

Préparer le futur

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

2021

Chiffres-clé 2021

2123	collaborateurs
1304	ingénieurs et cadres
113	habilités à diriger des recherches
350	doctorants
23	post-doctorants
272	stagiaires
71	thèses de doctorat soutenues
11	habilitations à diriger des recherches soutenues

Doctorat, le nouveau césame



Cette édition 2021 de présentation des thèses de doctorat menées à l'ONERA illustre encore une fois le dynamisme et la fécondité de nos jeunes chercheurs. C'est ici 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 les confinements, 71 thèses ont été soutenues cette année. Un certain nombre de contrats doctoraux ont pu être 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 : 50 % des 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 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.

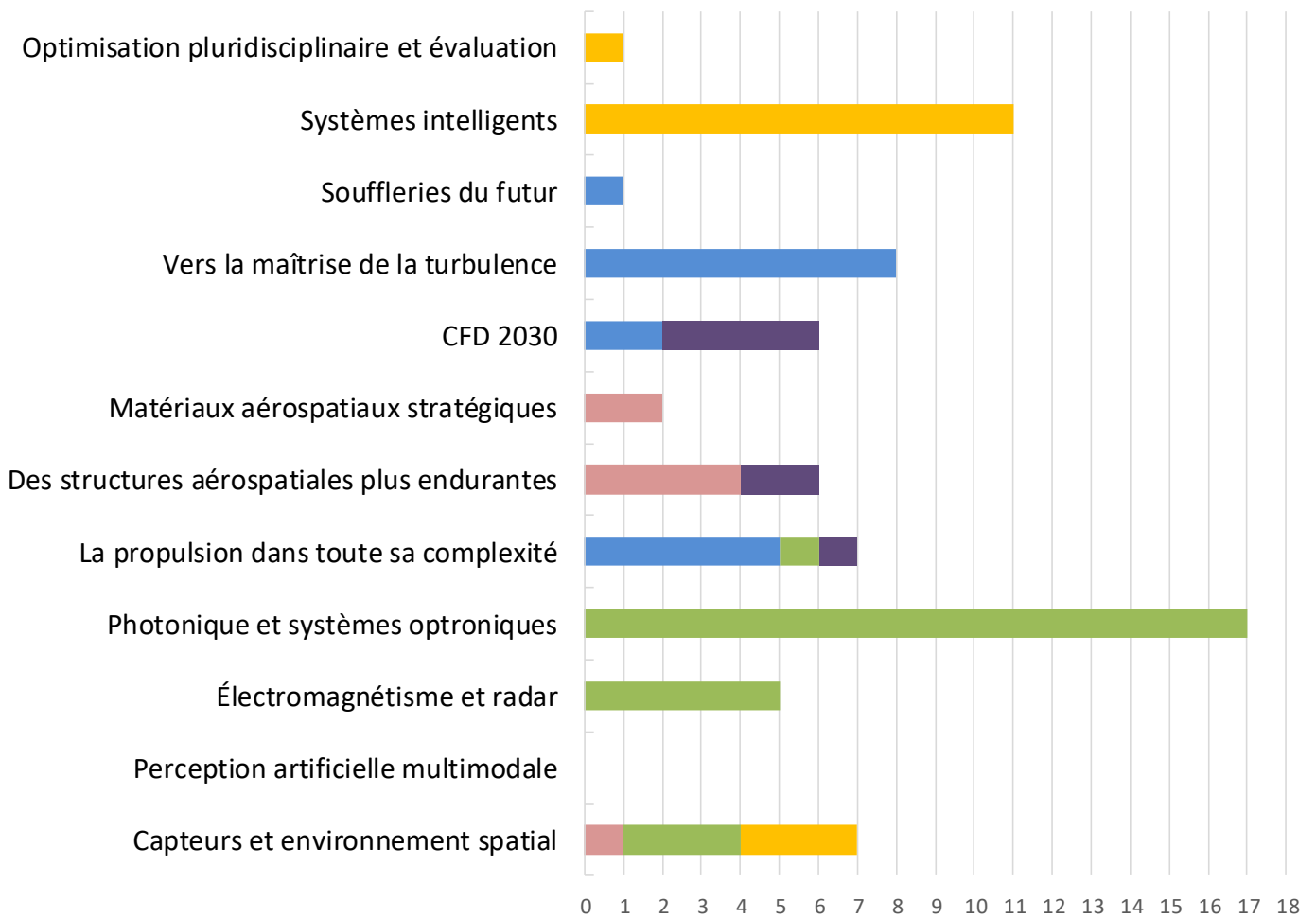
Pour chaque thèse et HDR, un contact ONERA a été indiqué, n'hésitez pas à échanger avec lui, pour obtenir plus d'information ou une publication, voire entamer une collaboration !

Riad Haidar

Directeur scientifique général

Les thèses 2021 par domaines (couleurs) et par défis scientifiques

- Matériaux et structures
- Mécanique des fluides et énergétique
- Physique
- Simulation numérique avancée
- Traitement de l'information et systèmes



La formation par la recherche à l'ONERA



Les thèses de doctorat ont lieu dans l'environnement de recherche des départements scientifiques de l'ONERA. Nos doctorants sont toujours encadrés sur place d'au moins un personnel ONERA spécialiste de la thématique de la thèse.

Un directeur de thèse, universitaire ou ONERA, titulaire d'une HDR, dirige les travaux.

La thèse, de la proposition initiale du sujet jusqu'à la soutenance en passant par le recrutement du doctorant et le montage du dossier avec les éventuels partenaires, est gérée par la Direction scientifique générale. Chacun des cinq directeurs scientifiques de domaine en supervise le déroulement, notamment à l'occasion des journées des doctorants qui mobilisent chaque année tous nos jeunes chercheurs qui ont leur thèse en cours. Un prix des doctorants distingue, pour chaque domaine scientifique, un doctorant ou une doctorante de troisième année dont les travaux et la présentation sont jugés remarquables.

Des thèses en cohérence avec la stratégie de recherche

La politique scientifique de l'ONERA est définie (et révisée) dans un plan stratégique scientifique pour la période 2015-2025. Ce PSS repose sur douze défis scientifiques qui sont en adéquation avec les contrats d'objectifs et performances (COP) successifs. La mention de ces défis rappelle donc la place de chaque thèse dans la stratégie de recherche de l'ONERA.

Cristina Rotaru
Chargée de mission
Formation par la recherche

SOMMAIRE

Le mot du directeur scientifique général	5
La formation par la recherche à l'ONERA	7
THÈSES DE DOCTORAT	9
MATÉRIAUX ET STRUCTURES	9
MÉCANIQUE DES FLUIDES ET ÉNERGÉTIQUE	24
PHYSIQUE	58
SIMULATION NUMÉRIQUE AVANCÉE	112
TRAITEMENT DE L'INFORMATION ET SYSTÈMES	128
HABILITATIONS À DIRIGER DES RECHERCHES	161
POST-DOCTORATS	184
Les ALUMNI	186

THÈSES DE DOCTORAT

soutenues en 2021

MATÉRIAUX ET STRUCTURES

domaine scientifique

défi 6 - Matériaux aérospatiaux stratégiques

Antoine DÉBARRE - Comportement mécanique à haute température d'un composite alumine/alumine..... 8

Virginie MATHIVET - Géopolymère en milieu acide : compréhension du processus réactionnel et développement de composites 10

défi 7 - Des structures aérospatiales plus endurantes

Bastien CADIOU - Protection de structures soumises à des sollicitations dynamiques à l'aide d'un absorbeur non-linéaire 12

Tovignon DEVO - Étude et caractérisation de l'usure et l'échauffement des matériaux structuraux aéronautiques en situation d'urgence 14

Juan Pablo MARQUEZ COSTA - Caractérisation et modélisation des interfaces dans les composites organiques stratifiés à haute température : Application à la tenue au feu des structures aéronautiques 16

Louise SÉVIN - Développement de matériaux Ultra-Haute Température : optimisation des propriétés thermomécaniques d'un composite à gradient de propriétés 18

défi 12 - Capteurs et environnement spatial

Cora MOREIRA DA SILVA - Développement d'une stratégie de synthèse de catalyseurs métalliques pour la croissance sélective de nanotubes de carbone 20

Étudier le comportement à haute température de matériaux composites destinés aux nouveaux moteurs aéronautiques

Antoine DÉBARRE

Thèse soutenue le 10 décembre 2021

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

Titre de la thèse

Comportement mécanique à haute température d'un composite alumine/alumine

Encadrement

Département Matériaux et structures (DMAS)

Encadrant : Aurélie Jankowiak - ONERA

Directeur de thèse : Michel Boussuge - Mines ParisTech

Financement

ONERA

Défi scientifique

Matériaux
aérospatiaux
stratégiques

www.onera.fr/pss



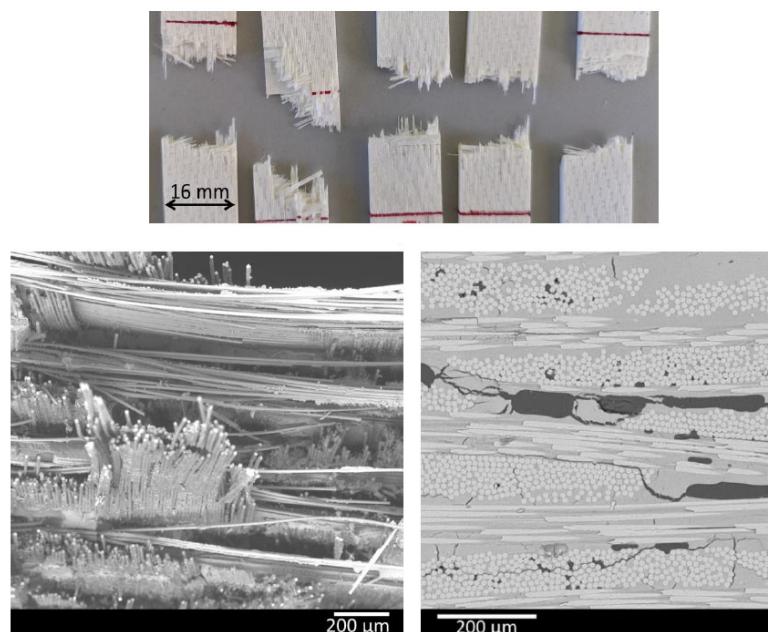
Contact : Aurelie.Jankowiak@onera.fr

Résumé

L'utilisation de composites oxyde/oxyde est envisagée dans la réalisation de moteurs aéronautiques de nouvelle génération. Ces matériaux ont été étudiés à température ambiante et à des températures supérieures à 1100°C.

Dans ce travail, le comportement mécanique du matériau élaboré à l'ONERA a été investigué de l'ambiante jusqu'à 1300 °C. Deux types de comportement très différents, qui se chevauchent à une température d'environ 800 °C, ont pu être distingués grâce à des essais de traction. A basse température, le comportement du matériau est de type élastique-endommageable. Au-delà, un comportement visqueux apparaît progressivement, pouvant conduire à des déformations anélastiques de plusieurs pourcents.

Des essais de flexion réalisés in situ sous MEB ont mis en évidence l'apparition d'un endommagement en traction dès 150 MPa. Le comportement endommageable a été décrit par une loi inspirée de la famille des modèles ODM (*ONERA Damage Model*). Une adaptation de la loi s'est avérée nécessaire pour rendre compte de l'effet de la température. Les paramètres de la loi de comportement en traction ont été identifiés, un calcul par éléments finis des essais de flexion permettant de valider le modèle proposé. L'introduction de la loi d'endommagement dans la théorie des stratifiés (CLT), couramment employée pour l'étude d'empilements complexes de composites, a abouti sur une modélisation de la réponse du matériau en flexion. Enfin, le fluage du matériau a été étudié en traction et en flexion 4 points. Une modélisation du comportement visqueux reposant sur le principe de la CLT a été proposée.



Faciès de rupture d'éprouvettes rompues en traction à température ambiante

Virginie MATHIVET

Thèse soutenue le 26 mars 2021

ED 522 (SI-MMEA) - Sciences et Ingénierie en Matériaux, Mécanique,
Énergétique et Aéronautique - Poitiers

Titre de la thèse

**Géopolymère en milieu acide : compréhension du
processus réactionnel et développement de composites**

Encadrement

Département Matériaux et structures (DMAS)

Encadrants : Michel Parlier - ONERA
Jenny Jouin - IRCER

Directrice de thèse : Sylvie Rossignol - IRCER

Financement

ONERA

Défi scientifique

Matériaux
aérospatiaux
stratégiques

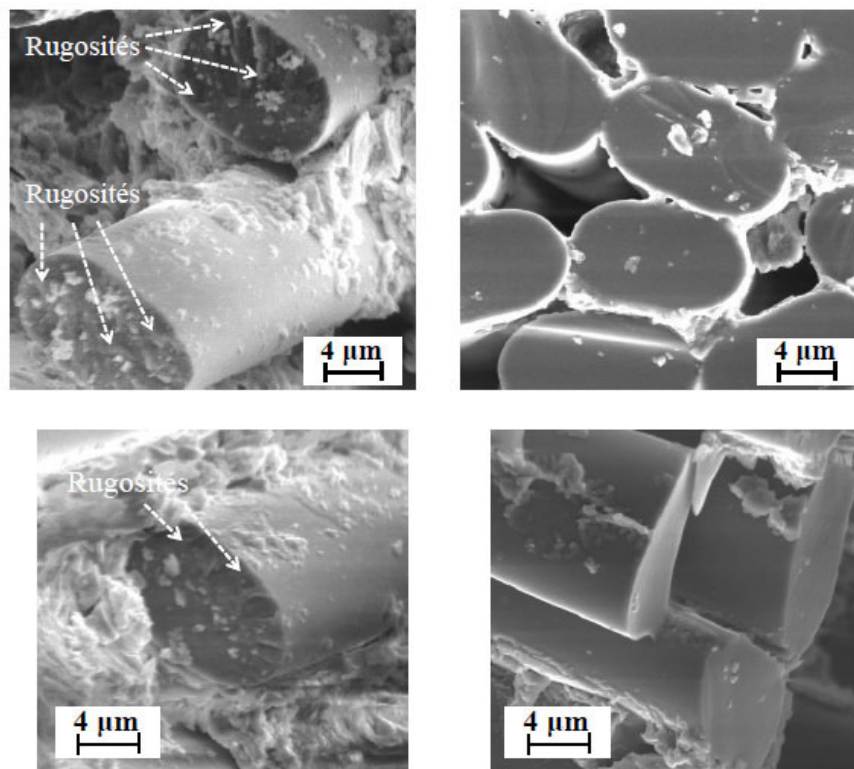
www.onera.fr/pss



Contact : Aurelie.Jankowiak@onera.fr

Résumé

L'objectif de cette thèse a été de développer des composites à matrice géopolymère synthétisée en voie acide ayant des propriétés mécaniques adaptées aux applications aéronautiques et se conservant entre 300 et 1000 °C. Ces matrices sont synthétisées à partir de métakaolin et d'acide orthophosphorique dilué. Afin d'identifier le domaine de stabilité de ces matrices, leurs évolutions structurales lors de la consolidation et en température ont été analysées par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier et à résonance magnétique nucléaire ainsi que par diffraction des rayons X et ont été corrélées aux analyses dilatométriques. La formulation de la matrice ([P], charges d' Al_2O_3) a ensuite été adaptée afin d'obtenir un composite à fibres de basalte aux propriétés mécaniques optimales. Compte tenu des faibles propriétés obtenues, d'autres types de fibres oxydes ont été testées et les paramètres procédés ont été adaptés. Enfin, une fois l'ensemble fibres-matrice-procédé optimal identifié, les propriétés mécaniques du composite ont été caractérisées à plus haute température. La microstructure des composites a été déterminée par microscopie électronique à balayage et leurs propriétés mécaniques par des essais de traction et de cisaillement interlaminaire.



Micrographies MEB de la surface des fibres des composites non traités (à gauche) ou traités à 700 °C (à droite)

Bastien CADIOU

Thèse soutenue le 22 octobre 2021

ED 468 (MEGEP) - Mécanique, Énergétique, Génie civil, Procédés -
Toulouse

Titre de la thèse

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

Encadrement

Département Aérodynamique, aéroélasticité, acoustique (DAAA)

Directeurs de thèse : Guilhem Michon - ISAE
Cyrille Stephan - ONERA

Financement

Agence Innovation Défense (AID) & ONERA

Défi scientifique

Des structures
aérospatiales
plus durantes

www.onera.fr/pss



**AGENCE
INNOVATION
DÉFENSE**



Université
de Toulouse



Contact : Cyrille.Stephan@onera.fr

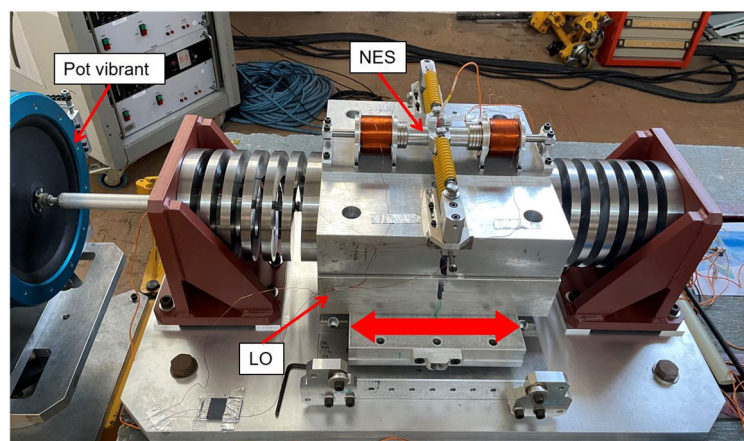
Résumé

Les structures présentent des vibrations lorsqu'elles sont soumises à des excitations qui peuvent endommager et réduire leur durée de vie. Pour protéger ces structures, le contrôle passif, basé sur des absorbeurs de vibrations linéaires, aussi appelés TMD (*Tuned Mass Damper*), est fréquemment utilisé pour réduire le niveau critique de vibration des composants structurels. Le TMD perd son efficacité sur les structures non-linéaires, ayant la fréquence propre qui varie selon la sollicitation dynamique extérieure ou lorsque plusieurs modes de vibrations sont à contrôler.

Dans cette thèse, les absorbeurs de vibrations non-linéaires, appelés NES (*Nonlinear Energy Sink*), sont étudiés. Grâce à leur raideur non-linéaire, un transfert irréversible d'énergie se produit. Ce transfert d'énergie peut se produire pour une large gamme de fréquences et sans besoin que le NES ne soit accordé à une fréquence spécifique. Afin d'obtenir un fonctionnement satisfaisant de l'absorbeur, il est nécessaire d'identifier les bons paramètres de l'absorbeur que sont sa raideur non-linéaire et son amortissement. Malheureusement, lors de la transition de l'analytique à la conception d'un prototype expérimental, il est compliqué d'avoir les bonnes valeurs de paramètres, notamment celui de l'amortissement, car il est très difficile, voire impossible d'ajuster cette valeur précise pour un assemblage mécanique. En conséquence, ce mauvais ajustement peut conduire à une inefficacité de l'absorbeur et à des résultats insatisfaisants.

Pour éviter ce manque de robustesse, l'ajout d'un couplage multiphysique à un absorbeur est étudié afin de créer un coefficient d'amortissement équivalent, d'origine électromagnétomécanique par une interaction bobine-aimant. Cette nouvelle source de dissipation peut être contrôlée et adaptée, permettant d'ajuster le coefficient d'amortissement équivalent de l'absorbeur pour obtenir la meilleure efficacité expérimentalement, identifié préalablement analytiquement.

Cette thèse illustre la conception théorique et la réalisation de ce nouveau type d'absorbeur non-linéaire avec un couplage électromagnétomécanique par la mise en place de règles de dimensionnement et la conception de plusieurs prototypes.



**Concevoir des expériences représentatives
d'atterrissages d'urgence « trains rentrés » pour
caractériser les impacts sur la structure**

Tovignon DEVO

Thèse soutenue le 17 novembre 2021
ED 072 (SPI) - Sciences pour l'Ingénieur - Lille

Titre de la thèse

**Étude et caractérisation de l'usure et l'échauffement des
matériaux structuraux aéronautiques en situation d'urgence.**

Encadrement

Département Matériaux et structures (DMAS)

Directeurs de thèse : Yannick Desplanques - ECL
Éric Deletombe - ONERA

Financement

Région Hauts de France & Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC)

Défi scientifique

Des structures
aérospatiales
plus durantes

www.onera.fr/pss



Contact : Eric.Deletombe@onera.fr

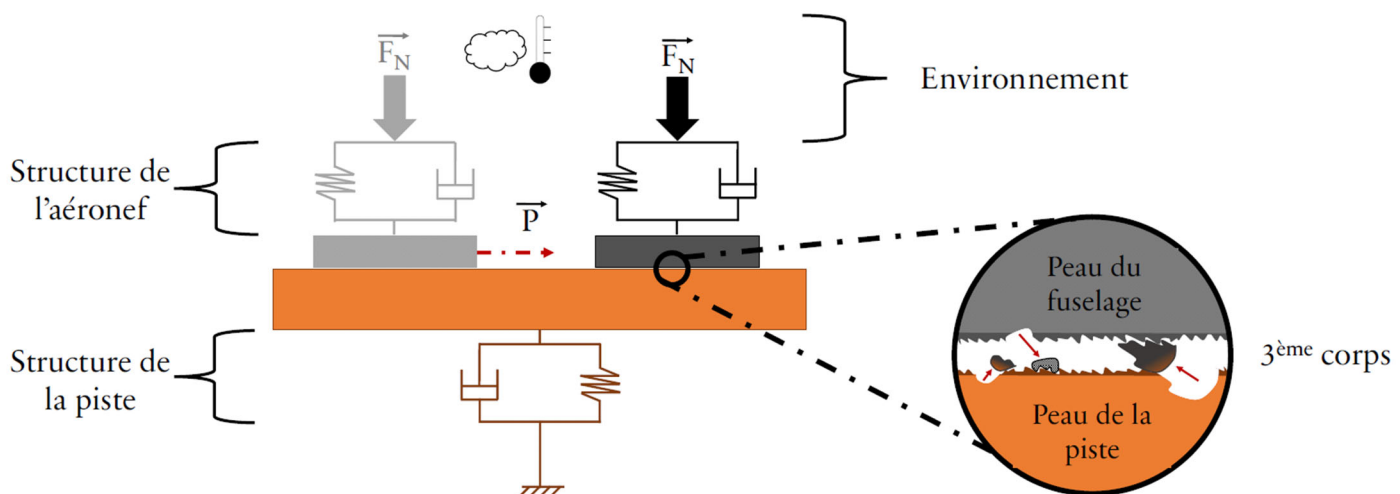
Résumé

Durant les atterrissages d'urgence « trains rentrés », les phénomènes d'usure et d'échauffement qui pilotent le frottement sec aéronef/piste constituent un danger pour les passagers. Il est donc primordial de concevoir des expériences pour étudier et caractériser ces phénomènes. A ce stade des recherches, la solution la plus accessible consiste en des expériences en laboratoire et donc à échelle réduite. Les travaux de recherche ont pour objectif la conception d'expériences tribologiques en laboratoire représentatives des atterrissages « trains rentrés ».

En parallèle de cette conception, les travaux de thèse s'appuient sur un tribomètre existant pour identifier et proposer des méthodes de caractérisation de la physique sous-jacente à l'usure et l'échauffement pour des triplets tribologiques proches du cas réel. En se basant sur des expériences de type patin en béton sur disque rotatif en alliage d'aluminium, il s'est d'abord agi de proposer une méthode d'analyse multi-échelle pour déterminer le processus tribologique dans le cadre de la tribologie à trois corps. S'en est suivi l'étude de l'échauffement du système tribologique avec une attention particulière portée sur la chaleur transmise par le disque à son support.

Enfin, une réflexion a été faite sur le changement d'échelle, à travers une analyse dimensionnelle des scénarios d'usure et d'échauffement proposés.

Les travaux de recherche ont permis de mettre en évidence le rôle protecteur (portance) du troisième corps solide favorisé par la configuration structurale dans certains triplets tribologiques proches du cas réel. Ils permettent également une comparaison des performances de triplets contenant un PRFC à ceux contenant un alliage d'aluminium.



Développer un modèle de prévision de la réponse thermique et mécanique d'une structure composite soumise au feu

Juan Pablo MARQUEZ COSTA

Thèse soutenue le 1er février 2021

ED 522 (SI-MMEA) - Sciences et Ingénierie en Matériaux, Mécanique, Énergétique et Aéronautique - Poitiers

Titre de la thèse

Caractérisation et modélisation des interfaces dans les composites organiques stratifiés à haute température : Application à la tenue au feu des structures aéronautiques

Encadrement

Département Matériaux et structures (DMAS)

Encadrants : Cédric Huchette & Gillian Leplat - ONERA

Directeur de thèse : Damien Halm - Institut PPRIME

Financement

ONERA

Défi scientifique

Des structures
aérospatiales
plus durantes

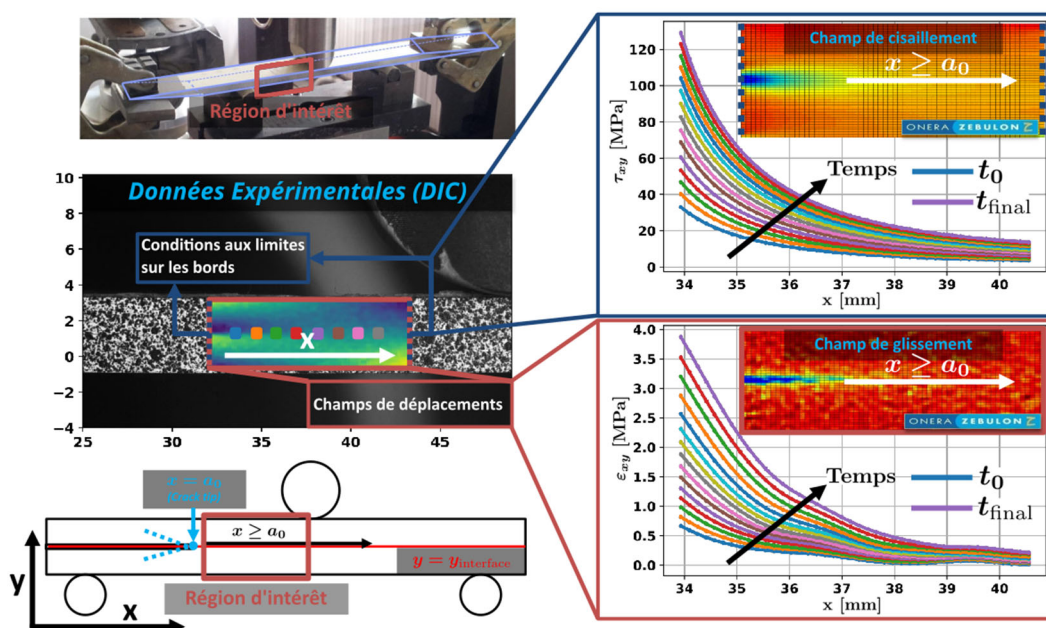
www.onera.fr/pss



Contact : Cedric.Huchette@onera.fr

Résumé

Dans le cadre de la tenue au feu des matériaux composites, il est nécessaire d'évaluer la dégradation de leurs propriétés thermiques et mécaniques due à des pertes de masse, de la fissuration matricielle et/ou des délaminages. Néanmoins, peu d'études dans la littérature sur la tenue en température des composites aéronautiques concernent le comportement mécanique et la rupture des interfaces avant toute dégradation thermique, sujet qui est l'objet principal de ce travail. Ainsi, l'objectif est de proposer un modèle de prévision de rupture concernant tant l'amorçage que la propagation du délaminage pour des chargements thermomécaniques. Ce travail a porté en grande partie sur la caractérisation des propriétés d'interfaces à l'aide d'une analyse d'essais de propagation de fissure en mode II pour des éprouvettes chauffées par effet Joule. Ces analyses numériques montrent que le comportement du pli n'explique pas la réponse macroscopique pseudo-ductile observée expérimentalement. Ainsi, une méthode de dialogue essai-calcul, comparant les champs cinématiques mesurés par corrélation d'images numériques et ceux simulés par éléments finis, souligne l'importance du comportement visqueux à l'échelle de l'interface. C'est par une approche similaire de type FEMU que les paramètres d'une loi de rupture de type cohésif ont été identifiés en température et en tenant compte des différentes sources d'incertitude. Ce travail met en évidence la similitude entre le cisaillement plan et hors plan, tant sur le comportement que sur la rupture. En parallèle, l'analyse d'essais de tenue en température par impact laser a permis d'établir un critère d'amorçage par une approche couplée en contrainte et en énergie. Une confrontation de ce critère aux paramètres de la loi de zone cohésive identifiés précédemment permet de discuter de l'échelle de modélisation de l'interface.



