Quentin - Gain des antennes et réflectivité des cibles en ondes de surface

HUDELEY Lucas - Nouveau concept de gyromètre/gyroscope vibrant

HUSSON Xavier - Modélisation temporelle du fouillis forestier Radar

JONQUIERE Hugo - Etude de la déflectométrie appliquée à la métrologie de surfaces optiques free-form ou de grande taille

KE Zibo - Prototypes d'Analyseur de Surface d'onde Laser pour ELT

KHALILI LAZARJANI Adrien - Photodétecteurs à base de nanocristaux colloïdaux pour l'infrarouge

KLOTZ Emile - Reconfiguration dynamique d'un réseau de stations sol optique assistée par machine learning

KOURDOURLI Mehdi - Développement et validation d'une méthode de contrôle de front d'onde à très haut contraste pour la détection d'exoplanètes avec la mission spatiale WFIRST

KRAFFT Léa - Sonder la rétine humaine par Imagerie plein champ confocale

LAGINJA Iva - Cophasage de télescopes spatiaux et terrestre pour l'imagerie à hauts contrastes

LAHYANI Julien - Lidar 2 μ m à source hybride fibré/solide pour la télédétection du CO₂ atmosphérique

LANGEVIN Denis - Manipulation de la lumière avec des nanostructures désordonnées sur des grandes surfaces

LE MIRE Valentin - Modélisation de la propagation Terre-Espace en bande Ka dans les zones tropicales et équatoriales

LETHEULE Nathan - Segmentation d'images optiques de télédétection par apprentissage profond pour la simulation SAR

LEVILLAYER Maxime - Développement et caractérisation de cellule solaire tri-jonction à fort rendement en environnement spatial

LEVRAUD Nicolas - Toward the Ultimate Wave-Front-Sensor for High Contrast Imaging : Application to Large Binocular and European Extremely large Telescopes

LIN Elodie - Microscopie par Diffusion Raman Anti-Stokes Cohérente (CARS) en régime hybride femto-picoseconde pour la caractérisation de nano-matériaux

LOGNONE Perrine - Optical and digital communication strategies for the optimization of high capacity ground-GEO telecoms

MALESYS Vincent - Capteurs de gaz à base de graphène

MARULANDA ACOSTA Valentina - Continuous-variable quantum key distribution through atmospheric turbulence : securing the future space-ground optical links

MATTHIA Tomasz - Effets non linéaires dans les métamatériaux multi-résonants à hétérostructures quantiques

MAUC Charles - Développement d'un micro magnétomètre vibrant exploitant un résonateur MEMS et des couches minces magnétiques

MAYEUR Thibaut - Approche holistique pour la conception d'une caméra infrarouge à vision fovéale

MIRAGLIO Thomas - Suivi de la résilience du patrimoine arboré méditerranéen par télédétection hyperspectrale

MONNIN Loanne - Etude de l'expansion d'un plasma de décharge à la surface des panneaux solaires de satellites

MONTALBAN Karl - Perception de véhicules autonomes en conditions environnementales de faible visibilité

MORLANS Margot - Architectures de gyromètres vibrants

NESME Nicolas - Imagerie spectrale satellitaire pour l'observation des émissions anthropiques de gaz atmosphérique à haute résolution spatiale

NICOLLE Lucas - Modélisation multi-échelle du couplage électrostatique entre un propulseur plasma et les sous-systèmes d'un satellite tout-électrique

PACHOUD Eve - Utilisation des schémas AP pour la modélisation des plasmas hors équilibres et thermiques : application aux décharges streamer et aux arcs

PAGES-MOUNIC Jeanne - Conception et optimisation de sources primaires d'antennes reconfigurables de type réseau transmetteur pour les applications aérospatiales

PANNETIER Cyril - Interférométrie stellaire à N bras en présence de perturbations

PATINO William - LIDAR fibré à mini-peigne de fréquence pour des applications de spectroscopie atmosphérique et de caractérisation de surfaces

PAULIEN Lucas - Etude de la faisabilité d'un système μ LIDAR courte-portée pour l'analyse d'agrégats de suies issus de foyers aéronautiques

PEYSSON Quentin - Modélisation 3D des conditions de déclenchement de décharges électrostatiques dans les composants spatiaux HF

PHAM Ba-Huy - Detection and localization of hidden targets in urban environment

PINIARD Matthieu - Contrôle en ligne du processus de fabrication additive par imagerie optique