Application de la méthode FEMU pour l'obtention de la réponse mécanique à l'interface

Distinctions

2e prix du meilleur
poster scientifique -
congrès ECERS (2019)

Prix jeune chercheur
CNES (2019)

Louise SEVIN

Thèse soutenue le 11 janvier 2021

ED 037 (SPIM) - Sciences pour l'ingénieur et Microtechniques - Besançon

Titre de la thèse

**Développement de matériaux Ultra-Haute Température :
optimisation des propriétés thermomécaniques d'un
composite à gradient de propriétés**

Encadrement

Département Matériaux et structures (DMAS)

Encadrants : Aurélie Jankowiak - ONERA
Pierre Bertrand - ICB-PMDM

Directrice de thèse : Cécile Langlade - UBFC

Financement

Centre national d'études spatiales (CNES) & ONERA

Défi scientifique

Des structures
aérospatiales
plus durantes

www.onera.fr/pss

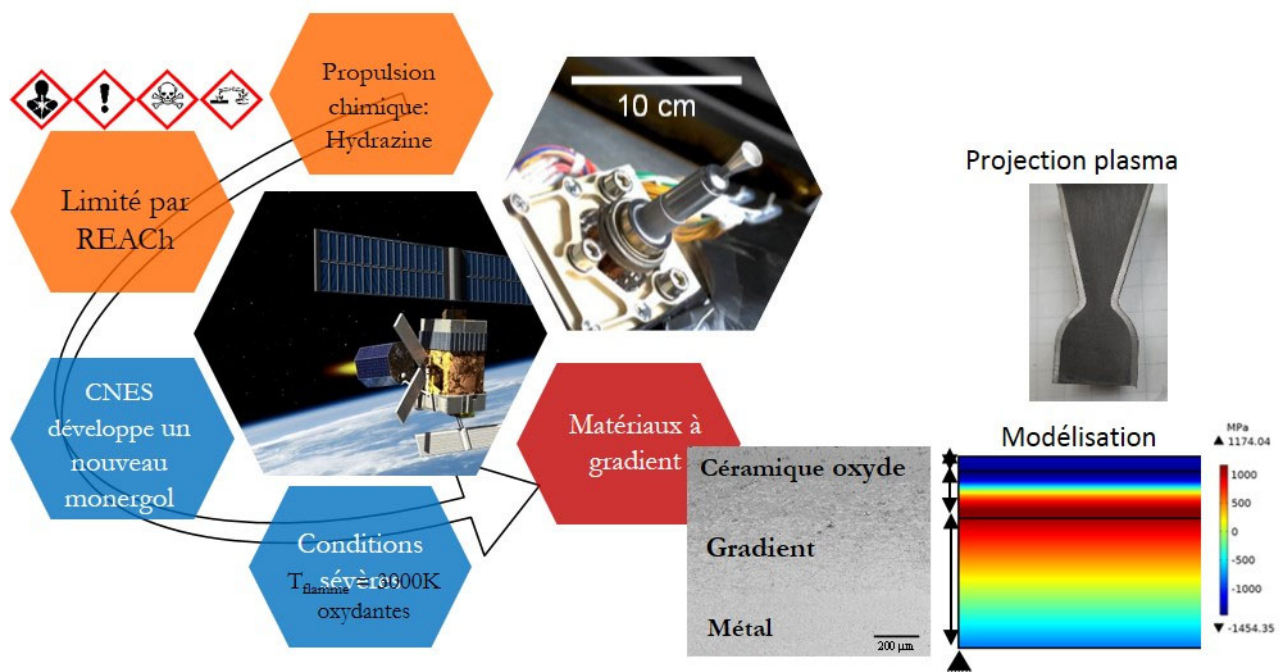


Contact : Aurelie.Jankowiak@onera.fr

Résumé

Le développement d'un nouvel ergol pour la propulsion orbitale, moins toxique et plus performant que l'hydrazine va induire, au sein de la chambre de combustion, une augmentation de la température de flamme (2400°C en paroi) ainsi qu'une ambiance oxydante.

En conséquence, cette thèse a pour objectif de développer une solution matériau capable de résister à ces conditions extrêmes. Elle est fondée sur l'association de deux composés réfractaires au sein d'un Matériau à Gradient de Propriétés (MGP) : une céramique (hafnie stabilisée en phase cubique par des oxydes de terres rares) et un métal. Malgré l'optimisation de la composition de la barrière thermique et environnementale en céramique destinée à protéger la partie structurale métallique, leur différence de coefficient de dilatation thermique reste importante. C'est pourquoi l'utilisation d'une couche intermédiaire à gradient de propriétés est mise en place. À la suite d'une étude de sensibilité numérique des variables de design, une configuration de MGP minimisant les contraintes thermomécaniques a été proposée. La faisabilité de son élaboration par APS a été démontrée avec l'obtention de MGPs non délaminés mais présentant des fissures transverses corrélées à la différence de degré de frittage des matériaux. Finalement, l'identification et la compréhension des mécanismes de dégradation thermomécaniques et chimiques à l'aide de plusieurs bancs d'essai spécifiques permettent de proposer des matériaux alternatifs aux systèmes actuels.



Développement de matériaux à gradient de propriétés pour les moteurs de repositionnement des satellites, modélisation et fabrication de pièces complexes par projection thermique

**Synthétiser des nanoparticules de catalyseurs
métalliques permettant de contrôler les propriétés des
nanotubes de carbone synthétisés par CVD**

Cora MOREIRA DA SILVA

Thèse soutenue le 16 mars 2021

ED 571 (2MIB) - Sciences Chimiques "Molécules, Matériaux,
Instrumentation et Biosystèmes" - Paris Sud

Titre de la thèse

**Développement d'une stratégie de synthèse de catalyseurs
métalliques pour la croissance sélective de nanotubes de
carbone**

Encadrement

Département Matériaux et structures (DMAS)

Encadrants : Armelle Girard - ONERA
Costel Cojocaru - LPICM

Directeurs de thèse : Vincent Huc - ICMMO
Annick Loiseau - CNRS-ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

Capteurs
et environnement
spatial

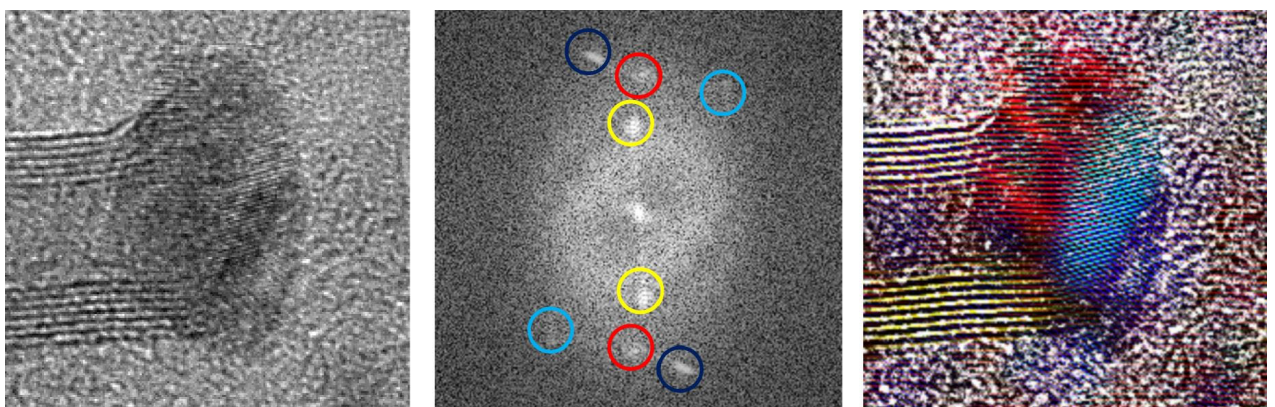
www.onera.fr/pss



Contact : Annick.Loiseau@onera.fr

Résumé

Dans l'ère de la miniaturisation de composants électroniques toujours plus puissants, les nanotubes de carbone (CNTs) sont l'un des matériaux les plus prometteurs. La réalisation de transistors à base de SWCNTs est devenue un réel enjeu scientifique et économique. Malheureusement, les CNTs mono-paroi, essentiels à cette nanotechnologie, peuvent être soit métalliques soit semi-conducteurs en fonction de leur structure atomique et nous ne savons pas encore les sélectionner de façon suffisamment efficace au cours de leur synthèse. De nombreuses équipes de recherche travaillent depuis près de 25 ans dans ce but. La technique de croissance ayant montré la plus grande sélectivité est la CVD (dépôt chimique en phase vapeur) assistée par des nanoparticules jouant le rôle de catalyseurs. En s'appuyant sur des études théoriques démontrant l'importance de la solubilité de carbone au sein des catalyseurs pour une croissance sélective, plusieurs groupes se sont focalisés sur l'utilisation de nanoparticules (NPs) bimétalliques composées d'atomes solubilisant le carbone (Co, Fe, Ni) alliés à des atomes ne le solubilisant pas (Ru, W etc.), pour pouvoir jouer sur la concentration en carbone de ces nano réacteurs au moment de la croissance. Le but de cette thèse est de développer une stratégie de synthèse de nanoparticules métalliques, de taille, de forme et de composition chimique contrôlée, commune à plusieurs systèmes catalytiques, pour pouvoir jouer sur les mécanismes régissant la croissance de CNTs de façon parfaitement maîtrisée. Nous proposons ici une méthode de synthèse colloïdale à température contrôlée, permettant l'obtention de NPs en solution solide, homogènes en volume, de formes, de tailles et de compositions chimiques contrôlées. Cette méthode permet la synthèse de nano-alliages, qu'ils soient bi-, tri-, tétra-, ou même pentamétalliques. L'étude de ces particules par microscopie électronique en transmission nous a permis, de plus, de mettre en évidence la présence d'une force en surface agissant sur les NPs colloïdales et sur leur paramètre de maille. Enfin, nous avons testé ces nouvelles particules en les soumettant à un gaz carboné dans un microscope environnemental (NanoMAX – LPICM et IPCMS - Strasbourg), ce qui a permis de valider la viabilité de notre voie colloïdale pour la synthèse de nanotubes de carbone et avons suivi in situ leur croissance.



Capture vidéo d'une nanoparticule de fer synthétisée par chimie colloïdale pendant la croissance d'un nanotube de carbone multi-paroi à 600°C

THÈSES DE DOCTORAT

soutenues en 2021

MÉCANIQUE DES FLUIDES ET ÉNERGÉTIQUE

domaine scientifique

défi 3 - Soufflerie du futur

Lorenzo LANZILLOTTA - Application de la BOS3D à l'étude des instationnarités de jets chauds et sous-détendus 24

défi 4 - Vers la maîtrise de la turbulence

Tobias BÖLLE - Étude sur le flottement tourbillonnaire 26

Catherine DRYSDALE - Une étude des complexités liées à la dérivation d'équations d'amplitude via des développements faiblement non linéaires d'équations aux dérivées partielles non auto-adjointes 28

Pierre DUBOIS - Utilisation de l'apprentissage automatique en mécanique des fluides pour la réduction, la reconstruction et la prédiction orientée données du champ de vitesse fluctuante d'un écoulement 30

Camille FOURNIS - Préviation et décomposition de la force aérodynamique basée sur le vecteur de Lamb en écoulement compressible visqueux 32

Jahnvi KANTHARAJU - Structures à grande échelle dans le champ proche des jets ronds turbulents 34

Julien LEFIEUX - Étude DNS de la transition déclenchée par rugosité dans les écoulements hypersoniques 36

Yann MARCHENAY - Modélisation de la turbulence en présence de rugosité et de soufflage en régime hypersonique 38

Arnold WAKIM - Contrôle des paires de tourbillons en effet de sol 40

défi 5 - CFD 2030

Vivien CHMIELARSKI - Simulation de l'interaction jet/tourbillon dans le sillage d'un avion et son impact sur la formation des traînées de condensation en utilisant l'approche RANS et l'approche hybride RANS/LES 42

Pierre LAVOIE - Méthode de frontières immergées pour la modélisation du givrage en vol des aéronefs 44

défi 8 - La propulsion dans toute sa complexité

Soraya AMINANE - Mécanismes thermo-oxydatifs et cinétique de dégradation d'un carburant modèle	46
Mathieu LUGRIN - Étude de l'interaction visqueuse avec décollement en régime hypersonique	48
Christophe MONTSARRAT - <i>Tip-leakage flow modelling in axial compressors</i>	50
Romain PAYSANT - Prédiction de l'impact thermique des gaz d'échappement moteurs d'hélicoptères (phénoménologie, modélisation numérique et validation expérimentale)	52
Marc SCHOULER - Modélisation des écoulements en régime hypersonique raréfié : application aux satellites à très basse orbite et aux objets en phase de rentrée atmosphérique	54

Lorenzo LANZILLOTTA

Thèse soutenue le 13 janvier 2021

ED 468 (MEGEP) - Mécanique, Énergétique, Génie civil, Procédés -
Toulouse

Titre de la thèse

**Application de la BOS3D à l'étude des instationnarités
de jets chauds et sous-détendus**

Encadrement

Département Multiphysique pour l'énergétique (DMPE)

Encadrants : David Donjat, Olivier Léon & Frédéric Champagnat - ONERA

Directeur de thèse : Guy Le Besnerais - ONERA

Financement

Région Occitanie & ONERA

Défi scientifique

Souffleries du futur

www.onera.fr/pss



Contact : David.Donjat@onera.fr

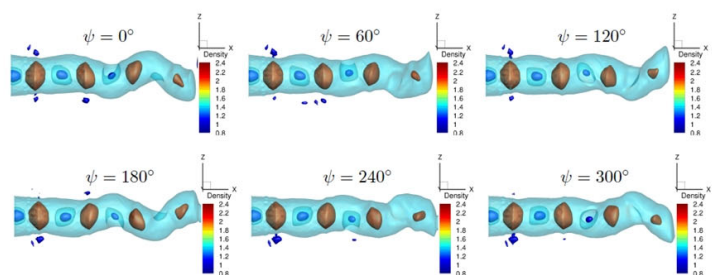
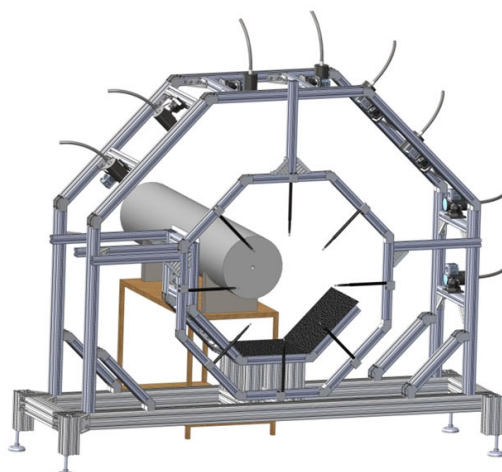
Résumé

Les travaux menés durant cette thèse s'inscrivent dans le cadre du développement d'instruments de métrologie pour la mécanique des fluides, notamment dans le domaine de la visualisation des écoulements. La BOS3D (pour Background Oriented Schlieren 3D) est une technique capable de fournir des champs 3D instantanés de densité ou de température. Développée à l'ONERA au cours des thèses de V. Todoroff et F. Nicolas, cette technique se base sur l'exploitation de la déviation des rayons lumineux à travers un milieu d'indice optique non homogène.

Elle consiste ainsi comparer l'image d'un motif texturé placé derrière un écoulement avec l'image de ce même motif en absence d'écoulement. Les variations de l'indice optique au sein de ce dernier dues aux fluctuations de masse volumique (induites par des variations de température et/ou de pression) courbent le trajet des rayons lumineux. Un déplacement apparent de la texture de l'arrière-plan est observé et calculé par des techniques de corrélation d'images numériques telles que celles couramment utilisées en PIV. En faisant une acquisition simultanée suivant différents points de vue, il est possible de reconstruire le champ de masse volumique associé en résolvant un problème inverse régularisé.

Une première campagne expérimentale sur un jet supersonique sous-étendu a, dans un premier temps, validée les améliorations apportées par les solutions proposées sur la résolution spatiale. D'autre part, l'application de la technique BOS3D sur ce type d'écoulement, nous a permis de détailler une partie de la dynamique du phénomène aéro acoustique de screech qui lui est associé. Ainsi, grâce à des acquisitions BOS3D couplées à des mesures acoustiques, nous avons reconstitués la dynamique de deux modes caractéristiques.

Une deuxième campagne effectuée dans la soufflerie F2 de l'ONERA, avait pour objet l'étude d'un jet chaud débouchant dans un écoulement transverse. À partir de l'étude de la reconstruction tomographique sur une simulation numérique de l'écoulement, nous discutons de différentes voies d'amélioration permettant à l'avenir l'utilisation pratique de la technique BOS3D en soufflerie.



Tobias BÖLLE

Thèse soutenue le 3 juin 2021
ED 626 (IPP) - Institut Polytechnique de Paris

Titre de la thèse

Étude sur le flottement tourbillonnaire

Encadrement

Département Aérodynamique, aéroélasticité, acoustique (DAAA)

Encadrants : Vincent Brion - ONERA
Jean-Christophe Robinet - ENSAM

Directeurs de thèse : Laurent Jacquin & Denis Sipp - ONERA

Financement

Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC)

Défi scientifique

Vers la maîtrise
de la turbulence

www.onera.fr/pss

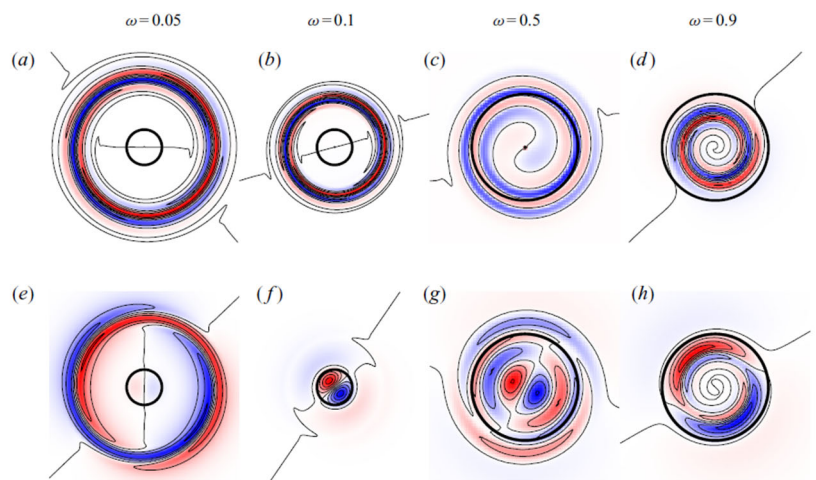


Contact : Vincent.Brion@onera.fr

Résumé

Le "meandering" est une manifestation de l'instationnarité tourbillonnaire, observée depuis les années 1970, qui reste mal comprise. Le "meandering" est le déplacement latéral, apparemment aléatoire, du tourbillon dans son ensemble, connu pour divers écoulements tourbillonnaires. Dans le cas d'un tourbillon marginal, le mouvement est toujours associé avec les caractéristiques suivantes : (i) croissance d'amplitude en aval (ii) coexistence d'une signature spectrale large bande universelle et d'une organisation progressive (iii) concentration et amplification graduelles de l'énergie de fluctuation dans le tourbillon. La signature spectrale est un témoignage du "retour à l'ordre", c'est-à-dire que l'évolution typique du sillage augmente progressivement l'ordre en dehors d'une dynamique complexe proche de l'aile.

Nous quantifions le niveau d'ordre en faisant appel à l'entropie et à l'analyse des séries temporelles non-linéaires. Une analyse du nombre de Rossby révèle des similarités avec l'évolution de la turbulence dans les expériences d'écoulement en rotation. En ce qui concerne la croissance d'amplitude, nous avons des preuves expérimentales que la loi "amplitude \sim intensité de la turbulence \times temps/circulation" est universellement valable. Celle-ci suggère un mouvement Brownien du tourbillon dans son ensemble. Nous modélisons la dynamique des tourbillons marginaux comme la réceptivité généralisée du tourbillon à l'excitation de l'écoulement libre. Une décomposition en modes orthogonaux (POD) de la base de données expérimentale montre que les principales perturbations correspondent à une paire de dipôles de déplacement dans le cœur. L'énergie des perturbations croît en aval au détriment du champ moyen. Théoriquement, nous résolvons les équations de Navier-Stokes linéarisées dans l'espace de Fourier avec la résolvante. Dans ce cadre, la non-normalité est nécessaire pour la réceptivité. Ce prérequis montre que le forçage pertinent est corrélé à la couche critique. L'archétype de réceptivité est constitué de filaments de faible énergie enroulés autour de la couche critique, qui excitent les perturbations du cœur, aspirant l'énergie du champ moyen.



Tracés de la composante axiale du rotationnel du forçage (ligne du haut) et de la réponse (ligne du bas) de perturbation dans un tourbillon, pour plusieurs fréquences. Ces couples forçage/réponse sont ceux qui conduisent au maximum d'amplification de la perturbation associée au forçage

Analyser les limitations des approximations au premier ordre des développements faiblement non linéaires (WNLE) pour prédire l'amplitude des branches bifurquées de systèmes non auto-adjoints.

Catherine DRYSDALE

Thèse soutenue le 13 décembre 2021
ED 626 (IPP) - Institut Polytechnique de Paris

Titre de la thèse

Une étude des complexités liées à la dérivation d'équations d'amplitude via des développements faiblement non linéaires d'équations aux dérivées partielles non auto-adjointes

Encadrement

Département Aéronautique, aéroélasticité, acoustique (DAAA)

Encadrant : Olivier Marquet - ONERA

Directeur de thèse : Denis Sipp - ONERA

Financement

UE Marie-Curie ITN & ONERA

Défi scientifique

Vers la maîtrise
de la turbulence

www.onera.fr/pss



Contact : Olivier.Marquet@onera.fr

Résumé

L'interaction entre la non-normalité et la non-linéarité a fait l'objet de nombreux travaux mais aussi de controverses en mécanique des fluides. Dans cette thèse, nous explorons la relation entre la non-normalité et la non-linéarité en analysant les limitations des approximations au premier ordre des développements faiblement non linéaires (WNLE) pour prédire l'amplitude des branches bifurquées de systèmes non auto-adjoints.

L'approximation du premier ordre correspond à un vecteur propre marginal multiplié par une amplitude régie par une équation, dite équation d'amplitude.

Dans cette thèse, nous choisissons deux cas tests pour explorer les phénomènes décrits ci-dessus, à savoir l'équation de Ginzburg-Landau non-auto-adjointe réelle (RnsaGL) et l'équation complexe de Ginzburg-Landau non-auto-adjointe (CnsaGL). Nous choisissons ces cas tests car les opérateurs linéaires génèrent dans chaque cas des semi-groupes fortement continus. Également dans le cas réel, il existe une structure de quasi-base. Cela nous permet de rechercher la solution de RnsaGL sous la forme de couples valeur propre vecteur propre.

Dans un premier temps, nous consolidons les recherches effectuées par d'autres auteurs dans la littérature en dérivant des équations d'amplitude d'ordre supérieur pour le cas RnsaGL. Nous dérivons ensuite des approximations d'ordre supérieur en utilisant une hypothèse différente des travaux des auteurs précédents ; à savoir qu'il ne peut y avoir de contributions linéaires dans l'approximation des termes d'ordre supérieur.

Les bornes d'erreur sont des outils théoriques pour montrer l'existence d'un possible rayon de convergence. Nous discutons comment ces bornes d'erreur théoriques peuvent être utilisées concrètement. Enfin, nous profitons de l'existence de la quasi-base en présentant une technique de moyennage stochastique où les modes stables sont soumis à du bruit. Cette technique de moyennage stochastique est différente de la technique WNLE car aucun mode propre n'est négligé dans l'approche, mais les caractéristiques de saturation sont encore sous-estimées dans le cas non auto-adjoint.

The Ginzburg-Landau eq.
WNL

$$\begin{aligned} \langle \tilde{w}_c, \hat{w}_c | \hat{w}_c \rangle &= \int_{-\infty}^{+\infty} \xi e^{-\frac{U}{2\gamma} x - \frac{\chi^2 x^2}{2}} \zeta^3 e^{\frac{3U}{2\gamma} x - \frac{3\chi^2 x^2}{2}} dx = \xi \zeta^3 \int_{-\infty}^{+\infty} e^{\frac{U}{\gamma} x - 2\chi^2 x^2} dx \\ &= \frac{\chi}{\zeta \pi^2} \zeta^3 \int_{-\infty}^{+\infty} e^{\frac{U}{\gamma} x - 2\chi^2 x^2} dx \\ \zeta \max_t |C'(t)| &= \frac{\zeta}{\sqrt{\langle \tilde{w}_c, \hat{w}_c | \hat{w}_c \rangle}} \sqrt{\delta'} = \frac{\pi^4}{\chi^2 \int_{-\infty}^{+\infty} e^{\frac{U}{\gamma} x - 2\chi^2 x^2} dx} \sqrt{\delta'} = \frac{\pi^4}{\chi^2 \left(\frac{U^2}{8\gamma^2 \chi^2 \pi^2} \right)^{\frac{1}{2}}} \sqrt{\delta'} \\ &= 2^{1/4} e^{-\frac{U^2}{16\gamma^2 \chi^2}} \sqrt{\delta'} = \frac{2^{1/4}}{e^{\frac{U^2}{16\gamma^2 \chi^2}}} \sqrt{\delta'} \end{aligned}$$

Pierre DUBOIS

Thèse soutenue le 21 octobre 2021
ED 072 (SPI) - Sciences pour l'Ingénieur - Lille

Titre de la thèse

Utilisation de l'apprentissage automatique en mécanique des fluides pour la réduction, la reconstruction et la prédiction orientée données du champ de vitesse fluctuante d'un écoulement

Encadrement

Département Aérodynamique, aéroélasticité, acoustique (DAAA)

Encadrants : Laurent Plankaert - ONERA
Laurent Perret - École Centrale de Nantes

Directeur de thèse : Thomas Gomez - LMFL

Financement

Région Hauts de France & ONERA

Défi scientifique

Vers la maîtrise
de la turbulence

www.onera.fr/pss



**Région
Hauts-de-France**



**Université
de Lille**

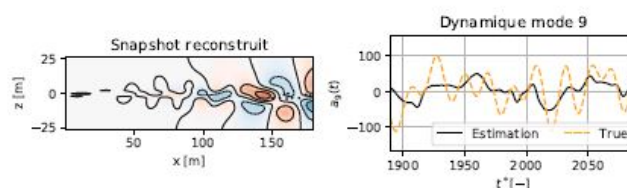


Contact : Laurent.Plankaert@onera.fr

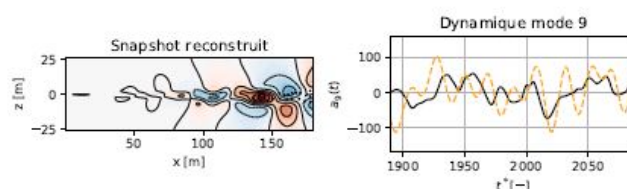
Résumé

La mécanique des fluides est présente dans de nombreuses thématiques industrielles telles que la santé, le transport et l'énergie. Pour modéliser, contrôler et réduire les écoulements d'intérêt, il faut résoudre des problèmes d'optimisation non linéaires et multi-échelles. Face aux difficultés de résolution analytique et dans l'âge du Big Data, on cherche à utiliser la disponibilité des données numériques et expérimentales pour faire l'optimisation à partir des données. Dans ce contexte, la thèse s'intéresse aux outils de l'apprentissage automatique pour l'estimation orientée données d'un écoulement. En particulier, on cherche à réduire, reconstruire et prédire le champ de vitesse d'écoulements de complexité croissante: le sillage laminaire d'un cylindre, une couche de mélange spatiale, le sillage turbulent d'un cylindre rectangulaire et l'écoulement autour d'une tour isolée. Pour ce faire, on commence par reformuler les problèmes de réduction, de reconstruction et de prédiction.