PINSON Maxime - Étude de la réponse temporelle d'un moniteur de radiation en environnement spatial comme méthode d'identification des particules mises en jeu

PORTO HERNANDEZ Jean Carlos - Modélisation cinétique 3D d'un plasma magnétisé in un propulseur plasma ECR avancé

RINALDI Luca - Compensation des effets de la turbulence atmosphérique sur les liens optiques par optique intégrée

RODRIGUEZ ROBLES Pablo - Optique Adaptative pour les liens Télécoms sol-satellite : modélisation, optimisation et expérimentation

ROMERO ARRIETA Daniel Alejandro - Emetteur-récepteur optique cohérent de 100Gbps pour les environnements de communication point à point sol-espace : conception, validation numérique et évaluation expérimentale

ROUZE Bastien - Métrologie de surfaces d'ondes morcelées

ROZEL Milan - MIMOPO - Apport de la polarimétrie au concept de radar MIMO colocalisé pour la détection et l'identification des drones

SUQUET Etienne - Prédiction temps-réel du canal de propagation pour liaisons entre satellites et passerelles des systèmes satcom VHTS utilisant les bandes Ka, Q/V et W

THOREAU Romain - Détection des surfaces imperméables par méthode d'apprentissage profond

VERLHAC Clément - Etude multi physique de nanoobjets et métamatériaux

VIALA Erwan - Augmentation de la résolution spatiale d'imageurs laser 3D par méthode de compressive sensing

VILLAMIZAR François - Métasurface à faible densité pour antenne à balayage

VOLATIER Jean-Baptiste - Surfaces optiques freeform paramétrées optimales

VU Phan Viet Hoa - Statistical learning for Earth deformation monitoring with satellite InSAR

YAN Alix - Reconstruction d'images multi-temporelles à haute résolution angulaire dans le visible. Application à l'observation astronomique et l'observation de satellites

YILMAZ Dijwar - Durcissement de matériaux polymères à l'environnement spatial

Simulation Numérique Avancée

AWAD Albert - Développement d'une méthode de calcul d'écoulements mixtes continus raréfiés pour les jets ionisés de moteur fusée

BARAY Matthias - Approches tensorielles pour la résolution haute performance des équations de Maxwell harmoniques

BASILE Francesca - HP Adaptation with DG Methods Applied to Aircraft Configurations

BENMOUHOUH Farah - Calcul haute performance, haute précision

BONNET Luc - Certification robuste d'un design aérodynamique par des inégalités de concentration de mesures

COELHO Ludovic - Modélisation et quantification des incertitudes sur une structure composite pour une optimisation aéroélastique robuste

CONSTANT Benjamin - Extension d'une méthode de frontières immergées pour la simulation des écoulements instationnaires autour de géométries complexes

DELVILLE-ATCHEKZAI Roxane - Nouvelle méthode de détection de défauts par contrôle non-destructif utilisant les courants de Foucault

DOSNE Cyril - Développement et mise en œuvre d'une approche adjointe pour la méthode body-force au sein des optimisations couplée aéro-propulsives

DOTSE Kokou - Création de maillages pour optimiser les performances de solveurs haute-précision pour la résolution d'équations aux dérivées partielles

EDEL Philip - Utilisation de bases réduites pour diminuer les coûts de calcul multi-fréquence en électromagnétisme

FER Valentin - Caractérisation de phénomènes propres aux turbomachines via des outils de stabilité globale performants

FLAMENT Théo - Reduced order model of nonlinear structures for turbomachinery aeroelasticity

GARCIA BAUTISTA Javier - High-order Discontinuous Galerkin LES for Aeroacoustic Analysis of Turbulent Jets

GELAIN Matteo - Caractérisation aérothermique d'un échangeur surfacique (SACOC) intégré en veine secondaire

GUILBERT Niels - Amélioration de l'inversion de grand systèmes creux pour la simulation numérique en mécanique des fluides

JADOUI Mehdi - Efficient Monolithic Solution Algorithms for High-Fidelity Aerostructural Analysis and Optimization. Application to Gradient-Enhanced Kriging based Aerodynamic Shape Optimization in High-Dimension.

MARCHAL Thomas - Extension de l'approche Différence Spectrale à la combustion

MAUPOUX Axel - Modélisation fluide des essaims de drones

MESSAI Nadir-Alexandre - Méthodes d'éléments finis frontières auto-adaptatives pour la simulation de grandes scènes en propagation d'ondes

NGUYEN Tuan Dung - Développement d'une méthode numérique multiéchelles pour les plasmas atmosphériques et application au contrôle d'écoulements

POULIQUEN Maxime - Impacts hautes et basses vitesses et tenue résiduelle des structures composites

RUDEL Clément - Décomposition d'opérateurs pour la propagation d'ondes

SEIZE Pierre - Méthodologies permettant l'obtention efficace de solutions multi-physiques stationnaires pour des applications en énergétique

SIRDEY Margot - Méthode de type Trefftz pour la simulation de la propagation électromagnétique à haute fréquence

SUSS Alexandre - Couplage des méthodes Navier-Stokes et Lattice Boltzmann pour les simulations aérodynamique instationnaires

TETELIN Arthur - Développement de méthodes numériques pour la robustesse et l'efficacité des simulations multifluides instationnaires en maillages non structurés dynamiques

VEILLEUX Adèle - Conception et validation d'une méthodes multi-éléments pour les différences finies spectrales

Traitement de l'Information et Systèmes

AIELLO Ombeline - Validation anticipée de conceptions de systèmes par une approche d'ingénierie conjointe basée modèles et optimisation

ARDIANI Fabio - Contribution à la robotique collaborative avec l'homme pour l'industrie 4.0

AUBE Antoine - Exigences pour le DevOps en environnements de type informatique en nuage

BECK Thomas - Exécution parallèle à haut niveau d'intégrité sur des architecture multi-cœurs / Linux en environnement spatial

BERTHELIN Gaspard - Towards a Fully Uncoupled Multidisciplinary Optimization Formulation Based on Surrogate Modelling and Uncertainty Propagation: Application to Conceptual Aircraft Design

BERTIN Etienne - Contrôle optimal robuste aux incertitudes pour le guidage de véhicules autonomes

BLANCHARD Camille - Méthodologie et outils formels d'analyse éthique de scénarios : application aux réflexions sur des futurs possibles de l'aviation

BONNET Emmanuelle - Décodage des signaux physiologiques du sentiment de contrôle

BUAT Benjamin - Conception conjointe d'une caméra 3D par illumination structurée pour l'inspection de surface

CASTILLO NAVARRO Javiera - Semi-supervised Semantic Segmentation for Large-scale Automated Cartography

CHAHBAZIAN Clément - Nouveaux algorithmes particuliers basés sur des groupes de Lie - application au recalage de navigation inertielle

CHAINE Pierre-Julien - Adéquation des solutions basées TSN aux exigences spatiales

CHAN Anouck - Modélisation d'exigences multidimensionnelles pour la conception simultanée de satellites et d'avions

CHARAYRON Rémy - Co-Conception et optimisation multidisciplinaire aérodynamique-structure-opérations

CHAREYRE Maxime - Évaluation des méthodes d'apprentissage par renforcement profond pour l'exploration robotique

CHARRIER Laurane - Fusion d'images de télédétection multi-capteur/multitemporelles pour la surveillance de glaciers et de glissements de terrain.

CHIANCA Bruno - Méthodes de haute-performances pour le calcul sur éléments mobiles (Internet des Objets/ Drones)

CHIRON Marie - Estimation de probabilité d'évènements rares d'un système complexe paramétrique. Application à l'étude des performances opérationnelles d'un aéronef

CLAVIERE Arthur - Robustesse d'un réseau de neurones

COYLE Brendan - Analyse et optimisation d'une configuration avion de type aile volante équipée d'un turbofan à très fort taux de dilution

DI MARTINO Thomas - Detection of targets under vegetal cover un SAR time-series using deep learning methods

EL MASRI Maxime - Méthodes d'échantillonnage pour la fiabilité de systèmes complexes en grande dimension

ERDMANN Simon - Imagerie de Speckle Dynamique Polarisé

FERRIOL Florian - Développement des algorithmes de navigation adaptative aux indicateurs de changement de contexte et analyse de ses performances et intégrités

GAMOT Juliette - Multidisciplinary Design and Analysis of aerospace concepts including internal layout optimization

GRISON William - Dialogue collaboratif pour l'interprétation distribuée de scènes visuelles

GUERLIN Louis - Fusion de données multi-capteur pour la perception d'environnement appliquée aux ADAS et à la Voiture autonome

GUIBERT Vincent - Identification et commande d'un drone dans des conditions de décrochage

GUINEBERT Iban - Methodology for integrating neural network IP in a chip with safety assurance

HARDOUIN Guillaume - Reconstruction d'environnement à large échelle distribuée pour la navigation robotique

IBENTHAL Julius - Pistage multi-cibles par méthodes ensemblistes non-linéaires

IGLESI Enzo - Navigation et pilotage multimode d'un drone avec fonctionnalités dégradées dues à des défaillances de capteurs ou actionneurs

JUSSIAU William - Synthèse de lois de commande pour le contrôle des écoulements fluides en aéronautique.