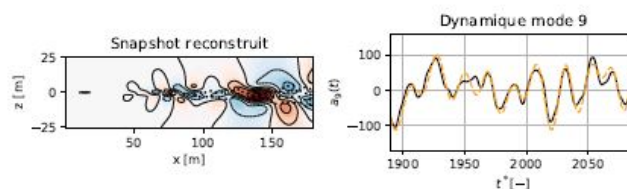
Pour la réduction, on s'intéresse à l'utilisation d'auto-encodeurs pour déterminer un espace latent de dimension réduite dans lequel on peut réécrire le film de l'écoulement. Concernant la reconstruction, on utilise l'apprentissage supervisé pour estimer l'état latent à un instant donné à partir de mesures du champ de vitesse fluctuante au même instant. Pour la prédiction, on cherche une approximation finie de l'opérateur de Koopman pour avancer linéairement dans le temps des observations choisies de l'état latent. Les résultats mettent en évidence que l'apprentissage automatique est une piste pertinente pour établir des modèles d'estimation d'écoulements. Toutefois, les développements restent académiques et le déploiement de modèles sur des configurations très turbulentes reste peu envisageable, notamment pour des questions de robustesse (à de nouvelles configurations, au bruit, etc.).



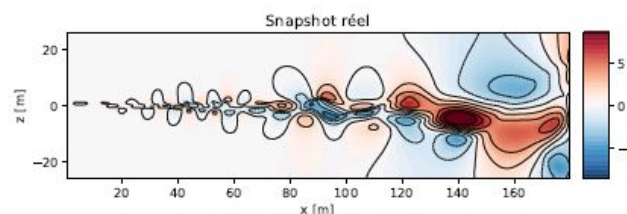
(a) Grille de capteurs $p_{0,2} = 18$



(b) Grille de capteurs $p_{0,4} = 42$



(c) Grille de capteurs $p_{0,8} = 122$



(d) Cliché de test de référence

**Développer une méthode pour évaluer la traînée d'onde
en écoulement transsonique**

Camille FOURNIS

Thèse soutenue le 28 octobre 2021

ED 391 (SMAER) - Sciences Mécaniques, Acoustique, Électronique &
Robotique - Sorbonne Université

Titre de la thèse

**Prévision et décomposition de la force aérodynamique basée
sur le vecteur de Lamb en écoulement compressible visqueux**

Encadrement

Département Aéronautique, aéroélasticité, acoustique (DAAA)

Encadrant : Didier Bailly - ONERA

Directeurs de thèse : Michel Costes - ONERA

Renato Tognaccini - Università di Napoli Federico II

Financement

DGA & ONERA

Défi scientifique

Vers la maîtrise
de la turbulence

www.onera.fr/pss

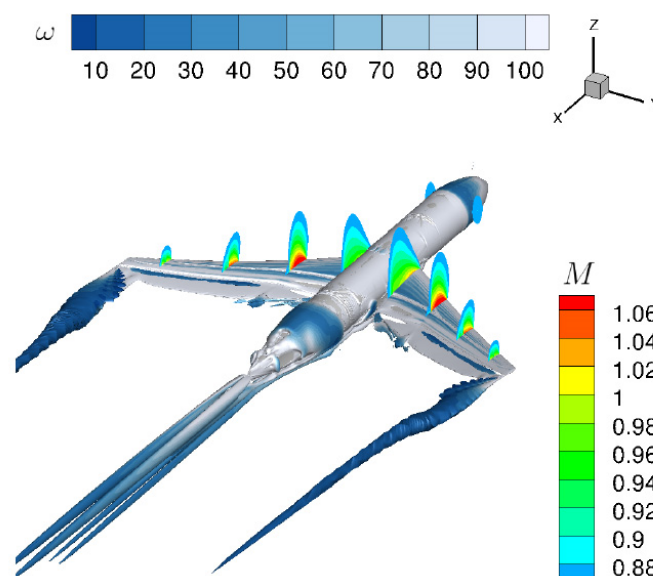


Contact : Didier.Bailly@onera.fr

Résumé

L'évaluation précise de la portance et de la traînée exercées sur un avion est incontournable pour l'ingénieur aérodynamicien. Afin de concevoir de futurs avions commerciaux qui minimisent la consommation de carburant, et donc les coûts d'exploitation et l'empreinte environnementale, l'ingénieur doit clairement identifier les sources phénoménologiques de la portance et de la traînée. Pour ce faire, il utilise des méthodes de décomposition de la force aérodynamique en champ lointain, comme par exemple la formulation basée sur le vecteur de Lamb. Cette formulation est nouvelle, très prometteuse, mais la décomposition de la force aérodynamique proposée est sensible au point de référence utilisé pour le calcul des moments, dépendante de la taille du domaine d'intégration, incapable de fournir une définition robuste de la traînée d'onde, et le rôle physique de la compressibilité dans la portance et la traînée n'est toujours pas identifié.

Cette étude a consisté à développer une décomposition basée sur le vecteur de Lamb invariante vis à vis du point de référence permettant de mieux comprendre ce rôle et d'évaluer la traînée d'onde en écoulement transsonique. Dans ce but, les symétries de l'écoulement dans le champ lointain ont été étudiées afin de garantir l'invariance vis à vis du point de référence. Une interprétation physique du rôle de la compressibilité dans la portance et la traînée a été rendue possible en soulignant la relation entre la décomposition basée sur le vecteur de Lamb et les théories aérodynamiques classiques. Enfin, une définition pratique de la traînée d'onde utilisant le vecteur de Lamb a été élaborée.



Nombre de Mach et isosurface du critère Q colorée par la vorticité ω

Distinction

Prix Amelia Earhart du
Zonta International
(2019)

Jahnvi KANTHARAJU

Thèse soutenue le 29 janvier 2021
ED 626 (IPP) - Institut Polytechnique de Paris

Titre de la thèse

**Structures à grande échelle dans le champ proche des
jets ronds turbulents**

Encadrement

Département Aérodynamique, aéroélasticité, acoustique (DAAA)

Encadrant : Benjamin Leclaire - ONERA

Directeur de thèse : Laurent Jacquin - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

Vers la maîtrise
de la turbulence

www.onera.fr/pss



**INSTITUT
POLYTECHNIQUE
DE PARIS**



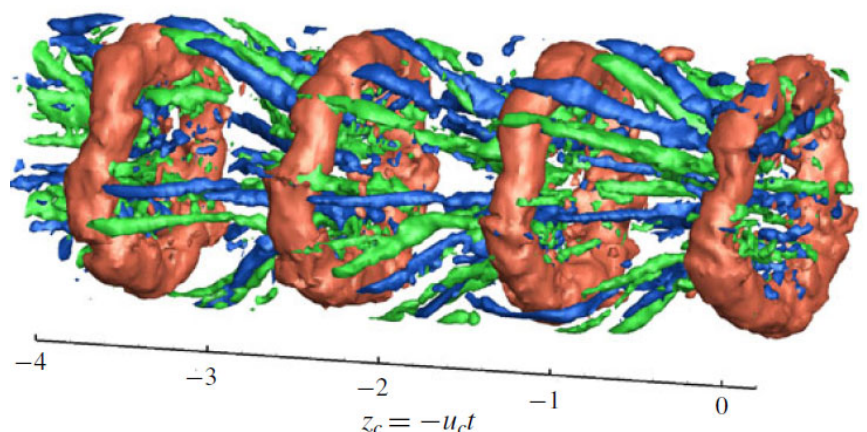
Contact : Benjamin.Leclaire@onera.fr

Résumé

Cette thèse contribue aux connaissances sur les structures à grande échelle dans le champ proche des jets ronds turbulents. Une interaction entre anneaux tourbillonnaires et tourbillons longitudinaux dans la couche de cisaillement est d'abord explorée. Celle-ci est supposée induire une organisation radiale des tourbillons longitudinaux, par opposition au réseau azimuthal rapporté dans la littérature. Des mesures PIV stéréoscopique haute cadence sont effectuées dans un plan transversal, deux diamètres en aval de la sortie du jet. L'intensité des anneaux tourbillonnaires est modifiée par excitation axisymétrique et l'organisation résultante des tourbillons longitudinaux est caractérisée. A mesure que la force relative entre anneaux et tourbillons longitudinaux augmente, l'organisation de ces derniers évolue vers un réseau azimuthal, corroborant l'hypothèse mentionnée ci-dessus. Un modèle simple de simulations numériques est ensuite construit, dans lequel l'évolution d'un anneau tourbillonnaire isolé est d'abord étudiée. Cet anneau est ensuite placé dans le cisaillement moyen d'un jet. Une comparaison entre l'évolution de l'anneau en présence et en absence de cisaillement permet de comprendre le rôle joué par le cisaillement dans la rupture de l'anneau tourbillonnaire. Les données PIV sont ensuite analysées pour caractériser les stries dans les jets ronds turbulents. Leur coexistence avec les anneaux tourbillonnaires et les tourbillons longitudinaux est étudiée. Les résultats indiquent que les stries sont situées dans le bord extérieur de la couche de cisaillement, et y sont quasi-stationnaires, le système convectif formé par les anneaux tourbillonnaires et les tourbillons longitudinaux les alimentant en éjectant du fluide vers l'extérieur du jet. Le renforcement des anneaux par forçage ne modifie pas de manière significative les stries, suggérant un quasi-découplage entre les deux.

Enfin, les données PIV sont complétées par des mesures d'anémométrie fil chaud à différents emplacements axiaux pour caractériser plus en détail les différences entre ce que la littérature qualifie de "mode de jet préférentiel", et le mode le plus énergétique, correspondant à la fréquence de passage des anneaux. On constate que ces modes ont des structures radiales différentes, et que l'excitation du mode le plus énergétique pourrait fournir des taux d'évasement plus élevés que le mode préférentiel, pour un même niveau de forçage d'entrée.

Structures tourbillonnaires (anneaux tourbillonnaires en marron, tourbillons longitudinaux de signes opposés en bleu et vert) mesurées par PIV stéréoscopique haute cadence et reconstruites spatialement à l'aide de l'hypothèse de Taylor, dans un jet avec forçage axisymétrique



**Etudier numériquement les mécanismes de transition
forcée à haut Mach pour les besoins de la propulsion
aérobie hypersonique**

Julien LEFIEUX

Thèse soutenue le 15 février 2021

ED 579 (SMéMaG) - Sciences Mécaniques et Énergétiques, Matériaux et
Géosciences - Paris-Saclay

Titre de la thèse

**Étude DNS de la transition déclenchée par rugosité
dans les écoulements hypersoniques**

Encadrement

Département Aérodynamique, aéroélasticité, acoustique (DAAA)

Encadrant : Jean-Philippe Brazier - ONERA

Directeur de thèse : Éric Garnier - ONERA

Financement

Agence de l'Innovation de Défense (AID)

Défi scientifique

Vers la maîtrise
de la turbulence

www.onera.fr/pss



université
PARIS-SACLAY

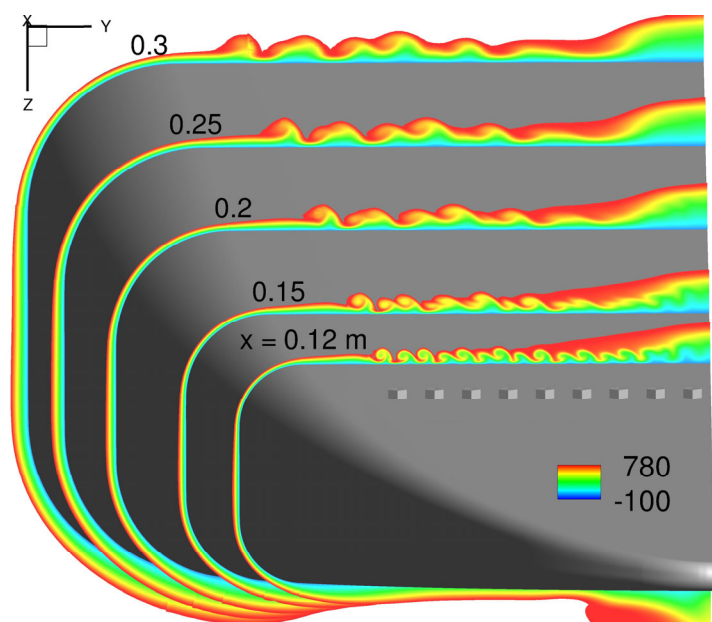


Contact : Eric.Garnier@onera.fr

Résumé

Cette étude s'inscrit dans le cadre des études et recherches sur de futurs véhicules hypersoniques à propulsion aérobique. Pour ce type de véhicule, il est souvent nécessaire de déclencher la transition laminaire-turbulent en amont des prises d'air, au moyen de rugosité. Le travail de cette thèse consiste donc à étudier finement les mécanismes de transition déclenchée par rugosité dans les écoulements hypersoniques. La première partie de ce travail est dédiée à la mise en place et à la validation de la stratégie de calcul permettant l'étude de la transition déclenchée par rugosité avec le solveur elsA. Cette stratégie numérique a ensuite été utilisée pour étudier les mécanismes de transition auto-entretenu induits par une rugosité isolée sur une plaque plane à Mach 6 et $Re = 40,000$. Le mouvement des tourbillons dans la zone de recirculation amont s'est avéré responsable de l'instabilité en aval, tandis que les instabilités convectives sinusoïdales et variqueuses ont été identifiées dans le sillage de la rugosité au moyen de la POD spectrale et de la LST-2D. Des simulations numériques directes ont été réalisées avec la méthode Chimère afin d'identifier les mécanismes de transition déclenchée par rugosité sur un avant-corps générique à Mach 6 et un nombre de Reynolds de $Re = 11$ million (/m). Un accord raisonnable a été obtenu avec les résultats des tests effectués dans la soufflerie silencieuse BAM6QT de l'Université de Purdue, en terme de flux de chaleur et de fluctuations de pression à la paroi. Une rugosité isolée a été considérée. La présence de la rugosité dans l'écoulement de base non-homogène en envergure génère un tourbillon de type crossflow. Des instabilités secondaires du tourbillon de crossflow stationnaire sont observées à haute fréquence dans le sillage de la rugosité et sont considérées comme responsables de la transition. Des calculs de stabilité linéaire bi-locale ont été effectués à différentes positions axiales. L'approche de stabilité linéaire s'est révélée précise pour la prévision des modes propres, des fréquences les plus amplifiées et du taux d'amplification des instabilités. L'effet d'une rangée de rugosités et l'effet de la hauteur de rugosité sur la transition laminaire-turbulent dans l'écoulement autour de l'avant-corps hypersonique ont également été étudiés.

Écoulement induit par une rangée de rugosités en forme de diamant sur un avant-corps générique



Yann MARCHENAY

Thèse soutenue le 16 décembre 2021

ED 468 (MEGEP) - Mécanique, Énergétique, Génie civil, Procédés -
Toulouse

Titre de la thèse

**Modélisation de la turbulence en présence de rugosité et de
soufflage en régime hypersonique**

Encadrement

Département Multiphysique pour l'énergétique (DMPE)

Directeur de thèse : Marina Olazabal Loumé - CEA

François Chedeveigne - ONERA

Financement

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) &
ONERA

Défi scientifique

Vers la maîtrise
de la turbulence

www.onera.fr/pss

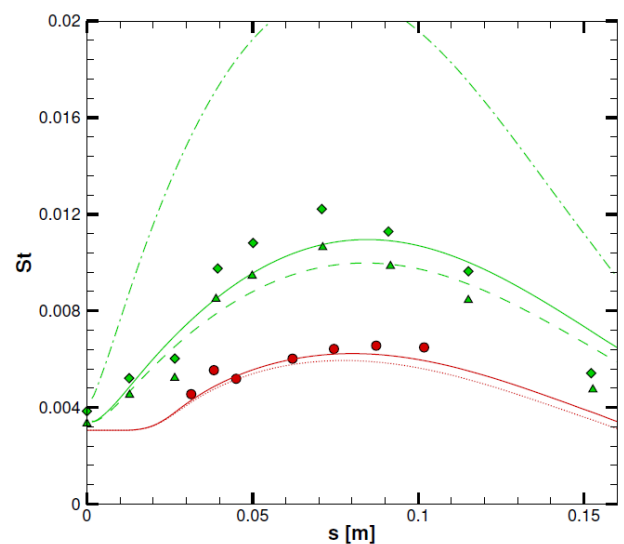
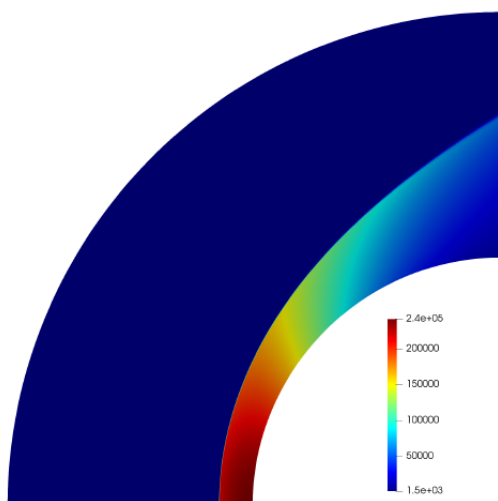


Contact : Francois.Chedeveigne@onera.fr

Résumé

Avec le développement de véhicules de rentrée atmosphérique et de missiles hypersoniques, de nouvelles technologies ont vu le jour afin de protéger les structures internes des flux thermiques. Les protections ablatives évacuant la chaleur par perte de masse se sont imposées comme étant les seules capables de résister aux flux thermiques extrêmes de la rentrée atmosphérique. Deux mécanismes inhérents au processus d'ablation se distinguent par leur impact sur la dynamique et la thermique de l'écoulement extérieur en proche paroi : la formation de rugosités et l'apparition du soufflage. D'une part, la formation de rugosités durant l'ablation provoque une forte augmentation des transferts thermiques pariétaux et favorise la transition laminaire-turbulent. D'autre part, l'apparition du soufflage provenant de la décomposition du bouclier thermique apporte une protection thermique additionnelle diminuant ainsi le flux thermique vu par la paroi.

Très peu de travaux se sont intéressés aux effets combinés de rugosité et de soufflage. Leur modélisation conjointe reste inexistante dans le cadre d'approches RANS de la turbulence. L'objectif de la thèse est de proposer un modèle prenant en compte des effets conjoints de rugosité et de soufflage dans les modélisations RANS en régime hypersonique. Une comparaison des modèles de rugosité disponibles dans la littérature a été réalisée sur des configurations expérimentales d'effets conjoints. Pour cela, l'approche par grain de sable équivalent adaptée au modèle de turbulence k-w SST a été utilisée. Il a été montré que le modèle de turbulence surestimait les effets dynamiques et thermiques du soufflage dans la région interne de la couche limite. Le problème vient alors d'un couplage faible entre les effets de rugosité et les effets du soufflage, présent expérimentalement et absent des modélisations actuelles. Partant des problèmes précédemment soulevés, une stratégie de modélisation a été élaborée à partir des différentes bases de données expérimentales subsoniques et supersoniques. Les modèles ainsi développés dérivent de la caractérisation du profil de vitesse dans la région inertielle de la couche limite en présence d'effets conjoints.



**Limiter la persistance des tourbillons de sillage,
augmentée par le phénomène de rebond (effet de sol)**

Arnold WAKIM

Thèse soutenue le 3 décembre 2021
ED 626 (IPP) - Institut Polytechnique de Paris

Titre de la thèse

Contrôle des paires de tourbillons en effet de sol

Encadrement

Département Aéronautique, aéroélasticité, acoustique (DAAA)

Encadrant : Vincent Brion & Agnès Dolfi-Bouteyre - ONERA

Directeur de thèse : Laurent Jacquin - ONERA

Financement

Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC)

Défi scientifique

Vers la maîtrise
de la turbulence

www.onera.fr/pss



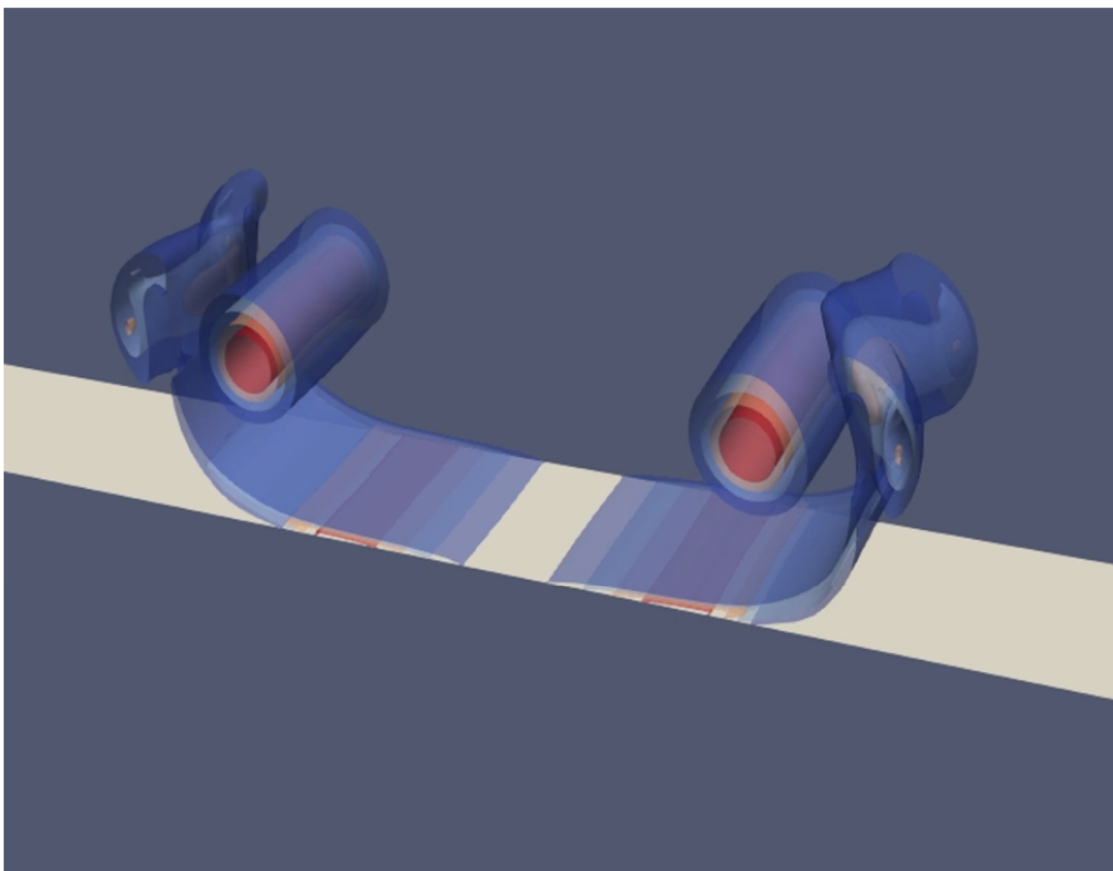
Contact : Vincent.Brion@onera.fr

Contrôle des paires de tourbillons en effet de sol

Résumé

Dans le cadre de la convention PHYWAKE entre l'ONERA et la DGAC, une étude est menée sur l'influence des tourbillons en effet de sol. L'objectif est de contrôler les tourbillons lors de leur descente vers le sol. Le phénomène de rebond, dû à la séparation de la couche limite, augmente la persistance des tourbillons. Afin de limiter ce phénomène, deux stratégies de contrôles sont mises en place dans le but de diminuer le temps de vie des tourbillons au-dessus du sol.

La première, basée sur la méthode du contrôle optimal, vise à augmenter la position latérale des tourbillons. La deuxième, basée sur la méthode de la perturbation optimale, a pour but d'augmenter l'énergie du système dans le but d'instancier des instabilités.



Simuler l'interaction jet/tourbillon dans le sillage d'un avion et simuler son impact sur la formation des traînées de condensation

Vivien CHMIELARSKI

Thèse soutenue le 5 octobre 2021

ED 579 (SMéMaG) - Sciences Mécaniques et Énergétiques, Matériaux et Géosciences - Paris-Saclay

Titre de la thèse

Simulation de l'interaction jet/tourbillon dans le sillage d'un avion et son impact sur la formation des traînées de condensation en utilisant l'approche RANS et l'approche hybride RANS/LES

Encadrement

Département Multiphysique pour l'énergétique (DMPE)

Encadrant : Weeded Ghedhaïfi - ONERA

Directeur de thèse : Laurent Jacquin - ONERA

Financement

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

Défi scientifique

CFD 2030

www.onera.fr/pss



Contact : Weeded.Ghedhaifi@onera.fr

Simulation de l'interaction jet/tourbillon dans le sillage d'un avion et son impact sur la formation des traînées de condensation en utilisant l'approche RANS et l'approche hybride RANS/LES

Vivien
CHMIELARSKI

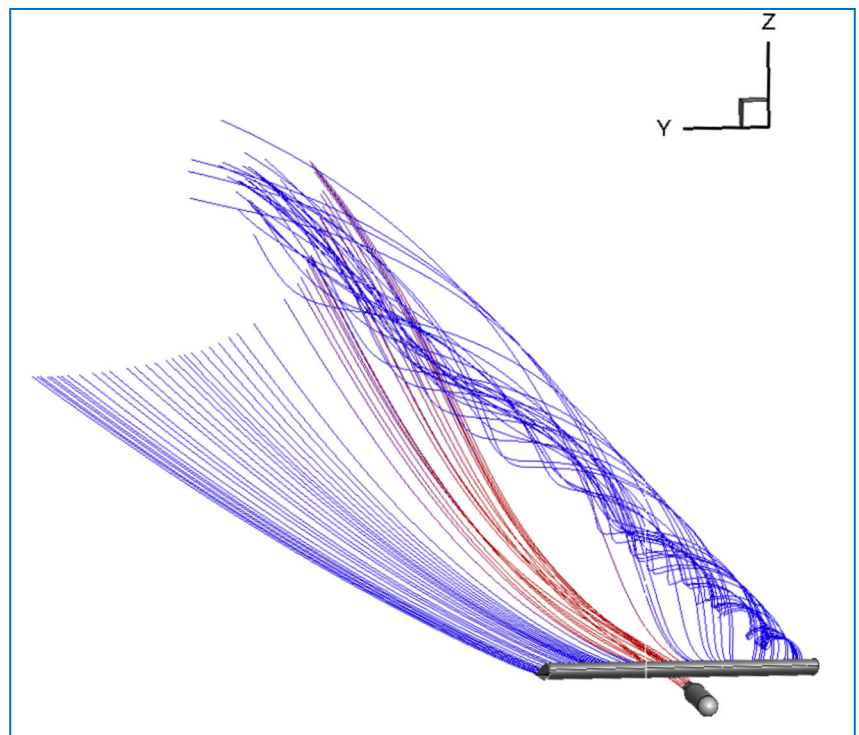
Résumé

Dans le cadre des études portant sur l'impact de l'aviation sur le changement climatique, les traînées de condensation et les cirrus induits font partie des phénomènes présentant le plus d'incertitudes quant à leur rôle. Dans ce contexte, cette thèse vise à sélectionner une stratégie de simulation numérique permettant de prévoir au mieux l'interaction jet/tourbillon dans le sillage des avions. En effet, une simulation fidèle de la formation d'une traînée de condensation doit s'appuyer sur une modélisation satisfaisante de cette interaction. Différentes stratégies de simulation numérique ont été testées sur un domaine de calcul reprenant la configuration d'une expérience en soufflerie étudiant l'évolution de jets d'air chaud dans le sillage d'une aile avec un profil NACA0012. Les résultats des simulations tridimensionnelles de l'écoulement aérodynamique autour et dans le sillage de cette configuration ont été réalisées à l'aide du code CEDRE de l'ONERA et ont été comparés aux données expérimentales obtenues lors de campagnes de mesures menées dans la soufflerie ONERA-F2.