KRAIEM Sofiane - Development of Steering Law for On Orbit Servicing Operation

LABRIJI Hanae - Imagerie d'ombre des satellites en orbite haute

LE GUILLOU Marin - Explanation of the Artificial Agent: Exploring the content and format of human interaction with AI.

LECHAT Alexis - Apprentissage incrémental pour les systèmes de question-réponse visuels

LENCZNER Gaston - Réseaux de neurones interactifs pour l'analyse de scènes acquises par drones

LEPAROUX Clara - Contrôle optimal sous incertitudes pour l'atterrissage d'un premier étage de lanceur réutilisable

LEROY Rémy - Deep Neural Networks for 3D Prediction in the Wild

LIABOEUF Romain - Modélisation et conception de lois de pilotage hors du domaine de vol

MANIER Antoine - Compréhension sémantique de scènes tridimensionnelles pour l'accompagnement de la maintenance en milieu ferroviaire

MARCHAND Mathieu - Méthodes d'apprentissage et de déclenchement événementiel pour la coordination de flottes d'agents autonomes pour une mission de surveillance

MASCARENAS GONZALEZ Alfonso - Predictable Real-time Systems with Multi-core Implementations

METGE Adrien - Opérateur et systèmes intelligents : se comprendre pour décider. Application à la supervision de drones dotés d'autonomie décisionnelle.

MILOT Antoine - Algorithmes et architecture pour le contrôle de l'exploration d'une zone par une flotte de sous-marins autonomes.

MOHAMED EL KADI Hatem - Résolution décentralisée de conflits aériens par méthodes IA

NDIAYE Amath Waly - Lois de commande avancées pour un système de freinage d'avion civil

PAGLIARI Marine - Intelligence artificielle et transparence : prédictibilité, sentiment de contrôle et confiance

PALLADINO Vincenzo - Multifidelity Design Process Applied to a Hybrid Electric Regional Aircraft

PALMIER Camille - Nouvelles approches de fusion multi-capteurs par filtrage particulière pour le recalage de navigation inertielle d'un sous-marin

PELEGRIN Nicolas - Interaction tactile et haptique pour l'assistance au pilotage

PEYRAS Quentin - Etude théorique et pratique de fragments de la logique temporelle linéaire du premier ordre pour la spécification et la vérification formelles

PLANAS-ANDRES David - Architecture, handling qualities and control laws of a distributed propulsion electric aircraft

PRIETO AGUILAR Gemma - Prédiction et amélioration des qualités de vol hélicoptères pilotés par mini-manches

QUINTON Félix - Planification de missions pour les systèmes multi-robot

RAKOTOMALALA Lucien - Preuve formelle en calcul réseau

RESTREPO-OCHOA Esteban - Coordination multi-objective de systèmes multi-drones dans des environnements dynamiques

RINEAU Anne-Laure - Etude des relations entre intégration visuo-vestibulaire et agentivité dans la perception du mouvement propre

SANCHEZ Rémi - A study of confidence during human-human and human-machine interactions

SAPORITO Marco - Robust Analysis and Optimisation Process for Virtual Flight Simulation of Very-flexible Aircraft

SAVES Paul - High dimensional multidisciplinary design optimization for aircraft design

SQUILLACI Samuel - Optimisation de plans de mission pour une constellation de satellites d'observation

STANCZAK Marvin - Validation et optimisation des designs de charges utiles des satellites de télécommunication

STEINER Kelly - Etude des relations entre théorie de l'agentivité et théorie de l'information intégrée : Application à la supervision des systèmes automatisés

THAI Sovanna - Advanced Anti-windup Flight Control Algorithms for Fast Time-varying Aerospace Systems

THOMAS Mathieu - Indices visuels, mouvement et pilotage. Caractérisation et enrichissement du support informationnel pour la conception d'aides au contrôle du vol d'hélicoptère

VANTREPOTTE Quentin - Agentivité et technologie : Vers des systèmes agentifs

VAUDAUX-RUTH Guillaume - Deep Reinforcement Learning et Deep Learning : Application au bouclage perception commande sur camera contrôlable

VENTURINO Antonello - Estimation d'état distribuée sous contraintes pour une mission de surveillance multi-capteurs multi-robots

VEYRIE Alexandre - Effet du stress sur les contributions visuelles et vestibulaires du pilotage à basse hauteur

VIDELIER Vincent - Modélisation multiphysique et dynamique au profit de la conception préliminaire d'aéronefs hybrides à voilures tournantes et fixes

VIOT Nicolas - Cadre unifié pour le contrôle de drone et le déploiement interactif de comportement automatique dans un contexte UTM

WANG Zhengyi - Structuration adaptative de trafics drones aériens : concept U-Space ou UTM

ZANINOTTI Marion - Navigation and guidance strategy online planning and execution for Autonomous UAV

Post-doctorats en cours au 1^{er} janvier 2021

Matériaux et Structures

BARBOT Armand - Modélisation multi-échelle de la plasticité à l'aide d'algorithmes d'intelligence artificielle

BAYARD Marine - Méthodes numériques pour la simulation multi-physiques de composants aéronautiques

FRONT Alexis - Modélisation atomistique d'alliages métalliques magnétiques : du massif au nano

GARCIA RODRIGUEZ Santiago - Effet des défauts de fabrication des stratifiés composites obtenus par procédé AFP

Mécanique des Fluides et Energétique

ACHER Gwenaël - Mise en œuvre de capteurs MEMS pour le contrôle d'écoulements aérodynamiques

CHARTON Virgile - Simulation mixte du plasma issu de jet moteur en haute atmosphère

HOARAU Jean-Christophe - Transport de la densité d'aire interfaciale pour la simulation des écoulements diphasiques dans les moteurs-fusées à ergols liquides

ZAUNER Markus - Data-Assimilation of Low-Frequency Transonic Buffet Modelled with Time Spectral Method

Physique

BALBOA Hector - Méthodes et outils multi-échelles de résolution du transport de radiation de l'environnement spatial pour la recherche de pire-cas de charge interne

BEDOYA VELASQUEZ Andrés Esteban - Development of Bayesian Inverse Algorithms for the Retrieval of Aerosol Lidar Products

DREHER Thibaud - Kinetic Simulation of Plasma Expansion in a Magnetic Nozzle in Quasi-Neutral Plasma Thrusters

GUIONIE Marie - Sources laser à spectre étroit dans la gamme 8-12 μm pour la détection de gaz à distance

QUIBUS Laurent - Characterization and Simulation of the Tropospheric Propagation Channel at Ka and Q/V Bands Using Physical Deterministic Models

ROJO Mathias - Méthodes et outils multi-échelles de résolution de la contamination moléculaire dans le contexte de propulsion électrique des satellites

Simulation Numérique Avancée

CHRYSOKEANTIS Georgios - WMLES dans un contexte de frontières immergées

REMAN Bernard - Development of a Numerical Model of Dielectric Barrier Discharges (DBDs) in a Water-Gas Environment

Traitement de l'Information et Systèmes

BARNE Louise - Decoding Cognition

BOUVET Cécile - Nouvelles avioniques de cockpit d'hélicoptère et mitigation des risques liés à l'automatisation

DROUET Vincent - Conception multidisciplinaire en présence d'incertitudes en grande dimension