Les premières simulations numériques ont mis en évidence les limites des approches moyennées de la modélisation de la turbulence à prédire l'évolution du tourbillon de sillage sur plusieurs envergures dans le sillage de l'aile. Une simulation numérique utilisant une approche RANS/LES de la modélisation de la turbulence a montré la capacité de ce modèle de turbulence à prédire l'évolution d'une interaction jet/tourbillon.

La procédure d'adaptation de maillage (fello, INRIA) et les approches hybride RANS/LES montrent cependant un fort potentiel dans l'optique d'une simulation réaliste de la modélisation tridimensionnelle de la formation des traînées de condensations.

Ce travail, par la stratégie de calcul mise en place, permettra d'appréhender le rôle de certains paramètres clés liés à l'avion comme sa géométrie sur les propriétés microphysiques de la traînée de condensation.



Développer de nouvelles méthodes numériques pour automatiser les outils de prévision de la formation du givre sur les avions

Pierre LAVOIE

Thèse soutenue le 6 mai 2021

ED 468 (MEGEP) - Mécanique, Énergétique, Génie civil, Procédés -
Toulouse

Titre de la thèse

**Méthode de frontières immergées pour la modélisation
du givrage en vol des avions**

Encadrement

Département Multiphysique pour l'énergétique (DMPE)

Encadrants : Emmanuel Radenac & Ghislain Blanchard - ONERA

Directeurs de thèse : Philippe Villedieu - ONERA

Eric Laurendeau - Polytechnique Montréal

Financement

Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada
(CRSNG) & ONERA

Défi scientifique

CFD 2030

www.onera.fr/pss



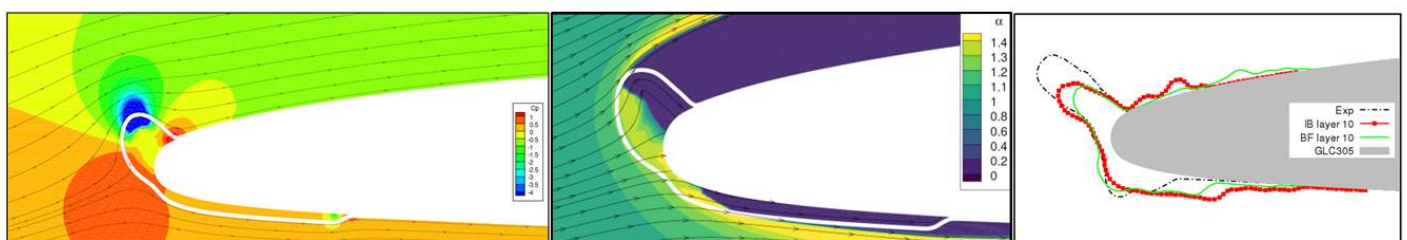
Université
de Toulouse



Contact : Emmanuel.Radenac@onera.fr

Résumé

Des outils numériques sont utilisés dans l'industrie aérospatiale afin de prévoir la formation du givre sur les avions. Ceux-ci peuvent être difficiles à automatiser pour des formes de givre complexes, et ce, plus particulièrement pour des simulations 3D. L'objectif principal de cette thèse est d'évaluer le potentiel des méthodes de frontières immergées (IBMs) afin de faciliter l'automatisation des outils de givrage en éliminant l'intervention de l'utilisateur et en conservant la précision offerte par des approches basées sur des maillages conformes (BFM). Dans cette thèse, une méthodologie est établie pour l'utilisation des IBMs dans une chaîne de calcul 2D (IGLOO2D) et de nouvelles méthodes numériques sont développées et implémentées. Deux méthodes de pénalisation novatrices sont développées pour l'évaluation du champ aérodynamique (équations d'Euler) et la trajectoire des gouttelettes respectivement. Ces approches sont conçues afin d'obtenir une continuité des variables primitives au travers de l'interface glace-air et ainsi permettre une extraction simple des données surfaciques (par interpolation). Une approche level-set est aussi implémentée dans le processus de givrage afin de suivre l'interface et gérer automatiquement les situations problématiques rencontrées lors de la mise à jour de la géométrie givrée. Des simulations sont effectuées sur des cas canoniques (cylindre, NACA0012) ainsi que sur une corne de givre et une configuration multi-élément afin de démontrer la flexibilité, robustesse et précision de la méthodologie. Les résultats démontrent la capacité des IBMs à reproduire la même solution qu'une approche de type BFM sans aucune intervention de l'utilisateur, en utilisant cependant un maillage plus raffiné dans certaines situations. De plus, l'approche proposée est facilement applicable aux simulations 3D, une situation dans laquelle les IBMs devraient être encore plus avantageuses.



Simulations avec l'approche IBM d'IGLOO2D autour d'un profil d'aile GLC305 en conditions givrantes de givre transparent. Champ de coefficient de pression (à gauche), champ de fraction volumique adimensionnée de gouttes d'eau (au milieu), comparaison entre des simulations BFM et IBM après une simulation à 10 pas (à droite)

Déterminer les mécanismes thermo-oxydatifs des principales molécules constitutives du kérosène Jet A-1 pour proposer un schéma réactionnel applicable aux carburants d'aviation réels

Soraya AMINANE

Thèse soutenue le 16 mars 2021

ED 388 - Chimie physique et chimie analytique - Paris Centre

Titre de la thèse

Mécanismes thermo-oxydatifs et de formation de dépôts solides dans les carburants

Encadrement

Département Multiphysique pour l'énergétique (DMPE)

Encadrant : Mickaël Sicard - ONERA

Directrice de thèse : Lorette Sicard - Université de Paris

Financement

ONERA

Défi scientifique

La propulsion dans toute sa complexité

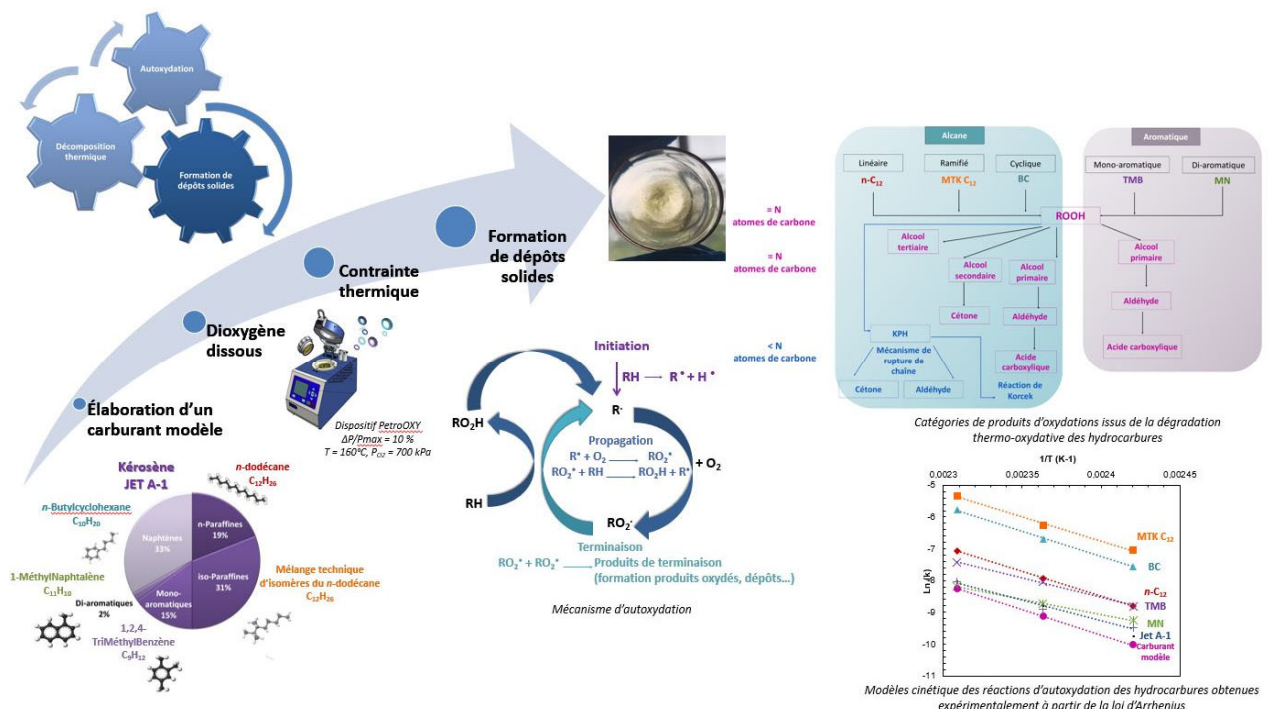
www.onera.fr/pss



Contact : Mickael.Sicard@onera.fr

Résumé

Le carburéacteur est soumis à des contraintes thermiques pouvant conduire à la formation de dépôts solides dans le système carburant et les injecteurs, menant à un colmatage et à leur dysfonctionnement. La stabilité thermique d'un carburant est liée à sa composition chimique et à la présence de dioxygène naturellement dissous, mais les mécanismes de dégradation du combustible restent peu détaillés. L'objectif de cette thèse est de déterminer les mécanismes thermo-oxydatifs du kérosène Jet A-1 afin de proposer un schéma réactionnel applicable à tous les carburants réels, notamment les futurs biocarburants. Cependant, le Jet A-1 est un mélange de plusieurs molécules pouvant réagir différemment au stress thermo-oxydatif. De plus, des interactions entre molécules peuvent se produire. Aussi est-il nécessaire de simplifier l'approche en travaillant sur des molécules modèles (alcanes linéaires et ramifiés, cyclo-alcanes, mono et di-aromatiques). Celles-ci ont été soumises à l'oxydation (individuellement puis de manière couplée) à l'aide d'un dispositif normé PetroOXY. Plusieurs techniques de caractérisation analytiques (CPG, CPG/SM, IRTF, CES, CLHP) et chimiques (indice de peroxyde, d'acide total et teneur en eau) ont permis l'identification et la quantification des produits d'oxydation formés dans les différentes phases. L'apparition d'un gel, probablement un précurseur de dépôts solides, a été détectée, révélant l'influence de la structure chimique des hydrocarbure et des interactions sur les produits d'oxydation formés. L'intérêt de cette démarche a été de se rapprocher progressivement d'un substitut du kérosène et de déterminer les constantes cinétiques de dégradation afin d'alimenter les modèles prédictifs pour la simulation des réactions d'autoxydation.



Mécanismes thermo-oxydatifs et cinétique de dégradation d'un hydrocarbure

Distinction

Prix doctorant ONERA
2021

Mathieu LUGRIN

Thèse soutenue le 2 décembre 2021

ED 579 (SMéMaG) - Sciences Mécaniques et Énergétiques, Matériaux et
Géosciences - Paris-Saclay

Titre de la thèse

**Étude de l'interaction visqueuse avec décollement en régime
hypersonique**

Encadrement

Département Aérodynamique, aéroélasticité, acoustique (DAAA)

Encadrant : Samir Benneddine - ONERA

Directeurs de thèse : Reynald Bur & Éric Garnier - ONERA

Financement

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) &
ONERA

Défi scientifique

La propulsion dans
toute sa complexité

www.onera.fr/pss

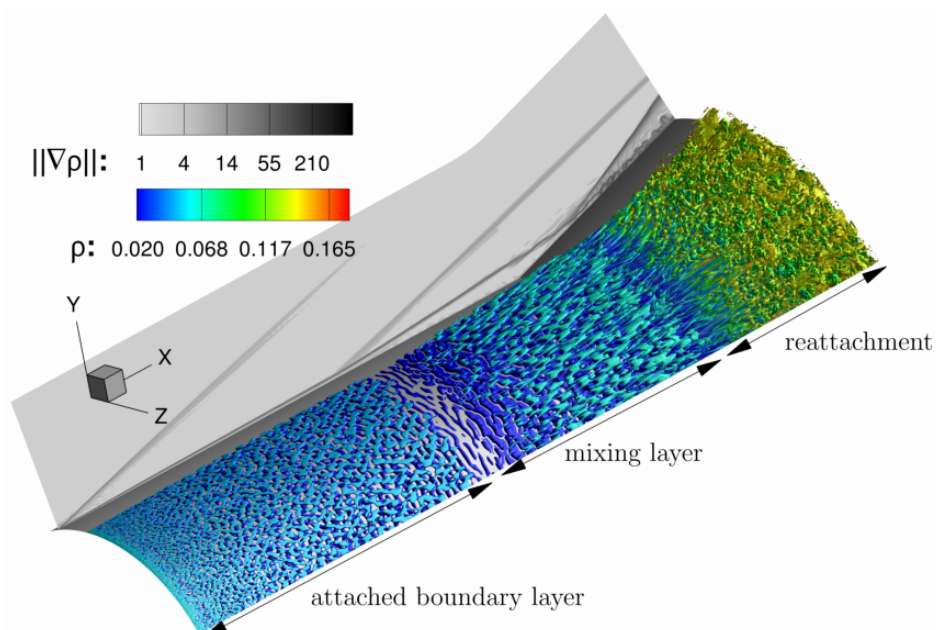


Contact : Samir.Benneddine@onera.fr

Résumé

L'interaction entre une onde de choc et une couche limite en régime hypersonique et pour des nombres de Reynolds transitionnels est étudiée numériquement et expérimentalement. La configuration retenue pour l'étude est un cylindre creux suivi d'une jupe à 15 degrés. Afin d'étudier numériquement la dynamique de large amplitude de la zone de recirculation, les instabilités transitionnelles et les mécanismes causant l'apparition de stries dans la zone de recollement, de multiples simulations haute-fidélité sont réalisées pour différentes conditions d'écoulement. Ces simulations sont post-traitées à l'aide de la décomposition orthogonale aux valeurs propres (POD) et de la décomposition spectrale orthogonale aux valeurs propres (SPOD) pour en extraire les structures cohérentes. Les champs moyens issus des simulations sont également utilisés pour conduire des études de stabilité globale ainsi que des analyses de résolvant afin d'étudier les modes instables et les mécanismes d'amplification linéaires présents dans l'écoulement. La comparaison des résultats issus des calculs haute-fidélité et de ceux issus des études linéarisées permet de conclure sur l'impact des mécanismes linéaires et non-linéaires sur l'écoulement. La zone de recirculation est dominée par deux modes de grande amplitude. Le premier est un mode quasi stationnaire qui engendre de la striation dans la zone de recollement et qui est causé par l'interaction de deux modes instables de l'écoulement. Le second est instationnaire et lié au choc de décollement et à la couche de mélange, provoquant un mouvement de respiration de la bulle.

Une étude expérimentale est également conduite sur la géométrie cylindre creux-jupe dans la soufflerie R2Ch à un nombre de Mach de cinq et pour une plage de nombres de Reynolds conduisant à la transition de l'écoulement. Des mesures de pressions instationnaires sont réalisées ainsi que des mesures de flux par thermographie infrarouge et des strioscopies à haute vitesse. Des développements méthodologiques sur la mesure de pression instationnaire sont proposés pour analyser des signaux à très hautes fréquences. Les résultats d'essais ont permis d'observer deux principaux phénomènes dans la topologie de l'écoulement, à savoir des modes obliques qui existent dans la couche de mélange ainsi que des stries qui apparaissent sur la jupe dans la région de recollement.



Christophe MONTSARRAT

Thèse soutenue le 09 avril 2021

ED 162 (MEGA) - Mécanique, Énergétique, Génie civil, Acoustique - Lyon

Titre de la thèse

Tip-leakage flow modelling in axial compressors

Encadrement

Département Aérodynamique, aéroélasticité, acoustique (DAAA)

Encadrants : Julien Marty - ONERA

Éric Lippinois - Safran Aircraft Engines

Directeur de thèse : Jérôme Boudet - LMFA

Financement

CIFRE Safran

Défi scientifique

La propulsion dans
toute sa complexité

www.onera.fr/pss



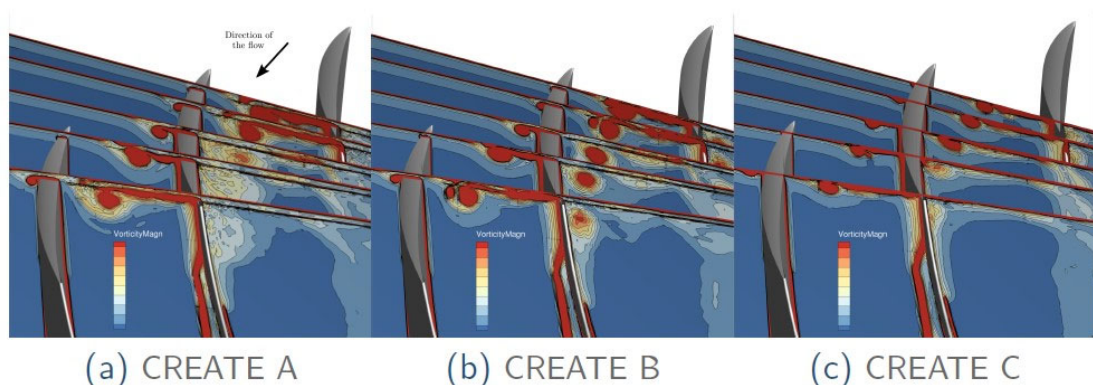
Contact : Julien.Marty@onera.fr

Résumé

Cette thèse vise (i) à mieux comprendre les écoulements de jeux dans les rotors de compresseurs axiaux, en se concentrant en particulier sur trois caractéristiques du tourbillon de jeu (la position du détachement du tourbillon sur l'extrados de la pale, sa trajectoire dans le canal inter-aubes et sa circulation quantifiant son intensité) et (ii) à développer un outil bas-ordre pour prévoir ce type d'écoulement au cours d'avant-projet. L'outil repose sur l'utilisation de la méthode des panneaux tourbillonnaires (Vortex Lattice Method) et sa validation implique la confrontation des résultats à des données de référence. Celles-ci sont nombreuses sur des configurations simples (aube isolée avec un jeu, par exemple) mais aussi bien adaptées aux données obtenues numériquement alors que, pour des configurations plus industrielles, les données expérimentales ne sont pas assez fines pour la validation. Ainsi, cette thèse porte aussi sur la simulation haute-fidélité de l'écoulement de jeu dans un rotor de compresseur haute-pression à l'aide de l'approche ZDES (Zonal Detached Eddy Simulation) développée à l'ONERA.

Ces travaux de thèse montrent non seulement l'apport indéniable de l'approche ZDES par rapport aux simulations RANS couramment utilisées en Bureaux d'Etudes, pour prévoir l'écoulement de jeu mais, aussi et surtout que cette approche permet de mieux comprendre la phénoménologie mise en jeu lorsque la taille du jeu change, à savoir le double écoulement de jeu et la déstructuration du tourbillon de jeu à grand jeu, comme le montre la figure ci-dessous.

De plus, la confrontation des résultats obtenus avec la méthode VLM combinée à un modèle d'interaction visqueuse d'une paire de tourbillons contrarotatifs, aux données expérimentales issues des travaux de thèse de B. Deveaux (ONERA, ANR Numericcs) montrent la capacité prédictive de l'outil avec un coût de calcul très faible, et ce pour des tailles de jeu allant de 0,5 à 13% de corde.



Chordwise evolution of the axial vorticity magnitude.

Tip gap sizes: $\tau_A > \tau_B > \tau_C$

Évolution de la vortacité axiale le long de la corde, pour trois tailles de jeu

Proposer de nouvelles méthodologies pour simuler le mélange et la dynamique des gaz d'échappement des moteurs d'hélicoptères

Romain PAYSANT

Thèse soutenue le 9 septembre 2021

ED 468 (MEGEP) - Mécanique, Énergétique, Génie civil, Procédés - Toulouse

Titre de la thèse

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

Encadrement

Département Multiphysique pour l'énergétique (DMPE)

Encadrant : Emmanuel Laroche - ONERA

Directeur de thèse : Pierre Millan

Financement

CIFRE Airbus Hélicoptères

Défi scientifique

La propulsion dans toute sa complexité

www.onera.fr/pss

AIRBUS

anrt
association nationale
recherche technologie



Université
de Toulouse

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

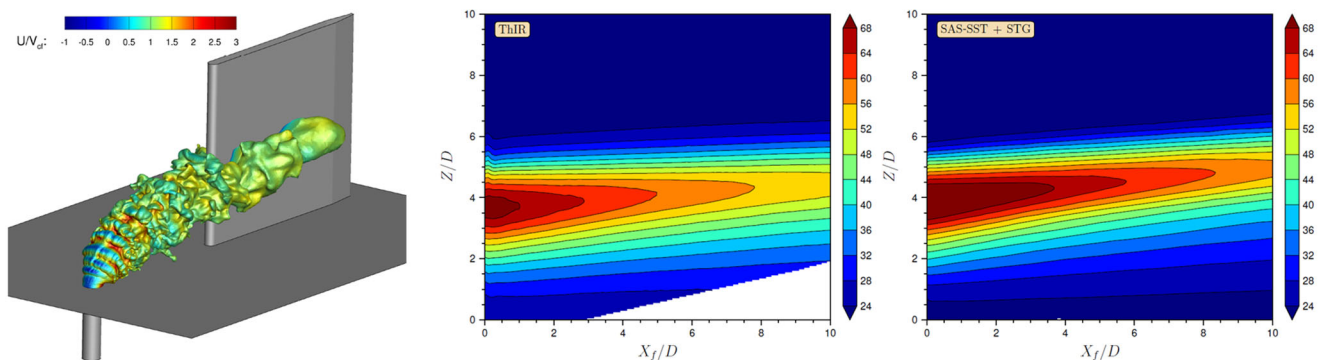
Contact : Emmanuel.Laroche@onera.fr

Résumé

Afin d'anticiper de potentiels problèmes thermiques liés à l'éjection de gaz d'échappements à haute température par les moteurs hélicoptères, les industriels ont de plus en plus recours à la simulation numérique. La simulation de la trajectoire et du mélange des gaz d'échappement est cependant complexe et peu intuitive. Elle implique notamment de reproduire correctement les mécanismes physiques tridimensionnels et instationnaires résultant de l'interaction entre le jet chaud issu des moteurs et l'écoulement externe composé du vent relatif, du souffle rotor et d'un potentiel effet de sol. Le jet et l'écoulement externe n'étant généralement pas orientés selon les mêmes directions, l'écoulement résultant peut être assimilé à un écoulement de type jet débouchant. Dans ce contexte, l'objectif de cette thèse était de proposer des méthodologies de simulation permettant de restituer le mélange et la dynamique de l'écoulement pour des jets débouchant représentatifs d'une application hélicoptère (fort niveaux de température et jet décollé de la paroi).

Dans un premier temps, une campagne d'essais a été réalisée dans la soufflerie F2 de l'ONERA. L'objectif était de constituer une base de données expérimentale détaillée pour des jets débouchant représentatifs d'une application hélicoptère. Cette base de données expérimentale a alors été utilisée afin d'évaluer la capacité de plusieurs modélisations RANS à restituer les aspects dynamique et thermique de ce type d'écoulement. L'utilisation de modélisations RANS plus avancées pour le flux de chaleur turbulent a également été étudié.

D'autre part, des simulations aux échelles résolues SAS-SST et LES ont été conduites et comparées aux données expérimentales. L'analyse du flux de chaleur turbulent résolu a permis d'évaluer la validité des modèles GDH et GGDH pour ce type d'écoulement. Finalement, une simulation SAS-SST a été réalisée sur une configuration industrielle basée sur une maquette d'hélicoptère.



Marc SCHOULER

Thèse soutenue le 7 décembre 2021
ED 467 (AA) - Aéronautique Astronautique - Toulouse

Titre de la thèse

**Modélisation des écoulements en régime hypersonique
raréfié : application aux satellites à très basse orbite et aux
objets en phase de rentrée atmosphérique**

Encadrement

Département Multiphysique pour l'énergétique (DMPE)

Directeurs de thèse : Luc Mieussens - IMB – INP Bordeaux
Ysolde Prévereaud - ONERA

Financement

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

Défi scientifique

La propulsion dans
toute sa complexité

www.onera.fr/pss

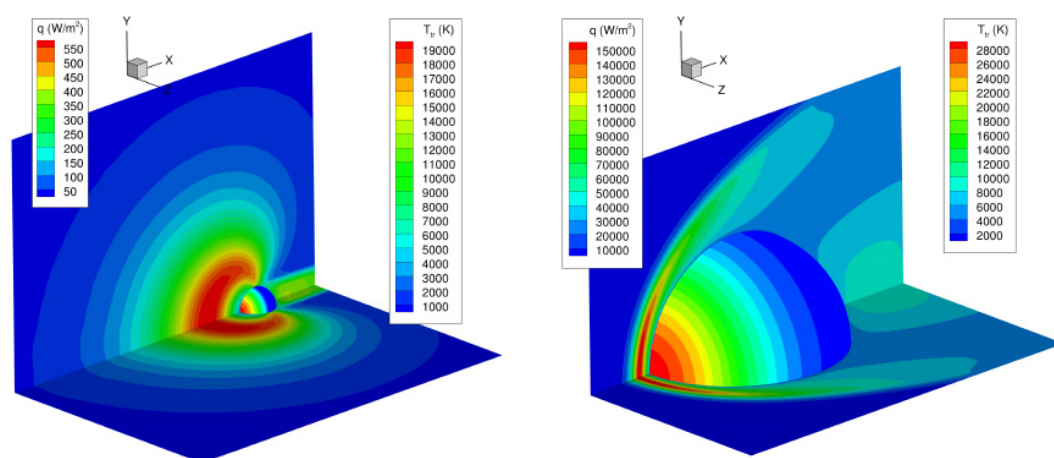


Contact : Ysolde.Prevereaud@onera.fr

Résumé

Pour le développement d'une nouvelle génération de satellites très basse orbite, il est fondamental de minimiser la traînée et les contraintes aérothermodynamiques afin de pouvoir se déplacer sur tout en garantissant l'intégrité de la charge utile. En parallèle, la loi d'opération spatiale de 2008 impose aux opérateurs français de limiter les risques liés aux débris spatiaux lors de leur désorbitation. De même, la conception de nouveaux véhicules de rentrée réutilisables nécessite une connaissance toujours plus aboutie des conditions de vol propres à une rentrée atmosphérique. L'atteinte de ces objectifs passe donc par la maîtrise de l'ensemble des contraintes aérodynamiques et aérothermodynamiques notamment à haute altitude. Dans ce cas, il convient d'utiliser des méthodes de résolution de l'équation de Boltzmann de type DSMC (Direct Simulation Monte-Carlo). Cependant, en raison du couplage fort existant entre la trajectographie, la forme de l'objet et l'écoulement, il est impossible d'élaborer une géométrie optimisée ni de simuler la rentrée atmosphérique complète avec des outils dits de « haute-fidélité ».