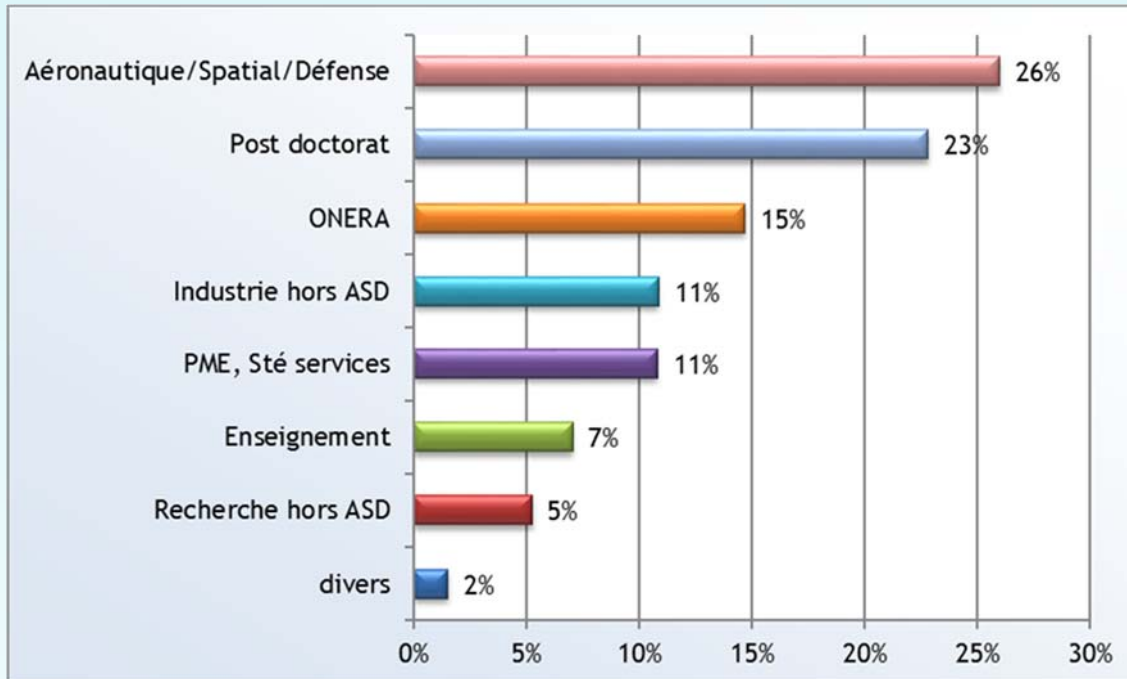
EDORH Prince - Planification de trajectoires pour le guidage de lanceurs réutilisables

FERRERA Maxime - Localisation robuste de piéton en intérieur par fusion visio-inertielle

LOPEZ-LOPERA Andrés Felipe - Design of Experiments and Surrogate Models for Aerodynamic Data

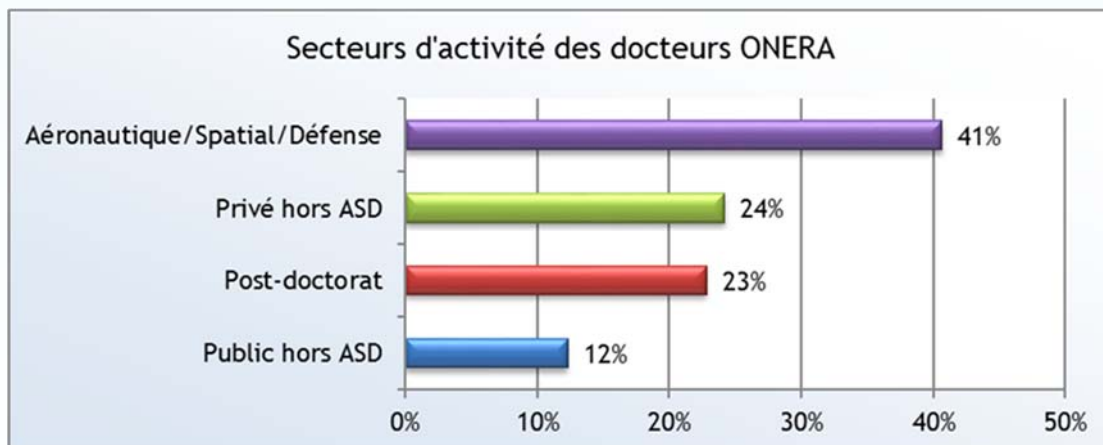
VILCHIS MEDINA José Luis - Enhancement of Decisional and Dependability Methods for Underwater Robots

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 1470 docteurs ayant soutenu leur thèse depuis 2000

ALUMNI ONERA

L'ALUMNI ONERA est une association qui a pour objectif d'établir un réseau professionnel entre ses membres, lesquels ont tous en commun d'avoir effectué leur thèse de doctorat ou un contrat de post-doctorat à l'ONERA.

Elle vise principalement :

- à favoriser les échanges à caractère professionnel entre ses membres ;
- à promouvoir la formation doctorale et post-doctorale de l'ONERA ;
- à entretenir le dialogue entre ses membres et l'ONERA.

Pour en savoir plus : <https://w3.onera.fr/alumni/>



L'ONERA intervient en amont des grands programmes
d'aéronautique, d'espace et de défense.

Avions

Hélicoptères

Propulsion des aéronefs

Transport spatial

Systèmes orbitaux

Missiles

Drones

Systèmes de défense

Sécurité



ONERA - BP 80100 - 91123 PALAISEAU CEDEX - Tél. : +33 1 80 38 60 60

www.onera.fr