L'objectif de cette thèse est donc de développer des modèles réduits en régime hypersonique raréfié capables de déterminer les coefficients aérodynamiques et le flux de chaleur pariétal d'une géométrie quelconque en des temps de calcul très faibles. Les phénomènes propres aux écoulements hypersoniques raréfiés ont été étudiés en considérant plusieurs rentrées véhiculaires pour lesquelles des données de vol ont été obtenues. Des réseaux de neurones profonds ont été entraînés pour calculer les distributions de pression, de frottement et de flux de chaleur en tout point d'un véhicule. Enfin, l'évaluation de ces modèles par comparaison aux méthodes par panneaux actuellement utilisées dans la majorité des codes de rentrée a mis en avant le meilleur niveau de précision des méthodes d'apprentissage.



Simulations DSMC : flux de chaleur et températures
 $Minfini > 30$; Kn respectivement 14,1 et 0,014

THÈSES DE DOCTORAT

soutenues en 2021

PHYSIQUE

domaine scientifique

défi 8 - La propulsion dans toute sa complexité

Jean Carlos PORTO HERNANDEZ - Simulation cinétique d'un plasma magnétisé dans un propulseur à résonance cyclotron électronique à tuyère magnétique 58

défi 9 - Photonique et systèmes optroniques

Quentin BERTHOMÉ - Source paramétrique infrarouge agile en longueur d'onde pour la détection à distance de substances chimiques 60

Micke BOHER - Combinaison de nanostructures métalliques pour la réalisation de fonctions optiques dans l'infrarouge 62

Vincent CHAMBOULEYRON - Optimisation de l'analyse de surface d'onde par filtrage de Fourier pour les systèmes d'optique adaptative à hautes performances 64

Rodwane CHTOUKI - Source paramétrique infrarouge agile en longueur d'onde pour la détection à distance de substances chimiques 66

Audrey CHU - Couplage lumière-matière au sein de détecteurs infrarouges à base de nanocristaux colloïdaux 68

Maxime DUQUESNOY - Mise en œuvre de diapasons en spectroscopie photoacoustique : Étude comparative et nouveaux développements 70

Eslam EL SHAMY - Ingénierie de métasurfaces désordonnées pour le contrôle de propriétés optiques 72

Alice FABAS - Résonateurs de Helmholtz optiques simplifiés pour la détection de molécules 74

Maxence GUÉNIN - Analyse par voie algorithmique du signal clignotant dans les détecteurs matriciels : application à l'étude de l'effet du champ électrique dans un détecteur infrarouge refroidi à base de HgCdTe 76

Iva LAGINJA - L'imagerie à hauts contrastes pour les grands télescopes spatiaux du futur 78

Julien LAHYANI - Lidar 2,05 μm à source hybride fibrée/solide pour la télédétection du CO_2 atmosphérique 80

Thomas MIRAGLIO - Estimation de traits de végétation de canopées ouvertes méditerranéennes par télédétection hyperspectrale	82
Matthieu PINIARD - Contrôle en ligne du procédé <i>Laser Beam Melting</i> : apports de l'holographie numérique à deux longueurs d'onde	84
Léonard PRENGÈRE - Commande haute performance des systèmes d'optique adaptative classique, des grands aux extrêmement grands télescopes (ELT)	86
Simon REBEYROL - Apport d'une voie panchromatique pour le démélange d'images hyperspectrales	88
Bastien ROUZÉ - Interférométrie PISTIL pour le diagnostic de la combinaison cohérente de sources laser fibrées	90
Sandra SALGADO - Correction atmosphérique d'acquisitions hyperspectrales [0,4 - 2,5 μm] en présence de nuages	92

défi 10 - Électromagnétisme et radar

Salma EL IDRISSE ESSEBTEY - Apport des séries temporelles multifréquences issues du diffusiomètre sur tour TropiScat-2 pour l'observation radar des forêts tropicales. Application au contexte de la mission BIOMASS	94
Quentin HERBETTE - Gain des antennes et réflectivité des cibles en ondes de surface	96
Valentin LE MIRE - Modélisation de la propagation Terre-Espace en bande Ka dans les zones tropicales et équatoriales	98
Jeanne PAGÈS-MOUNIC - Contribution à la conception de <i>transmit-arrays</i> compacts en polarisation linéaire et circulaire en bande X	100
Hugo RAGAZZO - Caractérisation de champs électromagnétiques hyperfréquences par thermo-fluorescence	102

défi 12 - Capteurs et environnement spatial

Léopold DELAHAYE - Capteurs inertiels vibrants : architecture numérique et étalonnage	104
Océane DHUICQUE - Détermination de la sensibilité thermique de l'expérience MICROSCOPE pour le test du principe d'équivalence	106
Maxime LEVILLAYER - Développement de cellules solaires d'InGaAsN et caractérisation de leur dégradation dans un environnement spatial radiatif	108

Mieux connaître grâce à la simulation les interactions plasma/champ électromagnétique pour un nouveau concept de propulseur plasmique

Jean Carlos PORTO HERNANDEZ

Thèse soutenue le 18 octobre 2021

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

Titre de la thèse

Simulation cinétique d'un plasma magnétisé dans un propulseur à résonance cyclotron électronique à tuyère magnétique

Encadrement

Département Physique, instrumentation, environnement, espace (DPHY)

Encadrant : Paul-Quentin Elias - ONERA

Directeur de thèse : Andréa Ciardi - Sorbonne Université

Financement

ONERA

Défi scientifique

La propulsion dans toute sa complexité

www.onera.fr/pss

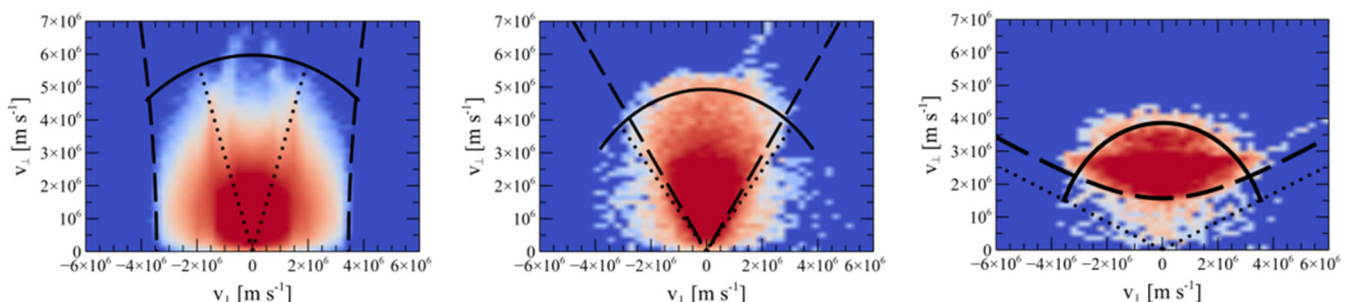


Contact : Paul-Quentin.Elias@onera.fr

Résumé

Cette thèse s'inscrit dans le cadre du développement d'un nouveau concept de propulseur plasmique appelé propulseur ECR (*Electron Cyclotron Resonance*) qui utilise des ondes électromagnétiques pour chauffer un plasma par résonance cyclotron électronique, qui est ensuite accéléré dans une tuyère magnétique. L'objet de ce travail est de simuler la création et l'expansion du plasma magnétisé.

Afin de mieux comprendre l'interaction entre les ondes électromagnétiques et le plasma, il a été nécessaire de développer une méthode *Particle-In-Cell* permettant un calcul auto-consistant des champs électromagnétiques. Pour la résolution des équations de Maxwell, une méthode numérique a été développée en se basant sur la méthode CIP (*Constrained Interpolation Profile*). Cette méthode semi-Lagrangienne permet d'utiliser de grands pas de temps lors des simulations des cas 2D plan et 3D tout en ayant une formulation explicite. Cependant, les algorithmes disponibles dans la littérature en 2D cylindrique sont limités à des $CFL \leq 1$ (Courant-Friedrichs-Lewy). Nous avons donc développé une procédure généralisant la méthode CIP pour traiter des $CFL > 1$ en géométrie 2D axisymétrique. Ces développements, intégrés au code électrostatique Particle-In-Cell/Monte-Carlo Module (PIC-MCC) de l'ONERA, ont permis des simulations PIC électromagnétiques auto-consistantes du propulseur en géométrie quasi-1D ($CFL=2.9$) et 2D axisymétrique ($CFL=1$). Le modèle 1D3V montre en particulier que l'énergie des électrons dans la direction perpendiculaire aux lignes de champ magnétique augmente près de la zone de chauffage et qu'elle pouvait présenter un second maximum dans la tuyère magnétique dû au confinement des électrons à haute énergie. De plus, la zone de chauffage s'étend 6 mm autour de la zone de résonance, ce qui est cohérent avec la valeur prédite par l'élargissement Doppler. Une analyse paramétrique avec ce modèle suggère que la diffusion des particules chargées vers les parois du propulseur est le mécanisme dominant de perte d'énergie par rapport aux collisions entre ces particules et les particules neutres. Enfin, les premiers résultats en 2D axisymétrique suggèrent qu'il y a une forte concentration d'électrons à haute énergie près de l'antenne du propulseur, en accord avec des observations expérimentales. Les outils développés pendant ce travail continueront à être exploités pour approfondir davantage notre connaissance sur le propulseur.



Concevoir et réaliser une nouvelle architecture de source laser pour la détection à distance de substances chimiques

Quentin BERTHOMÉ

Thèse soutenue le 25 mars 2021
ED 572 (EDOM) - Ondes et Matière - Paris-Saclay

Titre de la thèse

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

Encadrement

Département Physique, instrumentation, environnement, espace (DPHY)

Encadrant : Jean-Michel Melkonian - ONERA

Directeur de thèse : Antoine Godard - ONERA

Financement

CIFRE TEEM Photonics

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

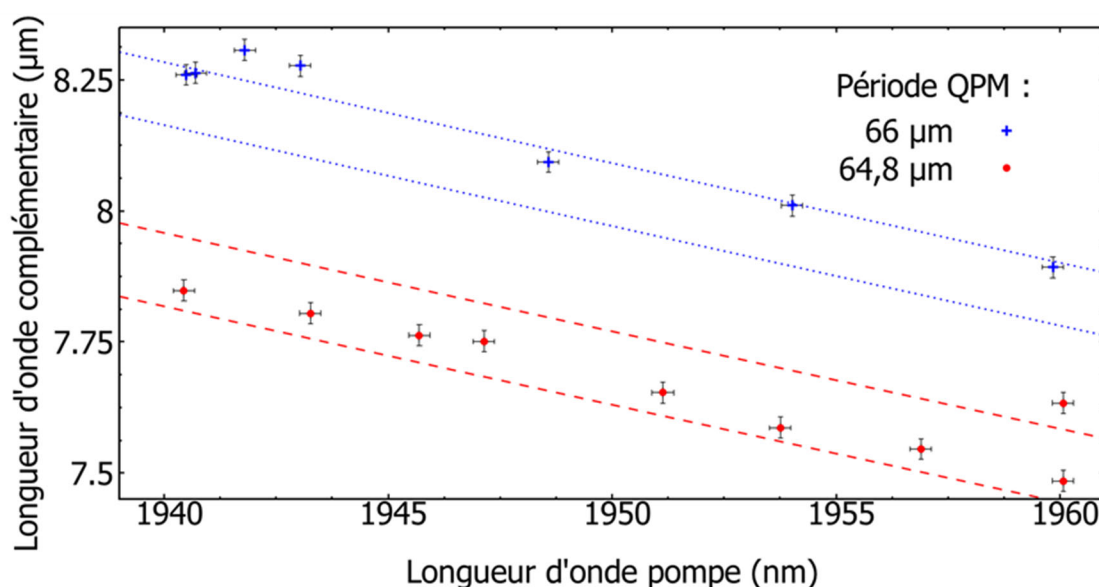
www.onera.fr/pss



Contact : Jean-Michel.Melkonian@onera.fr

Résumé

La spectrométrie d'absorption lidar constitue une solution éprouvée pour la détection à distance d'espèces chimiques gazeuses. Pour cette application, la troisième bande de transparence de l'atmosphère (bande III), entre 8 et 12 μm , est idéale car elle contient des raies d'absorptions caractéristiques de nombreuses espèces notamment les gaz de combat et les gaz industriels toxiques. Toutefois, la réalisation d'une source cohérente impulsionnelle très largement accordable dans toute la bande 8 – 12 μm avec un spectre étroit est un défi qui n'a été que partiellement relevé. Ce travail de thèse propose de démontrer comment réaliser une telle source bande III en s'appuyant sur des travaux antérieurs. L'oscillateur maître est un oscillateur paramétrique optique à cavités imbriquées (NesCOPO) avec un cristal d'OP-GaAs. Il est pompé par un laser Tm:YAP de pompe à 2 μm déclenché activement, et rendu accordable en longueur d'onde grâce à un réseau de Bragg en volume à pas transversalement variable. Un important effort de conception et de simulation est fourni pour garantir le fonctionnement monomode longitudinal du laser de pompe tout en maintenant sa cadence, sa puissance crête et son accordabilité. Enfin, grâce à cette source et à un dispositif de mesure en longueur d'onde par SFG entre la pompe et le signal adapté pour la mesure entre 8 et 12 μm , nous montrons expérimentalement que l'accord de la longueur d'onde de sortie d'un NesCOPO en faisant varier celle du laser de pompe est plus large et plus rapide que celui obtenu en faisant varier la température du cristal non linéaire du NesCOPO.



Longueur d'onde émise par l'oscillateur paramétrique optique à base d'OP-GaAs en fonction de la longueur du laser Tm:YAP de pompe

Utiliser les propriétés des nano-antennes Métal-Isolant-Métal pour combiner plusieurs fonctions optiques au sein d'un motif unique

Micke BOHER

Thèse soutenue le 16 septembre 2021
ED 626 (IPP) - Institut Polytechnique de Paris

Titre de la thèse

Combinaison de nanostructures métalliques pour la réalisation de fonctions optiques dans l'infrarouge

Encadrement

Département Optique et techniques associées (DOTA)

Encadrant : Julien Jaeck - ONERA

Directeur de thèse : Riad Haïdar - ONERA

Financement

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

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

www.onera.fr/pss



AGENCE
INNOVATION
DÉFENSE



INSTITUT
POLYTECHNIQUE
DE PARIS



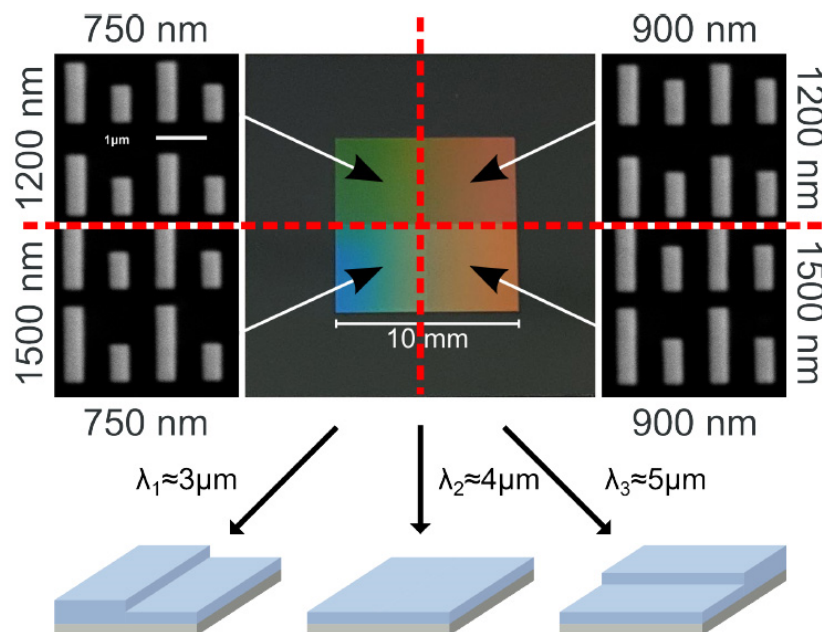
Contact : Julien.Jaeck@onera.fr

Résumé

Les métasurfaces à base de nano-antennes Métal-Isolant-Métal (MIM) sont particulièrement intéressantes pour la réalisation de fonctions optiques planes réfléchissantes. Ces structures permettent le contrôle local de la phase de la lumière avec une réflectivité supérieure à 80%. Elles ont de plus une section efficace d'interaction avec la lumière très grande devant leurs dimensions physiques. L'objectif de mon doctorat est d'utiliser cette dernière propriété afin de co-localiser différentes nano-antennes au sein d'un motif unique pour combiner plusieurs fonctions optiques.

En juxtaposant spatialement plusieurs antennes MIM, indépendantes les unes des autres sous certaines conditions, j'obtiens un dispositif ayant simultanément les comportements individuels des nano-antennes dans leurs bandes spectrales respectives de fonctionnement. En particulier, je réalise un dispositif spectroscopique ayant pour effet de co-localiser deux marches de phase orthogonales et spectralement exclusives de valeur π aux longueurs d'onde d'intérêt.

L'effet de ces marches de phase est observable au niveau de la fonction d'étalement de point d'un système optique et permet de transformer une information spectrale (représentative de la température de l'objet observé) en déformation spatiale (dont la reconnaissance est possible en traitement d'image). Je m'intéresse également à la mesure directe de ces sauts de phase par une expérience d'interférométrie à décalage latéral à quatre ondes afin de valider mes modélisations.



Photographie visible de l'échantillon réalisé
et images MEB des quatre quadrants du dispositif

Améliorer les performances des grands télescopes terrestres, présents et futurs, en optimisant l'analyse de surface d'onde

Vincent CHAMBOULEYRON

Thèse soutenue le 9 décembre 2021

ED 352 - Physique et science de la Matière - Aix Marseille

Titre de la thèse

Optimisation de l'analyse de surface d'onde par filtrage de Fourier pour les systèmes d'optique adaptative à hautes performances

Encadrement

Département Optique et techniques associées (DOTA)

Encadrants : Jean-François Sauvage - ONERA

Olivier Fauvarque - IFREMER

Directeurs de thèse : Thierry Fusco - ONERA

Benoît Neichel - LAM

Financement

Laboratoire d'Astrophysique de Marseille (LAM) + ONERA

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

www.onera.fr/pss



Contact : Jean-Francois.Sauvage@onera.fr

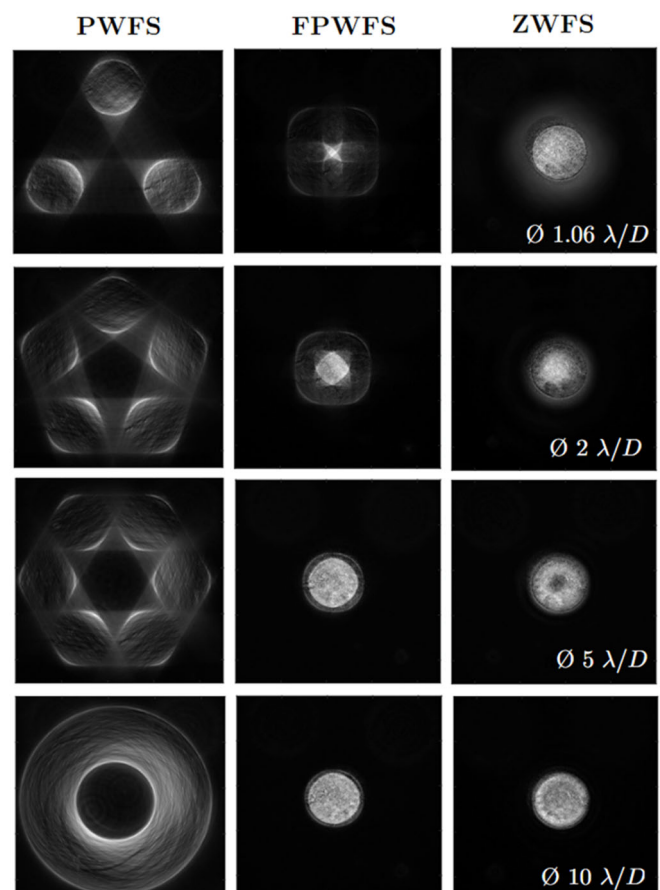
Résumé

Les projets titanesques d'*extremely large telescopes* suivent la trace des actuels télescopes de classe 8 m, dont les prouesses éclairent la science depuis plus de 20 ans. Mais la turbulence atmosphérique brouille les fronts d'onde de la lumière parvenant des astres, réduisant la résolution angulaire de ces géants à celle de simples télescopes amateurs. Aussi les scientifiques ont mis au point la technique d'optique adaptative (OA), qui équipe aujourd'hui tous les plus grands télescopes au sol. Motivé notamment par la chasse aux exoplanètes, des systèmes d'OA repoussant les limites de performances sont aujourd'hui mis au point. Les limites fondamentales de tels instruments reposent sur la qualité des mesures fournies par l'analyseur de surface d'onde (ASO), dont l'objectif est d'estimer les formes imprégnées par la turbulence sur les fronts d'onde. Cette qualité des mesures est définie par deux grands aspects : la sensibilité et la dynamique.

La thèse se concentre sur l'ASO à filtrage de Fourier. En s'appuyant sur un formalisme mathématique issu de travaux précédents, on développe une meilleure compréhension de la sensibilité. On mène alors une comparaison précise et inédite des différents éléments qui composent cette famille d'ASO. On en profite aussi pour proposer de nouveaux concepts de filtrage de Fourier permettant d'atteindre des sensibilités inégalées auparavant.

La dynamique, mise à rude épreuve, est tout autant cruciale pour assurer le bon fonctionnement des opérations. On aborde le concept essentiel des gains optiques quantifiant la non-linéarité. On propose ici un suivi à haute cadence, à l'échelle de chaque mesure de l'ASO, réalisé grâce au concept d'ASO à filtrage de Fourier assisté par imagerie plan focal. Cette solution, consistant à fusionner les données d'une image plan focal et les signaux délivrés par l'ASO, semble s'imposer comme une solution pratique de la gestion des non-linéarités très prometteuse.

Une partie plus expérimentale vient étayer tous ces travaux avec l'implémentation des nouveaux masques à filtrage de Fourier proposés sur le banc LOOPS au LAM d'un côté, et le développement du projet PAPYRUS visant à mettre sur ciel un analyseur pyramide assistée par imagerie en plan focal de l'autre.



Utiliser des phénomènes d'optique non linéaire pour générer de nouvelles longueurs d'onde amplifiables par communication cohérente

Rodwane CHTOUKI

Thèse soutenue le 16 décembre 2021
ED 572 (EDOM) - Ondes et Matière - Paris-Saclay

Titre de la thèse

Combinaison cohérente par contrôle actif de la phase appliquée aux oscillateurs paramétriques optiques

Encadrement

Département Optique et techniques associées (DOTA)

Encadrant : Pierre Bourdon - ONERA

Directeur de thèse : Antoine Godard - ONERA

Financement

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

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

www.onera.fr/pss



Contact : Pierre.Bourdon@onera.fr

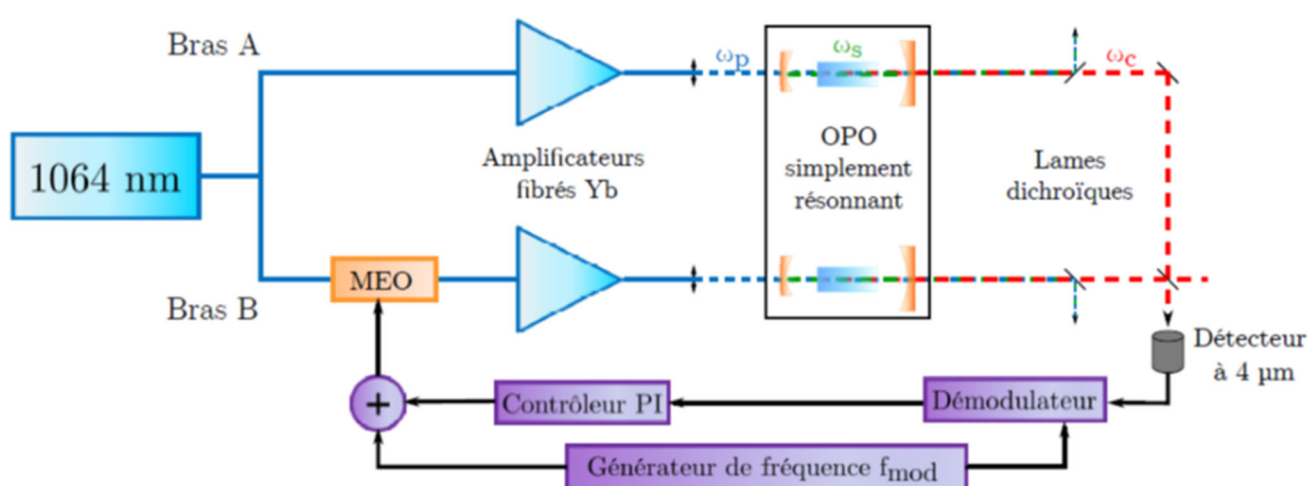
Résumé

Depuis plusieurs années, l'ONERA développe des techniques de combinaison cohérente par marquage en fréquence, permettant d'additionner efficacement la puissance laser émise par plusieurs sources laser fibrées.

Les lasers sont cependant limités en longueur d'onde disponible par la nature du milieu amplificateur utilisé, et peu possèdent une émission dans le proche et moyen infrarouge qui permet une bonne transmission dans l'atmosphère et un accès aux longueurs d'onde caractéristiques de certaines molécules (3 - 5 μm).

La solution pour pallier ce problème consiste à utiliser des phénomènes d'optique non linéaire où l'on peut générer de nouvelles longueurs d'onde à partir des longueurs d'onde laser disponibles. On peut ainsi utiliser la différence de fréquence (DFG) pour créer, à partir d'un laser de pompe à 1 μm et d'un faisceau proche infrarouge, un rayonnement dans le moyen infrarouge.

La première démonstration expérimentale de combinaison cohérente de DFG est développée avec une très bonne qualité de mise en phase. Afin d'obtenir des rendements plus importants, on place le milieu non linéaire au sein d'une cavité pour créer un oscillateur paramétrique optique (OPO). Une étude théorique préalable est menée afin de réaliser deux cavités semblables à l'aide du matériel à disposition au laboratoire, avant de procéder à des premiers tests de combinaison cohérente.



Description schématique du montage expérimental utilisé pour la combinaison cohérente d'oscillateurs paramétriques optiques

Augmenter le couplage lumière-matière au sein de films de nanocristaux afin d'améliorer leur propriétés d'absorption dans l'infrarouge

Audrey CHU

Thèse soutenue le 2 juillet 2021

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

Titre de la thèse

Couplage lumière-matière au sein de détecteurs infrarouges à base de nanocristaux colloïdaux

Encadrement

Département Optique et techniques associées (DOTA)

Encadrant : Grégory Vincent - ONERA

Directeur de thèse : Emmanuel Lhuillier - INSP

Financement

Agence de l'Innovation de Défense (AID) & European Research Council (ERC)

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

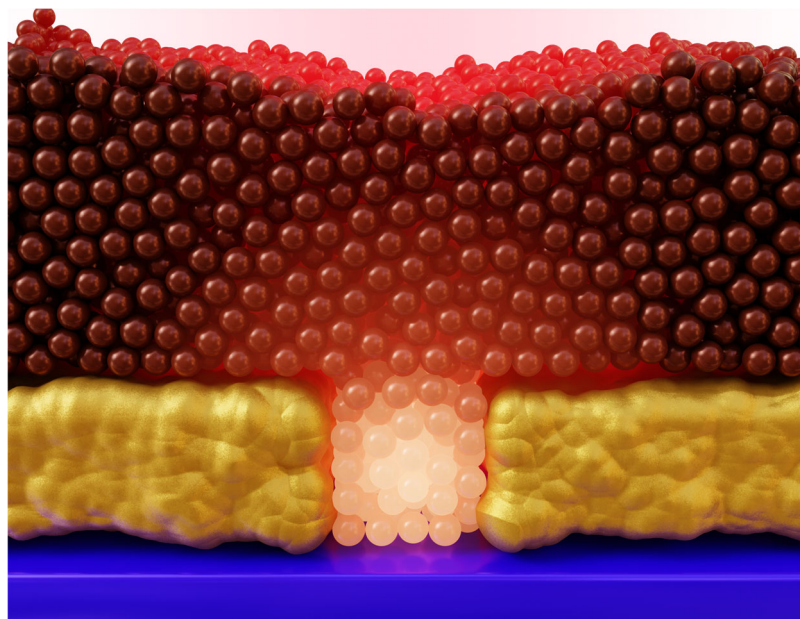
www.onera.fr/pss



Contact : Gregory.Vincent@onera.fr

Résumé

Ce travail de thèse explore une nouvelle filière technologique pour la photodétection infrarouge à bas-coûts. Les nanocristaux colloïdaux sont des nanoparticules dont la croissance se fait en solution. Lorsque la taille de ceux-ci est suffisamment faible, des effets de confinement quantique apparaissent et leurs propriétés optiques deviennent ajustables avec leur taille. Ces nanocristaux sont en particulier utilisés pour leur luminescence dans le visible mais peuvent aussi être utilisés pour réaliser de la photodétection dans la gamme infrarouge, pour un coût moindre que celui des matériaux épitaxiés. Par exemple, les nanocristaux de HgTe et PbS présentent des propriétés d'absorption dans l'infrarouge. Le mécanisme de transport au sein d'un film de ces matériaux induit leur utilisation sous forme de couches minces, réduisant l'absorption optique et conduisant à des performances modestes. Lors de cette thèse, Audrey a utilisé des nanorésonateurs afin d'améliorer l'interaction lumière-matière, augmentant ainsi l'absorption et donc la réponse des dispositifs optoélectroniques. Selon les matériaux des couches absorbantes et la géométrie des nanorésonateurs, Audrey a pu mesurer des détectivités jusqu'à $1e10$ Jones à $1,55\mu\text{m}$ et $2,5\mu\text{m}$. Cela représente une amélioration d'un à deux ordres de grandeurs par rapport aux dispositifs avec nanocristaux sans nanorésonateurs.



*Couche de nanocristaux déposés sur un film d'or avec une nanofente de 40nm de large
(vue d'artiste - C. Gréboval)*

Développer un capteur photoacoustique innovant pour la détection multi-gaz

Maxime DUQUESNOY

Thèse soutenue le 30 mars 2021
ED 572 (EDOM) - Ondes et Matière - Paris-Saclay

Titre de la thèse

Mise en œuvre de diapasons en spectroscopie photoacoustique : Étude comparative et nouveaux développements

Encadrement

Département Physique, instrumentation, environnement, espace (DPHY)

Encadrant : Jean-Michel Melkonian - ONERA

Directeur de thèse : Antoine Godard - ONERA

Financement

CIFRE Mirsense

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

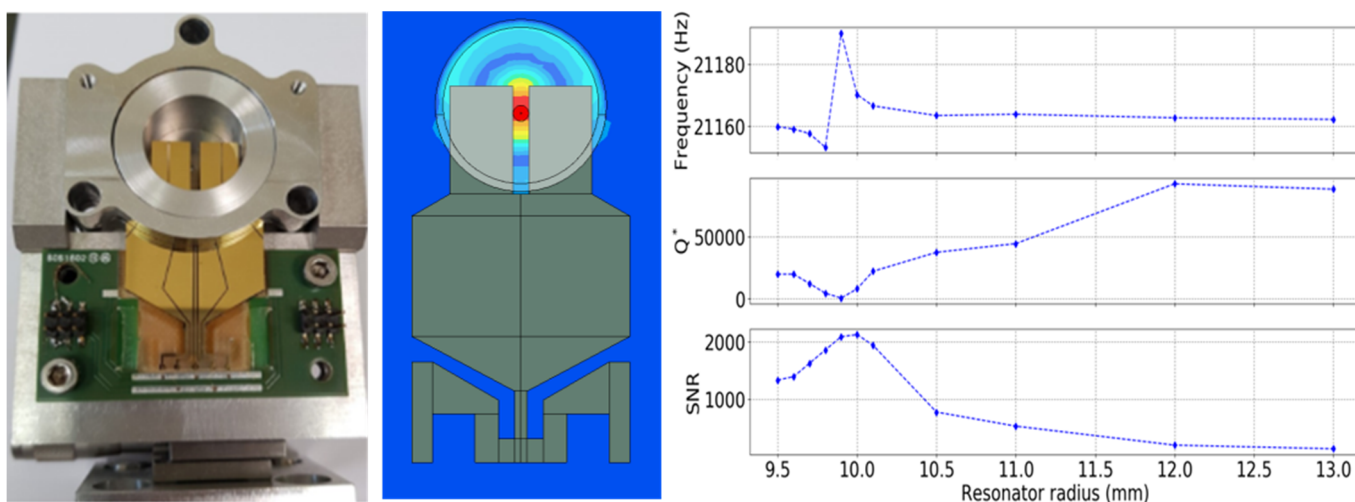
www.onera.fr/pss



Contact : Jean-Michel.Melkonian@onera.fr

Résumé

La spectroscopie photoacoustique est une technique de détection possédant une forte capacité multi-gaz. La détection est effectuée dans le domaine acoustique au moyen de microphones plutôt que dans le domaine optique à l'aide de photodétecteurs, rendant l'efficacité de détection indépendante de la longueur d'onde optique. En vue d'améliorer la détection acoustique, des diapasons en quartz ont récemment remplacé les microphones et peuvent être couplés à des résonateurs acoustiques. Le but de cette thèse est d'étudier leur utilisation afin notamment d'améliorer la limite de détection et l'immunité aux fonds acoustiques et vibratoires. Pour y parvenir, une comparaison des différentes techniques photoacoustiques est menée à travers un état de l'art approfondi ainsi qu'à l'aide de modèles. Les modèles analytiques et éléments finis pouvant décrire les différents résonateurs acoustiques ou mécaniques sont présentés. Puis ces modèles sont validés expérimentalement à travers de nombreux exemples de détecteurs, seuls ou couplés à des résonateurs acoustiques. Afin de comprendre les avantages et inconvénients des différentes techniques, un nouveau modèle unifié est introduit, permettant la description des phénomènes physiques ayant lieu. Suite à l'application de ce modèle, une nouvelle configuration ainsi qu'un nouveau résonateur acoustique sont présentés, pour améliorer la limite de détection. Ce dernier résonateur présente une détectivité similaire à l'état de l'art avec des contraintes de mises en œuvre fortement réduites. Enfin, un schéma de détection innovant en boucle fermée est décrit et modélisé, permettant la mise en place d'une mesure différentielle en un temps nettement inférieur aux schémas conventionnels. La discussion est élargie au positionnement des techniques photoacoustiques parmi les techniques d'absorption directe, permettant de déterminer l'intérêt respectif de chaque technique.



Résonateur mécanique en quartz et son résonateur acoustique. De gauche à droite : objet réalisé, simulation FEM, calcul des propriétés physiques

Améliorer les propriétés optiques d'antennes de dimensions sub-longueur d'onde

Eslam EL SHAMY

Thèse soutenue le 8 octobre 2021
ED 572 (EDOM) - Ondes et Matière - Paris-Saclay

Titre de la thèse

Ingénierie de métasurfaces désordonnées pour le contrôle de propriétés optiques

Encadrement

Département Optique et techniques associées (DOTA)

Encadrants : Patrick Bouchon & Julien Jaeck - ONERA

Directeur de thèse : Riad Haïdar - ONERA

Financement

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

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

www.onera.fr/pss



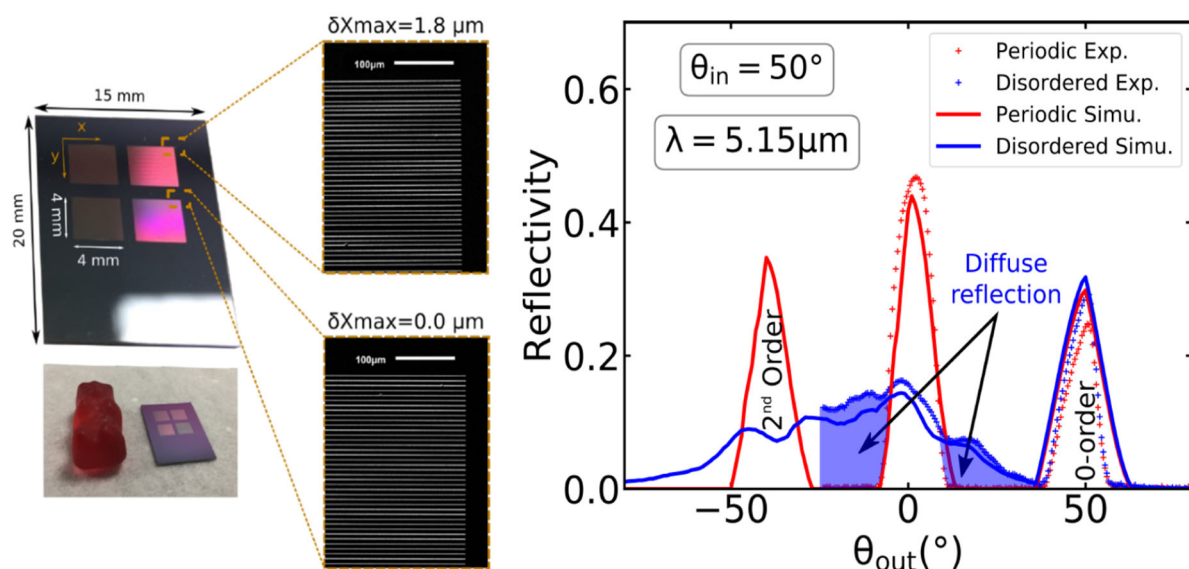
Contact : Patrick.Bouchon@onera.fr

Résumé

Les métasurfaces sont des objets artificiels qui offrent un contrôle sur les propriétés optiques en absorption, en phase et en polarisation. Elles sont généralement conçues à partir d'antennes de dimensions sub-longueur d'onde, répétées périodiquement pour couvrir de grandes surfaces. La périodicité simplifie la conception théorique et l'analyse expérimentale, mais elle introduit de la diffraction qui peut être néfaste aux applications, et par ailleurs elle n'est pas compatible avec toutes les techniques de fabrication. Les travaux de cette thèse se sont portés sur l'influence du désordre sur le comportement absorbant et radiatif de métasurfaces utilisant des résonateurs à gap plasmon comme brique de base.

Dans une première partie, la diffusion causée par l'introduction de désordre dans un ensemble 1D de nano-antennes Métal-Isolant-Métal (MIM) a été étudiée à l'aide d'une méthode modale. L'énergie est redistribuée de la diffraction ou de l'absorption vers la diffusion lorsqu'on introduit un désordre de position. Cette diffusion a la particularité d'être signée spectralement, et n'existe pas en dehors de la résonance de l'antenne. Ces prédictions théoriques ont été validées expérimentalement en exploitant le fait que la diffusion se fait uniquement dans un plan pour un réseau unidimensionnel.

Dans une deuxième partie, les résultats ont été étendus à un autre type de nano-antenne composé de sillons métalliques. Cette configuration se décrit par un modèle monomode, rendant possible une résolution électromagnétique quasi-analytique, qui de fait est plus rapide que des méthodes exactes. Des configurations plus complexes de désordre de résonateurs ont pu être étudiées. Ainsi, des combinaisons de résonateurs ayant des longueurs d'onde différentes, peuvent se voir affecter des désordres de position différents. Nous avons montré que le comportement d'une combinaison désordonnée peut se déduire des comportements individuels, étendant des résultats démontrés sur les combinaisons périodiques.



Concevoir une nanostructure simple à fabriquer, pour le développement d'un capteur de détection de molécules portable, spécifique et à coût réduit

Distinction

Prix doctorant ONERA
2021

Alice FABAS

Thèse soutenue le 3 décembre 2021
ED 626 (IPP) - Institut Polytechnique de Paris

Titre de la thèse

Résonateurs de Helmholtz optiques simplifiés pour la détection de molécules

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

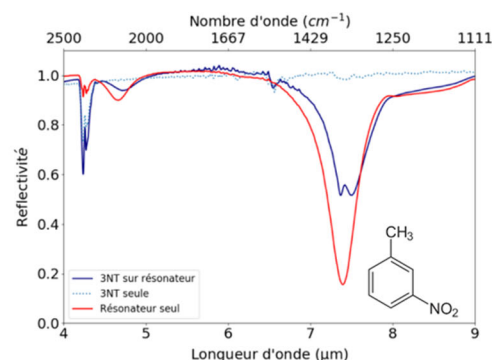
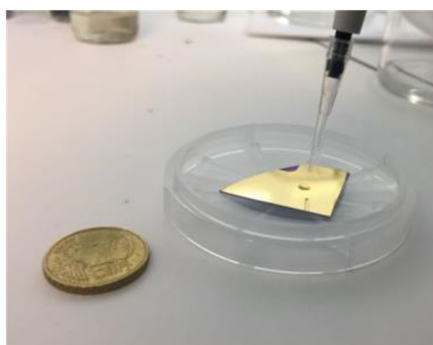
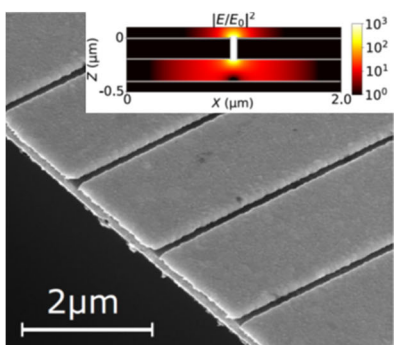
Résumé

La spectroscopie infrarouge est une technique d'identification des molécules basée sur l'étude de leurs absorptions vibrationnelles, véritables empreintes digitales de chaque espèce chimique. Cette technique est cependant limitée par sa faible sensibilité. Les nanostructures métalliques sub-longueur d'onde permettent de manipuler et de concentrer la lumière à leur surface. Ainsi, il est possible de concevoir des nano-résonateurs exaltant fortement l'intensité du champ électrique, à laquelle l'absorption moléculaire est proportionnelle. Celle-ci est donc également exaltée de plusieurs ordres de grandeur, réduisant le seuil de détection de l'absorption infrarouge. C'est cette technique appelée absorption infrarouge exaltée de surface (SEIRA) qui sera étudiée.

L'objectif de cette thèse est de concevoir une nanostructure simple à fabriquer et permettant le développement d'un capteur de détection de molécules portable, spécifique et à coût réduit, le tout en s'affranchissant de l'utilisation d'un spectromètre.

Pour cela, une géométrie simplifiée du résonateur de Helmholtz optique est étudiée. Celle-ci possède, entre autres, l'avantage de présenter un grand volume d'exaltation. Elle est appliquée aussi bien théoriquement qu'expérimentalement à la détection de la molécule de 2,4-dinitrotoluène. Un nouveau paradigme est proposé, basé sur l'optimisation du couplage du système comprenant le résonateur et les molécules à sa surface ; celui-ci permet d'augmenter les différences de réflectivité observées et donc la sensibilité de cette technique. Une quantification du signal SEIRA grâce à l'étude d'une matrice comprenant une gamme de fréquences limitée est également proposée.

Enfin, le résonateur de Helmholtz simplifié est étudié à travers le prisme des nano-circuits, ce qui permet de le modéliser simplement. Une configuration fonctionnant en transmission est envisagée, que ce soit pour des applications au filtrage spectral ou à la SEIRA. Les résultats obtenus soulignent le fort potentiel de la SEIRA et ouvrent la voie à de nouvelles possibilités d'applications pour la détection de molécules.



Développer un nouvel outil pour détecter et caractériser automatiquement les pixels clignotants d'une matrice de détecteur infrarouge

Maxence GUÉNIN

Thèse soutenue le 5 juillet 2021

ED 572 (EDOM) - Ondes et Matière - Paris-Saclay

Titre de la thèse

Analyse par voie algorithmique du signal clignotant dans les détecteurs matriciels : application à l'étude de l'effet du champ électrique dans un détecteur infrarouge refroidi à base de HgCdTe

Encadrement

Département Optique et techniques associées (DOTA)

Encadrante: Sophie Derelle - ONERA

Directrice de thèse : Isabelle Ribet - ONERA

Collaboration : Laurent Rubaldo - LYNRED

Financement

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

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

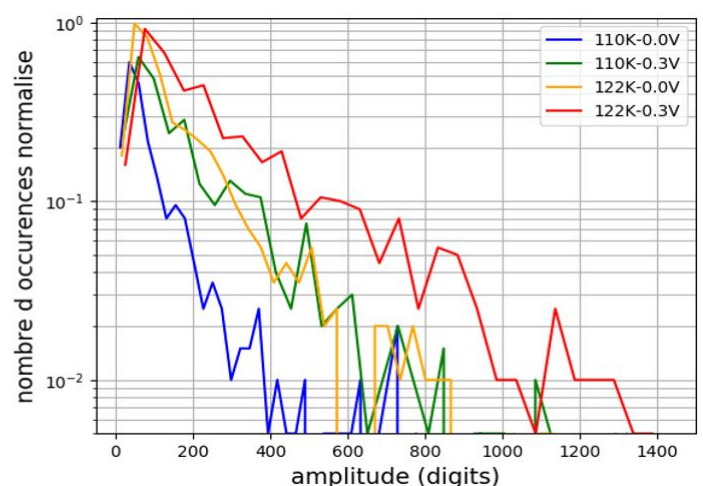
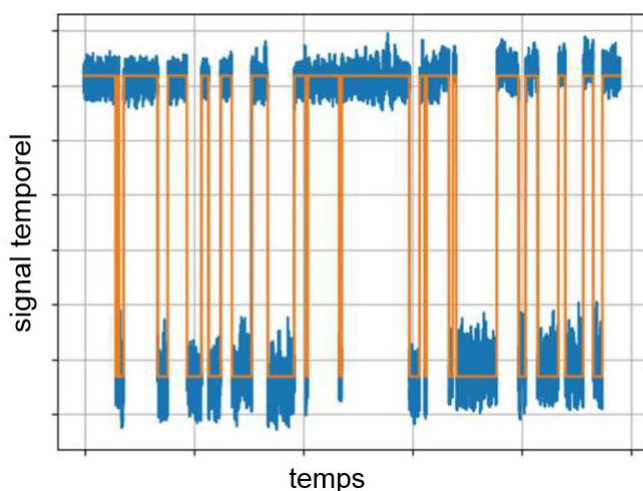
www.onera.fr/pss



Contact : Sophie.Derelle@onera.fr

Résumé

L'augmentation des exigences opérationnelles relatives aux détecteurs infrarouge, notamment l'augmentation de la température de fonctionnement et l'amélioration de la qualité image, amène la problématique de l'étude et de la réduction du nombre de pixels présentant du bruit basse fréquence, comme le bruit télégraphique (RTS pour Random Telegraph Signal) assimilable à un « clignotement ». L'objectif de cette thèse est de caractériser l'effet d'une des principales conditions environnementales d'un détecteur infrarouge matriciel à base de HgCdTe, la tension de polarisation, et donc le champ électrique appliqué aux photodiodes, sur les paramètres des pixels clignotants pour différentes températures de fonctionnement. Pour cela, nous avons été amenés à développer un nouvel outil de détection et de caractérisation automatique des pixels clignotants de la matrice. Son évaluation sur des signaux RTS simulés et réels a montré une bonne détectabilité ainsi qu'une caractérisation exhaustive du clignotement, et ce même en présence d'autres bruits basse fréquence. Cet outil nous a ensuite permis de réaliser une étude de l'effet de la tension de polarisation sur le nombre de pixels clignotants détectés, leur amplitude de saut, ainsi que leur fréquence de clignotement dans un détecteur en HgCdTe de technologie n/p. Nous avons en particulier montré que la tension de polarisation augmente le nombre de pixels détectés, ainsi que leur amplitude mais n'a pas d'effet manifeste sur leur fréquence de clignotement.



A gauche : Exemple de pixel clignotant (signal temporel mesuré en bleu, binarisation en orange)

A droite : Effet statistique de la tension de polarisation sur l'amplitude de clignotement

Contribuer à la performance des futurs télescopes spatiaux géants capables d'imager des « exoTerres »

Iva LAGINJA

Thèse soutenue le 15 décembre 2021

ED 352 - Physique et science de la Matière - Aix Marseille

Titre de la thèse

L'imagerie à hauts contrastes pour les grands télescopes spatiaux du futur

Encadrement

Département Optique et techniques associées (DOTA)

Encadrant : Jean-François Sauvage - ONERA

Directeurs de thèse : Laurent Mugnier - ONERA
Rémi Soummer - STScI

Financement

Space Telescope Science Institute (STScI) & ONERA

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

www.onera.fr/pss



STScI

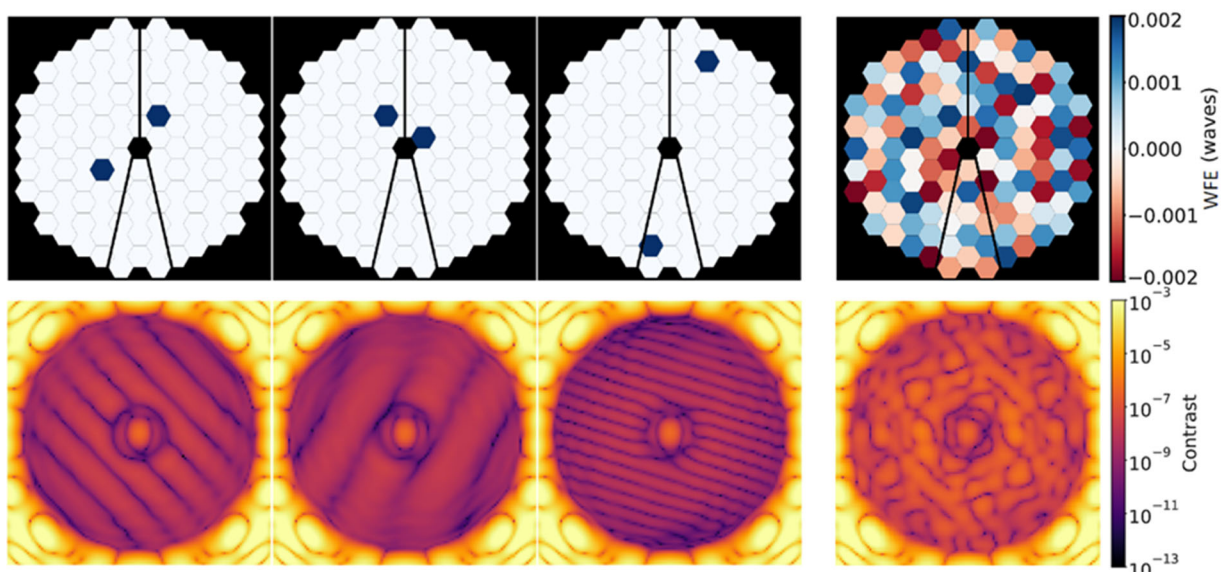
Aix*Marseille
université



Contact : Jean-Francois.Sauvage@onera.fr

Résumé

L'imagerie directe d'exoplanètes est une science en plein essor aujourd'hui. Les photos émis par l'exoplanète sont porteurs d'information sur la composition de son atmosphère, et témoins de biomarqueurs. Depuis la première planète imagée en 2004 (2M1207), des instruments dédiés à l'imagerie directe ont été mis en opération sur les plus grands observatoires au sol (Paranal, Gemini). Les planètes visées par ces systèmes sont des géantes gazeuses de type jupiters chauds. Le prochain défi est d'imager des planètes de plus petite taille, donc moins lumineuses, et proches de leur étoile hôte. Les futurs systèmes dédiés à ce type d'imagerie devront donc imager une planète plus proche que 0,1 arcseconde de son étoile, et jusqu'à 10^{10} fois plus ténue. Ces performances, inatteignables aujourd'hui, ne pourront être atteintes que dans l'espace à bord de télescopes géants qui seront forcément segmentés. La qualité optique nécessaire à une telle imagerie nécessitera par ailleurs une maîtrise parfaite du front d'onde, à des niveaux plus petits que le nanomètre. Cette thèse aborde des méthodes essayant de comprendre, détecter et contrôler ces aberrations avec des techniques de détection et de contrôle de front d'onde. Considérant que le but ultime est d'imager une Exo-Terre à un rapport de flux de 10^{-10} , le front d'onde dans ces systèmes doit être contrôlé au niveau du picomètre. Des stratégies pour la création et le maintien de contrastes profonds sur des télescopes à ouverture segmentée comme le télescope *Large UV/Optical/IR Surveyor* (LUVOST), l'un des modèles phares de la NASA, sont en cours de développement. En outre, des démonstrations en laboratoire de ces méthodes sont effectuées sur le banc optique *High-contrast imager for Complex Aperture Telescopes* (HiCAT), un démonstrateur au niveau du système pour la coronagraphie segmentée.



Effet des aberrations de segmentations sur une image à haut contraste

Développement d'un laser hybride fibre/solide compact et robuste pour la mesure du CO₂ atmosphérique depuis l'espace

Julien LAHYANI

Thèse soutenue le 10 décembre 2021
ED 626 (IPP) - Institut Polytechnique de Paris

Titre de la thèse

Lidar 2,05 μm à source hybride fibrée/solide pour la télédétection du CO₂ atmosphérique

Encadrement

Département Optique et techniques associées (DOTA)

Encadrant : Nicolas Cézard - ONERA

Directeur de thèse : Jean-Michel Hartmann - CNRS, LMD

Financement

Centre national d'études spatiales (CNES) & ONERA

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

www.onera.fr/pss



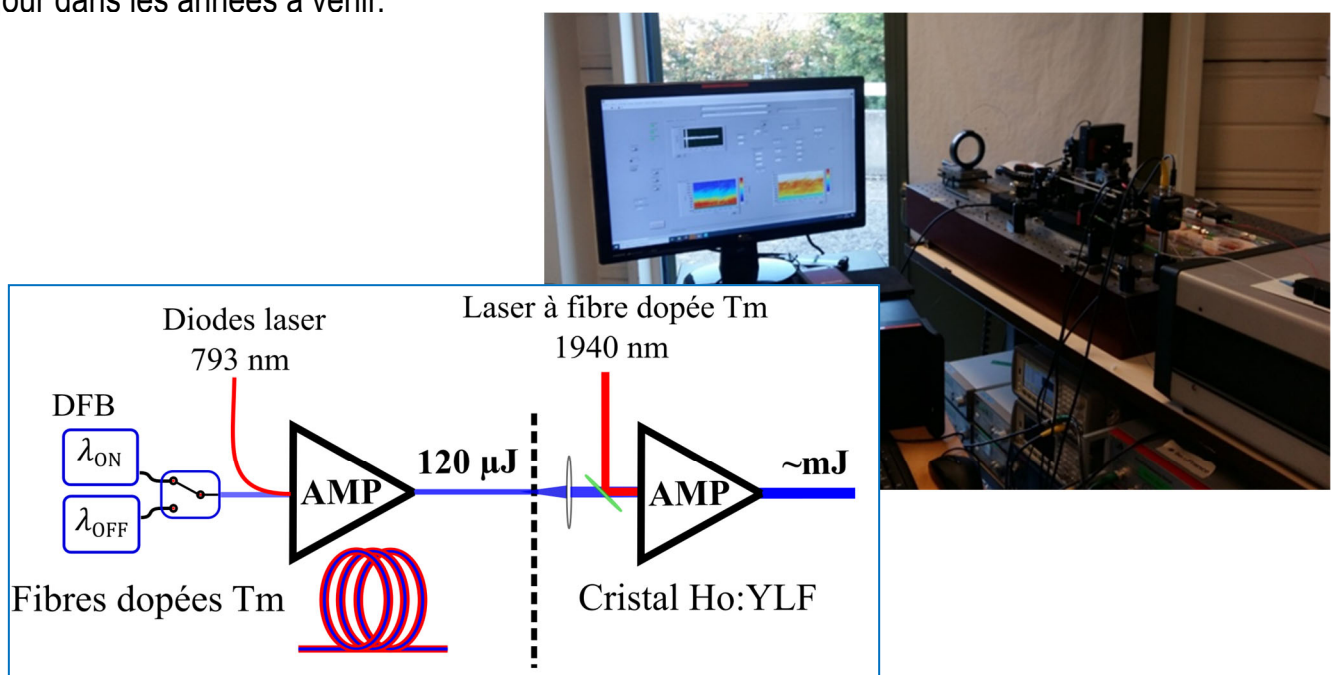
Contact : Nicolas.Cezard@onera.fr

Résumé

Dans un contexte de réchauffement climatique, il est essentiel de mieux comprendre et caractériser, à l'échelle planétaire, les cycles des principaux gaz à effet de serre, notamment du CO₂. Jusqu'ici, l'observation du CO₂ depuis l'espace était réalisée avec des sondeurs passifs. Cependant, l'emploi d'un Lidar sur satellite permettrait une couverture accrue ainsi qu'une réduction significative des biais de mesure. La thèse concerne le développement d'un laser 2,05 μm , compatible avec la mesure du CO₂ par absorption différentielle (DIAL), en vue d'une future mission spatiale.

Pour répondre à la double contrainte robustesse/performance imposée par l'application spatiale, nous proposons une approche dite hybride, associant un laser entièrement fibré et un amplificateur cristallin. La partie « tout fibré », intrinsèquement compacte, robuste et exempte d'alignement optique, a les propriétés requises mais l'énergie extractible par impulsion est limitée par des effets non-linéaires dans les fibres optiques. L'amplification en espace libre consiste en un simple passage dans un cristal Ho:YLF, nettement plus simple de mise en œuvre et moins sensible à l'alignement que les lasers en cavité espace libre. Ainsi, la source laser hybride conserve une importante robustesse, tout en atteignant des énergies importantes, inaccessibles aux amplificateurs fibrés mono-fréquences à 2,05 μm .

A une fréquence de répétition de 1 kHz, la source laser hybride fournit des impulsions de 9 mJ, pour une durée de 187 ns et une efficacité électro-optique de 2%, comparable avec les lasers d'autres missions lidar spatiales. Considérant ces résultats ainsi que les récentes avancées sur les détecteurs dans le proche infrarouge, une mission spatiale aux objectifs ambitieux pourrait voir le jour dans les années à venir.



Évaluer l'état d'une végétation de type méditerranéen par télédétection, sans connaissances terrain suffisantes

Thomas MIRAGLIO

Thèse soutenue le 7 octobre 2021
ED 323 (GEET) - Génie Électrique, Électronique, Télécommunications - Toulouse

Titre de la thèse

Estimation de traits de végétation de canopées ouvertes méditerranéennes par télédétection hyperspectrale

Encadrement

Département Optique et techniques associées (DOTA)

Encadrants : Karine Adeline - ONERA

Clément Atzberger - University of Natural Resources and Life Sciences

Directeurs de thèse : Xavier Briottet - ONERA

Susan Ustin - University of California Davis

Financement

Région Occitanie & ONERA

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques



www.onera.fr/pss



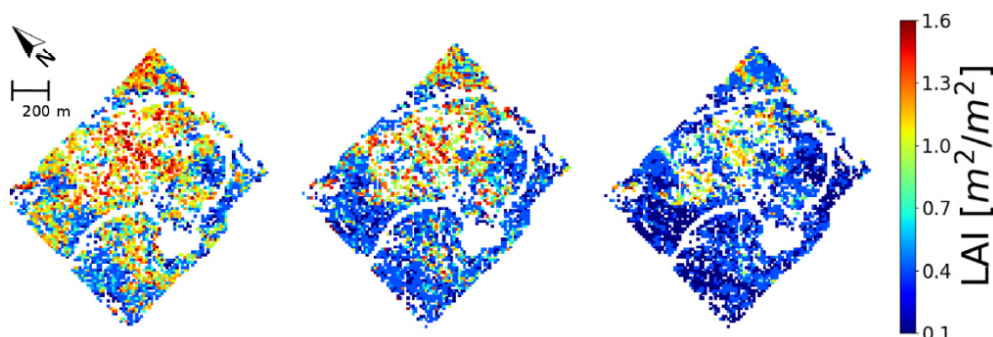
Contact : Xavier.Briottet@onera.fr

Résumé

Les pressions climatiques et anthropiques croissantes font des écorégions méditerranéennes des réservoirs exceptionnels de biodiversité – certains des écosystèmes les plus menacés. Les méthodes de télédétection aéroportée et satellitaire, qui peuvent permettre d'obtenir des estimations sur de vastes étendues de façon régulière, sont particulièrement adaptées aux futurs efforts globaux de suivi de la biodiversité végétale. Cependant, de nombreuses difficultés surviennent quand les écosystèmes imagés sont composés de canopées ouvertes, particulièrement présentes dans les régions méditerranéennes.

Cette thèse a pour objectif de développer des méthodes d'estimation de traits de végétation de canopées ouvertes, quand les connaissances terrains sont insuffisantes pour directement calibrer des modèles de régression. Initialement, des images aéroportées acquises avec un GSD de 18 m ont été utilisées. En utilisant le modèle DART, une modélisation simplifiée des forêts, avec des couronnes ellipsoïdales et un sol plat lambertien, a été démontrée suffisante pour réaliser des estimation de LAI et de contenus en pigments foliaires par méthode physique. Ensuite, des travaux exploratoires ont été menés pour identifier une méthode permettant d'estimer EWT et LMA de façon satisfaisante. Enfin, les différents résultats ont été utilisés pour estimer plusieurs traits de végétation à partir d'images hyperspectrales satellitaires synthétiques ayant des GSD de 8 m et 30 m en utilisant un méthode hybride.

La thèse a démontré que les méthodes physiques et hybrides étaient adéquates pour l'estimation de traits de végétation à partir d'images hyperspectrales satellitaires ayant des GSD de 8 à 30 m dans un contexte opérationnel, n'utilisant que peu ou pas de connaissances a priori.



LAI (indice de surface foliaire) estimée en 2013. De gauche à droite : printemps, été, automne

Développer un système de topographie plein champ du bain de fusion d'une machine de fabrication additive laser

Matthieu PINIARD

Thèse soutenue le 27 janvier 2021

ED 397 - Physique et Chimie des matériaux - Sorbonne Université

Titre de la thèse

**Contrôle en ligne du procédé Laser Beam Melting :
Apports de l'holographie numérique à deux longueurs d'onde**

Encadrement

Département Optique et techniques associées (DOTA)

Encadrant : Béatrice Sorrente - ONERA

Directeurs de thèse : Gilles Hug - ONERA-CNRS

Pascal Picart - ENSIM-LAUM

Financement

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

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

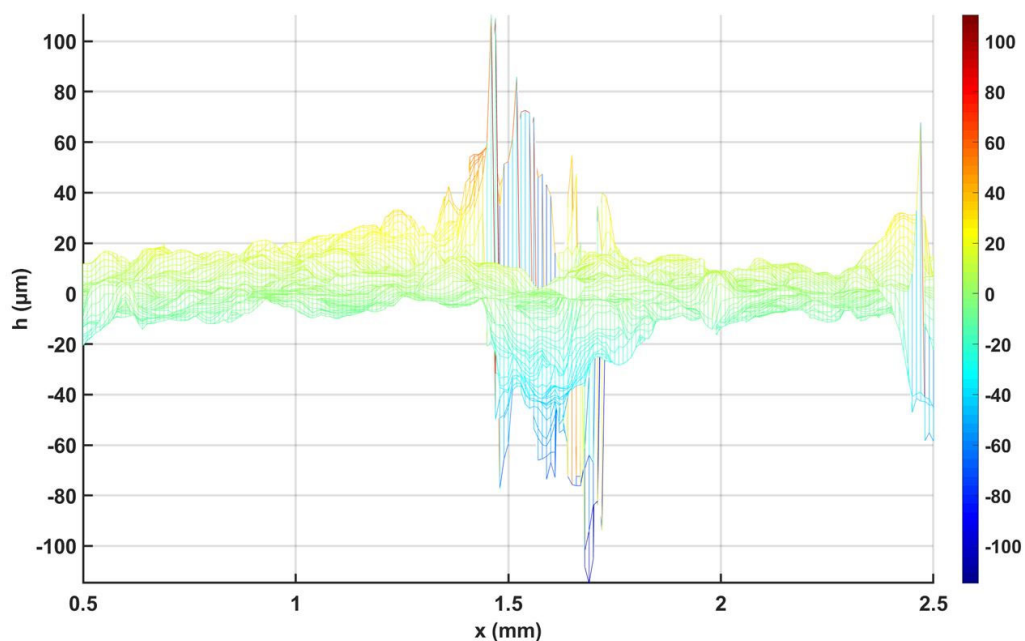
www.onera.fr/pss



Contact : [Beatrice.Sorrente @ onera.fr](mailto:Beatrice.Sorrente@onera.fr)

Résumé

Ce manuscrit décrit le développement d'un système d'holographie numérique à deux longueurs d'onde pour visualiser le bain de fusion d'une machine de fabrication additive laser (LBM). Après avoir constaté l'absence de moyens adaptés au contrôle plein-champ, temps-réel, in-situ de la topographie du bain de fusion et de la zone adjacente, il est montré qu'un système holographique à deux longueurs d'ondes présente tous les atouts pour atteindre cet objectif. Un banc holographique basé sur le principe du multiplexage spatio-chromatique d'hologrammes numériques hors-axes à deux longueurs d'ondes a alors été conçu. Une étude photométrique a permis de chiffrer les contributions des différents rayonnements en jeu et d'évaluer le niveau des sources de bruit. En particulier, un modèle analytique décrivant la contribution du bruit de décorrélation de speckle dû à la topologie de la surface inspectée a été développé. Une simulation réaliste des conditions expérimentales a permis de valider le modèle. Les études numérique et expérimentale ont notamment permis de choisir le couple de longueurs d'ondes utiles. Enfin, le système holographique a été implanté sur un banc simplifié LBM et la pertinence de notre concept de contrôle in situ et plein-champ du bain de fusion est démontrée. Pour traiter les hologrammes une méthode de compensation des fréquences spatiales des ondes porteuses a été proposée et validée afin de fournir une mesure topographique non biaisée. Les premiers résultats expérimentaux ont été obtenus avec la mesure de cordons statiques, de cordons en translation et de bains de fusion en condition in situ. Ces résultats ouvrent des perspectives à l'amélioration du banc et à des études quantitatives du bain de fusion.



Topographie d'un bain de fusion en régime de dépression obtenu avec une plaque de 316L, une vitesse de 100 mm/s et une puissance de 75 W

Développer de nouvelles stratégies de commande à haute performance adaptées aux systèmes d'optique adaptative à grand nombre de degrés de liberté

Distinction

Best PhD paper award -
conférence OPTRO
(2018)

Léonard PRENGÈRE

Thèse soutenue le 31 mars 2021

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

Titre de la thèse

Commande haute performance des systèmes d'optique adaptative classique, des grands aux extrêmement grands télescopes (ELT)

Encadrement

Département Optique et techniques associées (DOTA)

Encadrants : Jean-Marc Conan - ONERA

Henri-François Raynaud - IOGS-LCF

Directrice de thèse : Caroline Kulcsar - IOGS-LCF

Financement

Agence de l'Innovation de Défense (AID) & Institut d'Optique Graduate School (IOGS)

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

www.onera.fr/pss



Contact : Jean-Marc.Conan@onera.fr

Résumé

Les systèmes d'optique adaptative permettent de corriger les effets de la turbulence atmosphérique afin d'améliorer la résolution des télescopes astronomiques au sol. Afin d'obtenir des commandes à haute performance dans ce contexte, des commandes prédictives Linéaires Quadratiques et Gaussiennes (LQG) ont été proposées notamment afin de compenser les retards inhérents à la boucle d'asservissement de l'optique adaptative. La thèse développe tout d'abord des modèles qui exploitent des connaissances a priori sur les profils de vent et d'énergie des couches turbulentes afin d'augmenter la performance de l'asservissement. L'élaboration de régulateurs LQG avec une reconstruction soit multicouche, soit en phase résultante, dans des bases zonales ou de Zernike, et leur étude par simulation numérique, permet de sélectionner les modèles les plus pertinents. De plus, les systèmes d'optique adaptative des télescopes astronomiques de nouvelle génération présentent un nombre de degrés de liberté jamais atteint à ce jour : par exemple, l'Extremely Large Telescope (ELT) européen, dans son mode le plus simple, compte plus de cinq mille actionneurs sur son miroir déformable principal, et une dizaine de milliers de mesures de front d'onde. La thèse étudie différentes solutions de commande dédiées aux ELT avec comme ligne directrice le développement de modèles creux dont l'identification est très rapide. Les travaux mettent notamment l'accent sur les bonnes propriétés des modèles exprimés dans la base de Karhunen-Loève, bénéficiant des propriétés d'orthogonalité géométrique et stochastique de cette base, et évitant les approximations inhérentes aux modélisations en base zonale proposées dans la littérature. Des comparaisons de performance de ces différents régulateurs sont présentées dans un cas ELT et ouvrent des perspectives très prometteuses pour la commande à haute performance des systèmes d'optique adaptative des ELT.



*Vue d'artiste de l'Extremely Large Telescope (ELT) sur le Cerro Armazones, dans le nord du Chili
(Crédit : ESO/L. Calçada/ACe Consortium)*

Concevoir d'une nouvelle méthode de démixage pour mieux évaluer la nature des sols imagés par les satellites de télédétection

Simon REBEYROL

Thèse soutenue le 9 juin 2021

ED 475 (MITT) - Mathématiques Informatique Télécommunications de Toulouse

Titre de la thèse

Apport d'une voie panchromatique pour le démixage d'images hyperspectrales

Encadrement

Département Optique et techniques associées (DOTA)

Encadrants : Véronique Achard & Xavier Briottet - ONERA
Stéphane May - CNES

Directeur de thèse : Yannick Deville - IRAP

Financement

Centre national d'études spatiales (CNES) & ONERA

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

www.onera.fr/pss

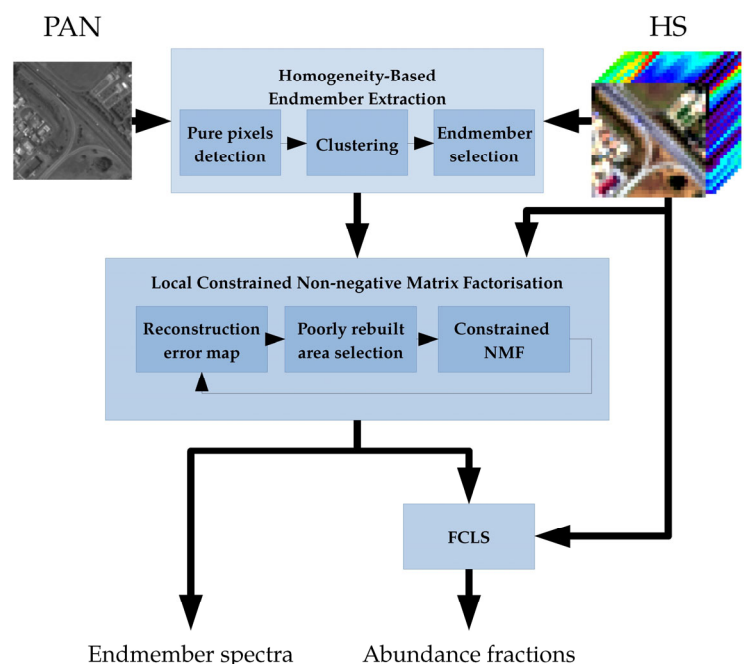


Contact : Veronique.Achard@onera.fr

Résumé

Le démelange hyperspectral est un domaine de recherche largement étudié visant à estimer les signatures de matériaux purs (pôles de mélange) et leurs fractions d'abondance dans des images hyperspectrales. La plupart des méthodes de démelange spectral sont basées sur des hypothèses telles que l'existence d'au moins un pixel pur pour chaque matériau. Ce travail présente une nouvelle approche visant à s'affranchir de certaines de ces hypothèses en introduisant une image satellite panchromatique (PAN) co-registrée à une image satellite hyperspectrale (HS) dans le processus de démelange. Cette méthode, appelée Heterogeneity-Based Endmember Extraction coupled with Local Constrained Non-negative Matrix Factorization (HBEE-LCNMF), comporte plusieurs étapes : un premier ensemble de pôles de mélange est estimé sur la base d'un critère d'hétérogénéité appliqué à l'image PAN, suivi d'un clustering spectral. Afin de compléter ce premier ensemble de pôles de mélange, une approche locale utilisant une stratégie de factorisation de matrices non négatives sous contrainte est ensuite proposée. Les performances de HBEE-LCNMF sont comparées à celles de méthodes de l'état de l'art sur des données satellite synthétiques et semi-synthétiques décrivant des scènes urbaines et périurbaines, et en considérant les caractéristiques de la mission française HYPXIM/HYPEX2/BIODIVERSITY. Les images synthétiques sont construites à partir de réflectances spectrales réelles et ne contiennent pas un pixel pur pour chaque pôle de mélange. Les images satellites semi-synthétiques sont simulées à partir d'une image HS aéroportée avec les caractéristiques spatiales et spectrales de cette mission. Cette thèse démontre l'intérêt d'utiliser une combinaison PAN/HS pour réduire certaines limitations bien connues du démelange dans des données hyperspectrales. Sur les données synthétiques, notre méthode réduit l'angle spectral entre les pôles de mélange et les spectres des matériaux réels de 46% par rapport aux méthodes VCA (Vertices Components Analysis) et N-FINDR. Sur des données réelles, HBEE-LCNMF et d'autres méthodes donnent des performances équivalentes, mais la méthode proposée montre une plus grande robustesse sur les images testées par rapport aux méthodes de l'état de l'art. De plus, la méthode HBEE-LCNMF ne nécessite pas de connaître au préalable le nombre de pôles de mélange.

Schéma décrivant la méthode de démelange spectral HBEE-LCNMF



Rendre plus efficace la combinaison cohérente de sources laser fibrées afin de pouvoir augmenter la puissance des systèmes laser

Distinction

Second prix

« best student paper »
à la conférence
Photonics West 2021

Bastien ROUZÉ

Thèse soutenue le 30 novembre 2021
ED 572 (EDOM) - Ondes et Matière - Paris-Saclay

Titre de la thèse

Interférométrie PISTIL pour le diagnostic de la combinaison cohérente de sources laser fibrées

Encadrement

Département Optique et techniques associées (DOTA)

Encadrante : Cindy Bellanger - ONERA

Directeur de thèse : Jérôme Primot - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

www.onera.fr/pss

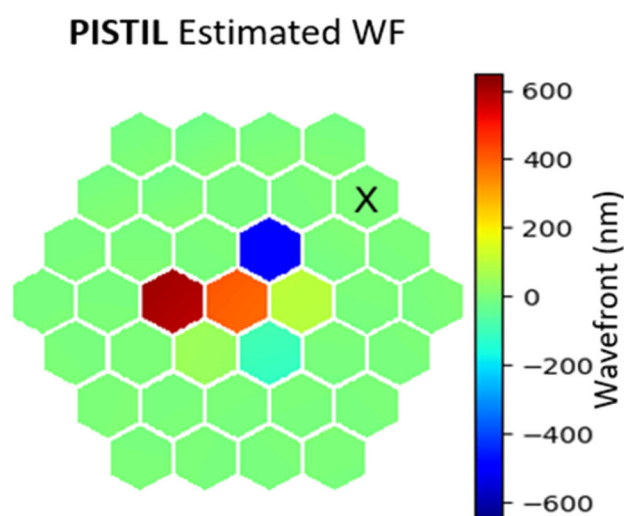
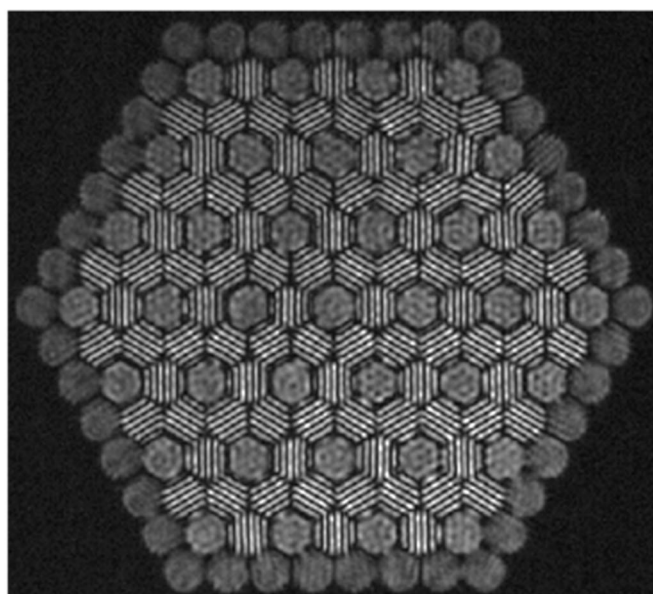


Contact : Cindy.Bellanger@onera.fr

Résumé

La combinaison cohérente de sources laser fibrées et amplifiées (CBC) se présente comme une des solutions d'intérêt pour augmenter les puissances crêtes et moyennes des systèmes laser, ainsi que les rendre versatiles grâce à de la mise en forme de faisceau. Pour réaliser une telle combinaison, il est nécessaire de connaître et de contrôler au moins le piston de phase de chaque faisceau. Pour gagner en efficacité, il faut aussi contrôler d'autres paramètres tels que les alignements des fibres (tips/tilts) ou les délais d'impulsion dans le cas des faisceaux ultracourts.

Dans cette thèse, je propose d'utiliser l'interférométrie PISTIL pour mener un diagnostic de phase de ces systèmes laser CBC. L'interférométrie PISTIL a été conçue pour mesurer les variations de piston, tip et tilt d'une surface d'onde segmentée composée des NF faisceaux du champ proche d'un laser CBC. Je développe des principes de propagation des faisceaux dans l'instrument ainsi qu'un traitement des interférogrammes obtenus. Je présente ensuite trois expériences. La première, en laboratoire sur un miroir segmenté, a permis de valider à la fois les fonctions principales et les caractéristiques du concept. Les deux autres sont conduites sur deux lasers CBC, validant la maquette de l'instrument dans deux environnements représentatifs réels (en extérieur et en laboratoire utilisant un laser haute-puissance). Les prototypes PISTIL construits ont ainsi menés les premiers diagnostics de systèmes laser CBC en boucle ouverte et fermée.



Proposer une méthode de correction atmosphérique en présence de nuages à partir d'une unique image hyperspectrale

Sandra SALGADO

Thèse soutenue le 23 juillet 2021

ED 323 (GEET) - Génie Électrique, Électronique, Télécommunications - Toulouse

Titre de la thèse

Correction atmosphérique d'acquisitions hyperspectrales [0,4 - 2,5 μm] en présence de nuages

Encadrement

Département Optique et techniques associées (DOTA)

Encadrants : Laurent Poutier - ONERA

Sandrine Mathieu - Thales Alenia Space

Directeur de thèse : Xavier Briottet - ONERA

Financement

Thales Alenia Space & ONERA

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

www.onera.fr/pss

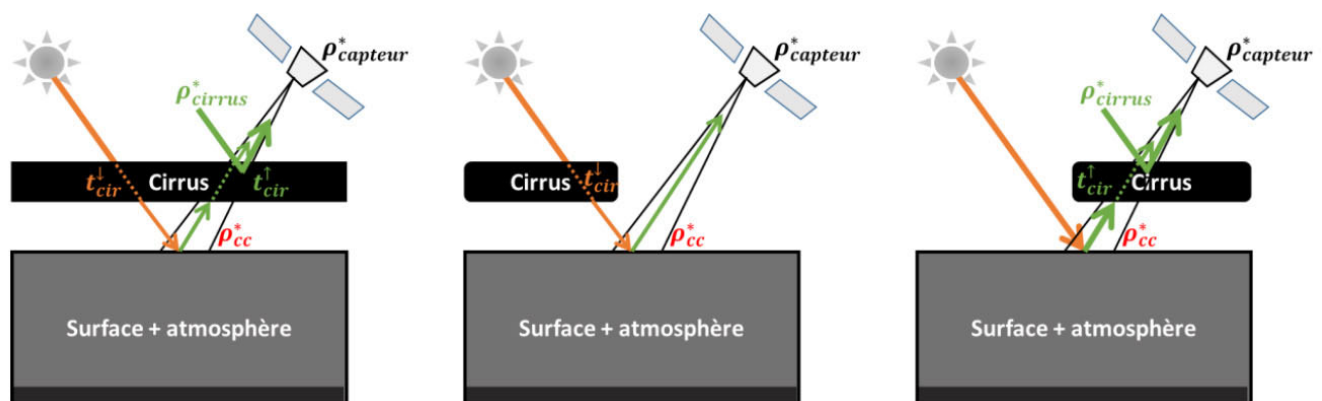


Contact : Laurent.Poutier@onera.fr

Résumé

L'essor de la télédétection optique a permis des avancées majeures dans notre compréhension du fonctionnement de notre Terre, avec des applications terrestres, maritimes et météorologiques. Reposant sur l'exploitation d'un rayonnement électromagnétique, les capteurs enregistrent le signal de la scène en trois dimensions : deux dimensions spatiales et une dimension spectrale. On obtient ainsi une signature spectrale en chaque point de l'image. Parmi les capteurs optiques, les capteurs hyperspectraux, sensibles dans le domaine du visible à l'infrarouge courte longueur d'onde (0,4-2,5 μm), permettent d'acquérir le signal incident dans un grand nombre de bandes spectrales, étroites et contiguës. Le signal enregistré est composé de plusieurs contributions radiatives issues de la surface, mais également de l'atmosphère. Une étape de correction atmosphérique est alors nécessaire afin de s'affranchir des effets de l'atmosphère et de remonter aux propriétés intrinsèques de la surface : la réflectance de surface. Cette étape est aujourd'hui très bien maîtrisée en conditions de ciel clair. Or les nuages recouvrent environ les deux-tiers de la surface terrestre, modifiant les effets radiatifs sur la scène par rapport au ciel clair et rendant la correction atmosphérique plus complexe.

L'objectif de cette thèse est de proposer une méthode de correction atmosphérique en présence de nuages à partir d'une unique image hyperspectrale.



Modèle à 2 couches dans les 3 situations nuageuses.

Enrichir les connaissances sur l'interaction des micro-ondes avec la végétation dense, pour améliorer la surveillance radar de la biomasse des forêts tropicales

Salma EL IDRISSE ESSEBTEY

Thèse soutenue le 15 décembre 2021

ED 467 (AA) - Aéronautique Astronautique - Toulouse

Titre de la thèse

Apport des séries temporelles multifréquences issues du diffusiomètre sur tour TropiScat-2 pour l'observation radar des forêts tropicales ; Application au contexte de la mission BIOMASS

Encadrement

Département Électromagnétisme et radar (DEMR)

Directeurs de thèse : Pierre Borderies - ONERA
Ludovic Villard - CESBIO

Financement

Centre national d'études spatiales (CNES) & ONERA

Défi scientifique

Électromagnétisme
et radar

www.onera.fr/pss



Université
de Toulouse

Contact : Pierre.Borderies@onera.fr

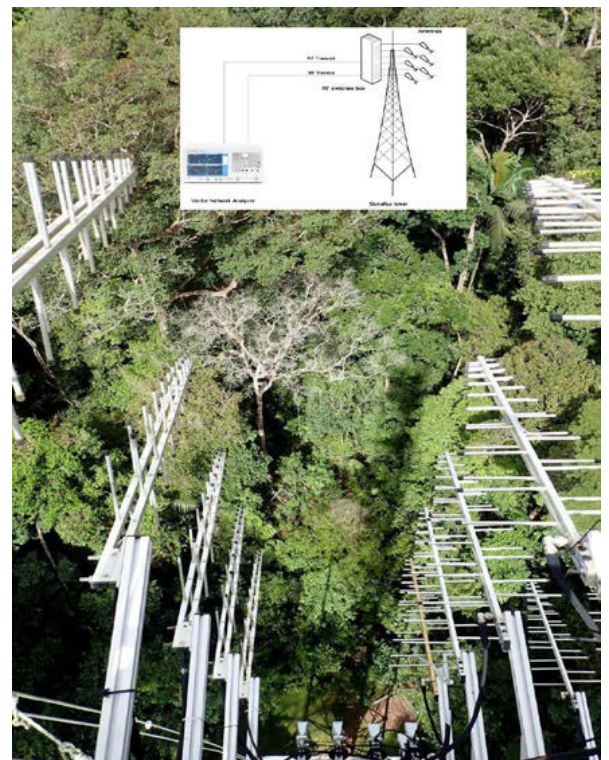
Résumé

Les expérimentations de proximité constituent un outil essentiel de télédétection de la Terre car elles permettent d'acquérir de longues séries temporelles de mesures pouvant anticiper et accompagner le développement de nouvelles technologies spatiales. Dans le cadre de la préparation de la mission spatiale BIOMASS, le diffusiomètre TropiScat-2 installé sur la tour Guyaflux (Guyane) a permis d'étendre et de consolider l'expérimentation initiale TropiScat. BIOMASS constituera le premier radar imageur (SAR) en bande P ($\lambda = 70$ cm) dont l'objectif est de cartographier la quantité de carbone stockée dans les forêts et son évolution dans le temps grâce à des mesures inédites en configuration *repeat-pass* interférométrique et tomographique.

À partir des séries multifréquences inédites de l'expérimentation TropiScat-2, le travail de la thèse vise à caractériser et comprendre les variations temporelles du signal radar rétrodiffusé sur un site de forêt tropicale dense. Les mesures en bandes P, L et C ont été acquises de façon quasi-synchrone toutes les 15 minutes, constituant une base de données d'environ deux années. L'exploitation de ces données a été réalisée grâce à des algorithmes implémentés au cours de ce travail, se basant d'une part sur les réponses impulsionnelles issues des mesures fréquentielles, et d'autre part sur la formation de tomogrammes dans le cas des données bande P. L'exploitation des séries temporelles bande P a permis de quantifier la décorrélation temporelle d'une forêt tropicale à long terme, selon des intervalles de temps clés des scénarii d'acquisition de BIOMASS.

Des pistes de synergies inter-fréquences ont pu être initiées à travers l'exploitation simultanée des séries temporelles en bandes P, L et C. Ces mesures quasi-synchrones ont permis de caractériser les liens entre les trois fréquences que ce soit pour les cohérences ou les intensités.

Ce travail de thèse a permis de souligner le rôle de la décorrélation temporelle non seulement comme une source de perturbation pour les applications cohérentes mais également comme un indicateur pertinent de l'évolution des forêts. De plus, les résultats obtenus permettent d'enrichir nos connaissances sur l'interaction des micro-ondes avec la végétation dense, sur lesquelles pourront se baser des scénarii d'acquisition innovants pour BIOMASS, en lien avec d'autres missions à plus haute revisite temporelle.



Réseau d'antennes P et L (haut) et antennes C (au fond) + la tour Guyaflux

Caractériser, étudier les radars à ondes de surface pour améliorer leur efficacité opérationnelle

Quentin HERBETTE

Thèse soutenue le 3 décembre 2021

ED 391 (SMAER) - Sciences Mécaniques, Acoustique, Électronique & Robotique - Sorbonne Université

Titre de la thèse

Gain des antennes et réflectivité des cibles en ondes de surface

Encadrement

Département Électromagnétisme et radar (DEMR)

Encadrant : Stéphane Saillant - ONERA

Directeur de thèse : Marc Hélier - Sorbonne Université

Financement

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

Défi scientifique

Électromagnétisme
et radar

www.onera.fr/pss



**AGENCE
INNOVATION
DÉFENSE**



**SORBONNE
UNIVERSITÉ**
CRÉATEURS DE FUTURS
DEPUIS 1257

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

Contact : Stephane.Saillant@onera.fr

Résumé

Les radars HF (entre 3 et 30 MHz) ont la capacité de détecter des cibles au-delà de l'horizon radioélectrique. Des radars de ce type ont déjà été testés par l'ONERA, notamment plusieurs radars à ondes de surface (ROS). Cependant, certains aspects liés à la propagation en ondes de surface restent encore à l'étude. En effet, les ondes de surface se propagent en incidence rasante, dans deux milieux (l'air et la mer). Dans ce cas, l'onde ne peut pas être considérée comme plane et homogène. Ainsi, l'amplitude du champ électromagnétique ne suit pas la loi de décroissance habituelle, inversement proportionnelle à la distance. Par conséquent, les définitions classiques du gain et de la SER, établies pour une propagation en espace libre, ne sont alors théoriquement plus applicables. Par ailleurs, on sait bien que l'environnement d'utilisation des antennes de radars HF a une forte influence sur leurs caractéristiques de rayonnement.

L'objectif de ces travaux de thèse est de répondre à plusieurs questions. Quelle est l'erreur réalisée, sur le bilan radar, en utilisant les définitions classiques de la SER et du gain ? Comment, en tirant à profit des connaissances sur la propagation en ondes de surface, peut-on améliorer les définitions de la SER et du gain ? Comment effectuer une caractérisation champ proche, en amplitude et phase, d'antennes HF en condition opérationnelle ?



Structure métamatériau installée aux Salins du Midi

Développer un nouveau type de modèle de propagation Terre-Espace pour les télécommunications par satellite en régions tropicales et équatoriales

Valentin LE MIRE

Thèse soutenue le 10 mai 2021

ED 475 (MITT) - Mathématiques Informatique Télécommunications de Toulouse

Titre de la thèse

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

Encadrement

Département Électromagnétisme et radar (DEMR)

Encadrants : Laurent Castanet - ONERA
Laurent Feral - UPS

Directeur de thèse : Xavier Boulanger - CNES

Financement

Centre national d'études spatiales (CNES) & ONERA

Défi scientifique

Électromagnétisme
et radar

www.onera.fr/pss

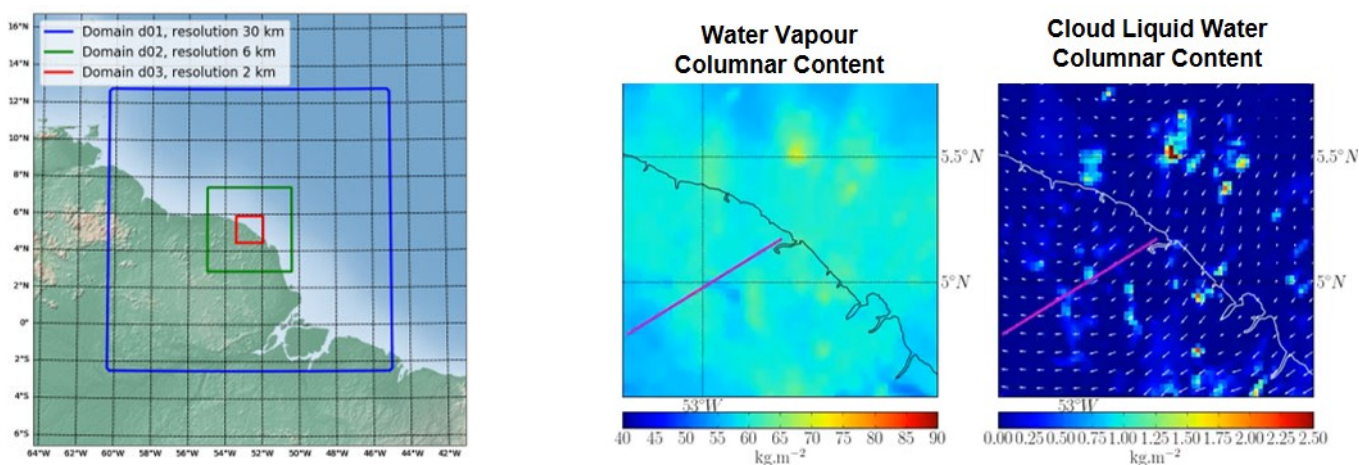


Université
de Toulouse

Contact : Laurent.Castanet@onera.fr

Résumé

Depuis maintenant quelques années, de nombreux pays émergents deviennent des acteurs importants sur le marché des télécommunications. De par le sous-développement, voire même, l'absence d'infrastructures terrestres, les télécommunications par satellite sont particulièrement attractives pour ces pays. Cependant, une des grandes particularités de ces pays est qu'ils se trouvent majoritairement en régions tropicales et équatoriales. Cet aspect est ici mis en avant car la propagation Terre-Espace a été, jusque-là, principalement étudiée pour des régions tempérées telles que l'Europe et l'Amérique du Nord. Ces études ont montré qu'aux bandes de fréquences actuellement utilisées pour les systèmes de télécommunications par satellites, l'atténuation du signal la plus importante était causée par la pluie. Néanmoins, les caractéristiques des événements précipitants en régions tropicales et équatoriales sont très différentes de celles observées en régions tempérées. De ce fait, une étude plus approfondie des différents modèles de propagation en régions tropicales et équatoriales est aujourd'hui nécessaire. De surcroît, il existe aujourd'hui un manque flagrant de données expérimentales dans ces régions pour permettre de valider et optimiser les modèles d'atténuation existants. C'est dans cette problématique que s'inscrit cette thèse en proposant l'utilisation d'un nouveau type de modèle hybride utilisant un simulateur numérique de l'atmosphère à haute résolution couplé à un module d'atténuation troposphérique. L'intérêt d'un tel modèle hybride est de pouvoir modéliser la propagation troposphérique pour tout type de liaison satellite. Ce modèle WRF-EMM est ici testé pour la première fois en région équatoriale à Kourou, à l'aide des données expérimentales recueillies durant la campagne de propagation ONERA/CNES en Guyane Française. Après l'observation d'une performance du modèle très variable d'un point de vue mensuel, une optimisation du modèle météo est présentée afin d'obtenir une configuration plus adéquate pour Kourou.



*A gauche : Quadrillage 3D du modèle météo autour de Kourou
A droite : Exemples du type de sorties utilisables du modèle météo*

Améliorer les antennes *transmit-arrays* en bande X en les rendant plus compacts et en optimisant la source primaire

Jeanne PAGÈS-MOUNIC

Thèse soutenue le 2 décembre 2021

ED 323 (GEET) - Génie Électrique, Électronique, Télécommunications - Toulouse

Titre de la thèse

Contribution à la conception de *transmit-arrays* compacts en polarisation linéaire et circulaire en bande X

Encadrement

Département Électromagnétisme et radar (DEMR)

Directeurs de thèse : André Barka - ONERA
Hamza Kaouach - LAPLACE

Financement

Région Occitanie & ONERA

Défi scientifique

Électromagnétisme
et radar

www.onera.fr/pss



Université
de Toulouse



Contact : Andre.Barka@onera.fr

Résumé

L'objectif de ces travaux est de proposer des solutions technologiques innovantes pour améliorer les *transmit-arrays* en bande X en les rendant plus compacts, en optimisant notamment la source primaire utilisée. Ces réseaux transmetteurs permettent un dépointage rapide et précis des faisceaux, faculté recherchée dans l'industrie spatiale. Les *transmit-arrays* sont des réseaux composés d'une multitude de cellules élémentaires.

La première partie de cette thèse a ainsi été consacrée à la mise en place d'un simulateur numérique hybride permettant de simuler très rapidement un *transmit-array* avec une source primaire associée. L'avantage de ce simulateur est la possibilité de faire de nombreuses simulations en peu de temps et d'évaluer l'impact des différents éléments du réseau sur ses performances en rayonnement.

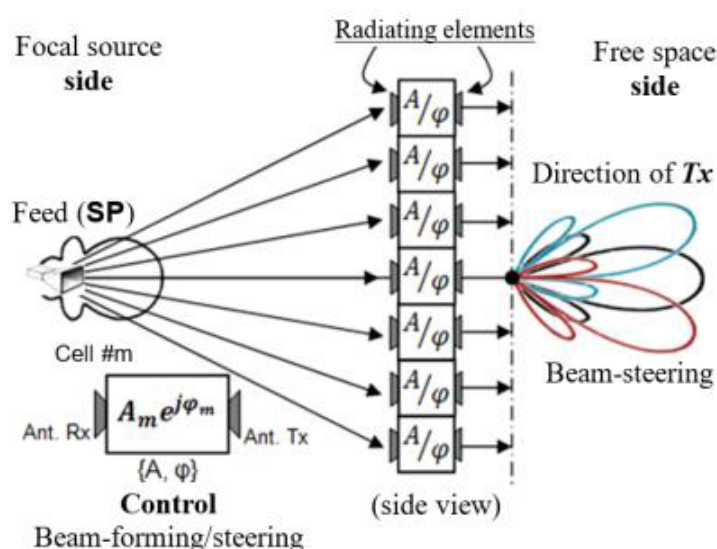
La compréhension du fonctionnement du *transmit-array* a donné lieu à la conception d'une première cellule élémentaire. Une première réalisation a été lancée et les mesures ont montré de bons résultats avec des performances prometteuses et proches des simulations *full-wave* réalisées en amont avec l'outil ONERA FACTOPO.

La suite de la thèse a été consacrée à l'amélioration de la source primaire pour rendre le système plus compact.

Deux nouveaux réseaux ont ensuite été conçus à l'aide du simulateur numérique hybride. Le premier est associé au cornet et le second est associé à la nouvelle source primaire. Le troisième prototype, placé à 225 mm du cornet, a été mesuré et fonctionne comme attendu, avec une grande pureté de la polarisation circulaire en sortie de réseau.

Grâce à une nouvelle optimisation, le quatrième prototype, associé à la nouvelle source primaire, permet de réduire d'avantage l'encombrement du *transmit-array*,

Principe du *transmit-array* en mode transmission



Développer un nouveau moyens pour tester, mesurer et visualiser un champ électromagnétique

Hugo RAGAZZO

Thèse soutenue le 4 juin 2021

ED 323 (GEET) - Génie Électrique, Électronique, Télécommunications -
Toulouse

Titre de la thèse

Caractérisation de champs électromagnétiques hyperfréquences par thermofluorescence

Encadrement

Département Électromagnétisme et radar (DEMR)

Directeurs de thèse : Daniel Prost - ONERA
Jean-François Bobo - CNRS

Financement

ONERA

Défi scientifique

Électromagnétisme
et radar



Université
de Toulouse

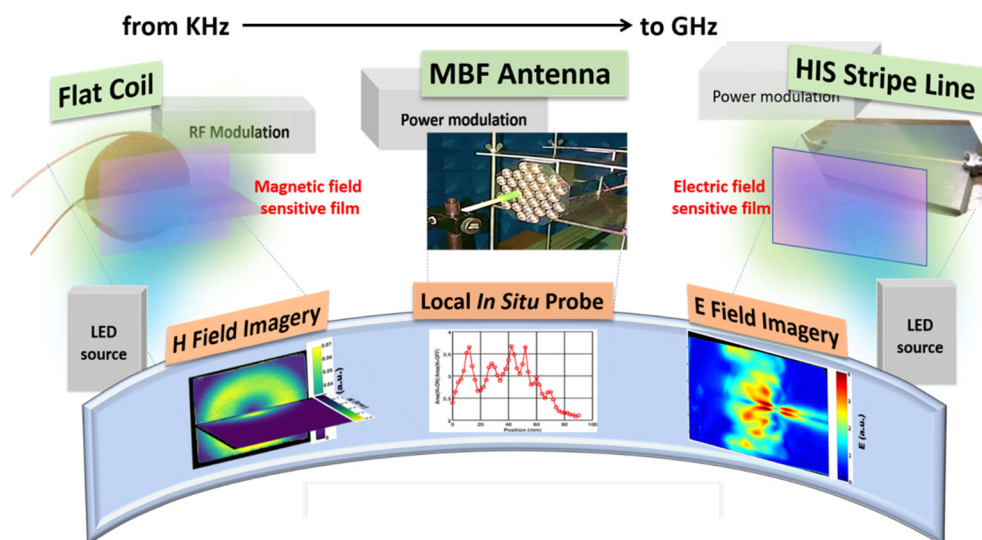


www.onera.fr/pss

Contact : Daniel.Prost@onera.fr

Résumé

Avec la multiplication des sources rayonnantes dans notre environnement, nous assistons au développement de moyens techniques permettant de tester, mesurer et visualiser le champ électromagnétique. Cette demande des industriels a engendré le développement de différentes technologies d'imagerie du champ et plusieurs approches ont été proposées dont la plupart reposent sur des processus de balayage d'une sonde ponctuelle. Elles seront brièvement présentées dans cette thèse. Il existe également des solutions plus originales utilisant des méthodes optiques pour visualiser le champ. A l'ONERA le choix a été fait de développer une méthode de thermographie infrarouge permettant la caractérisation du champ électrique (EMIR : ElectroMagnetic InfraRed). Des améliorations apportées à cette méthode, et notamment la modulation / démodulation synchrone, ont permis de la rendre quantitative. Plus récemment cette technique a été adaptée à la visualisation du champ magnétique. Cependant les caméras infrarouges hautes performances sont d'un coût très élevé (plusieurs dizaines de milliers d'euros). L'idée d'une thermographie dans le visible, avec une simple caméra sCMOS, a donc vu le jour : passer du domaine de l'infrarouge au domaine du visible permet en effet une économie substantielle sur le coût caméra, à résolution et dynamique équivalentes par ailleurs, voire supérieures. Mais la transition entre l'infrarouge et le visible nécessite de rendre « visible » un échauffement. Un moyen de faire cette transition est d'exploiter les propriétés thermofluorescentes de certains fluorophores, dont la fluorescence dépend précisément de la température. Pour cela nous nous basons sur les travaux préalablement réalisés sur la thermographie infrarouge, en utilisant les films minces thermosensibles comme substrat pour le dépôt d'une fine couche de fluorophore. Les travaux de thèse présentés ont consisté à caractériser, mettre en œuvre et valider ce nouveau système d'imagerie des champs électromagnétiques hyperfréquences.



Enregistrement de l'imagerie du champ et traitement du signal

Modéliser et développer un prototype de capteur inertiel innovant

Léopold DELAHAYE

Thèse soutenue le 28 janvier 2021

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

Titre de la thèse

Capteurs inertiels vibrants : architecture numérique et étalonnage

Encadrement

Département Physique, instrumentation, environnement, espace (DPHY)

Encadrant : Jean Guérard - ONERA

Directeur de thèse : Fabien Parrain - C2N

Financement

ONERA

Défi scientifique

Capteurs
et environnement
spatial

www.onera.fr/pss

université
PARIS-SACLAY

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Contact : Jean.Guerard@onera.fr

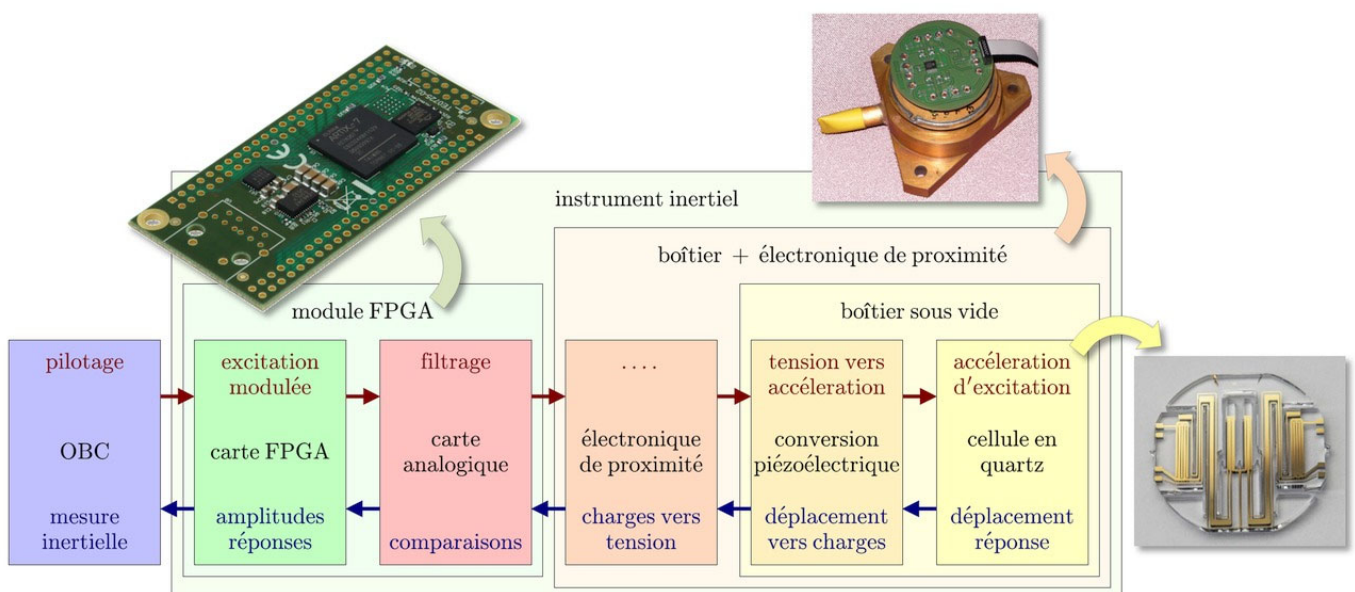
Résumé

Des résonateurs mécaniques piézoélectriques en quartz et à grand facteur de qualité sont conçus à l'ONERA, dans le but de réaliser des capteurs inertiels vibrants. Ainsi, l'accéléromètre à lame vibrante est constitué d'une masse d'épreuve qui, soumise à une accélération, induit une variation de la fréquence de résonance de la lame à laquelle elle est attachée. Dans le gyromètre vibrant, de type diapason, deux modes de résonance orthogonaux sont couplés par effet Coriolis et voient leurs amplitudes modulées lors d'une rotation.

Le capteur complet est composé de la cellule piézoélectrique encapsulée sous vide, d'une interface analogique, d'une électronique numérique synthétisée sur FPGA, et d'un ordinateur de bord. Les opérations numériques, telles que la génération du signal d'excitation et la démodulation synchrone de la réponse, sont implémentées en VHDL et en C. L'architecture de l'instrument inertiel est alors générique, portable, et non dépendante de composants analogiques spécifiques, dans la perspective d'applications spatiales. En particulier, l'architecture est exempte de convertisseurs DAC et ADC.

Des développements analytiques sous l'hypothèse des grands facteurs de qualité permettent de modéliser la réponse des résonateurs à une accélération ou une rotation, ainsi que les asservissements de fréquence, phase et amplitude, qui révèlent l'évolution des caractéristiques physiques de la cellule vibrante avec l'environnement (principalement la température). Ceci a permis le développement de méthodes d'étalonnage des capteurs, indispensables pour la navigation inertielle.

Ces étalonnages sont finalement éprouvés sur les prototypes intégrés au laboratoire, et permettent de caractériser le bruit, le facteur d'échelle et le biais en fonction des conditions thermiques.



Architecture complète d'un capteur inertiel vibrant

Améliorer la précision du test du principe d'équivalence de la mission MICROSCOPE

Océane DHUICQUE

Thèse soutenue le 13 décembre 2021

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

Titre de la thèse

Détermination de la sensibilité thermique de l'expérience MICROSCOPE pour le test du principe d'équivalence

Encadrement

Département Physique, instrumentation, environnement, espace (DPHY)

Encadrant : Manuel Rodrigues - ONERA

Directeur de thèse : Gilles Métris - OCA

Financement

Centre national d'études spatiales (CNES) & ONERA

Défi scientifique

Capteurs
et environnement
spatial

www.onera.fr/pss



Contact : Manuel.Rodrigues@onera.fr

Détermination de la sensibilité thermique de l'expérience MICROSCOPE pour le test du principe d'équivalence

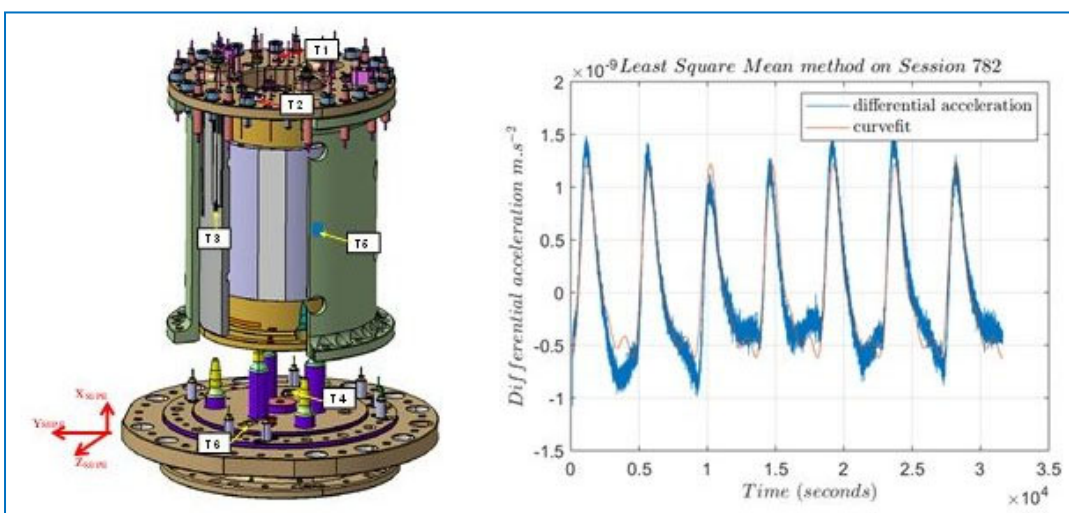
Résumé

La mission MICROSCOPE a pour ambition la mise à l'épreuve du principe d'équivalence (PE) et ce avec une précision inégalée de 10^{-15} , ce qui représente une avancée de deux ordres de grandeur par rapport aux précédentes expériences (résultat final en cours de publication).

Le but de ce travail consiste à utiliser les données de vol collectées pour améliorer ou modifier les modèles instrumentaux d'une part, les modèles de sources d'erreur de la mission d'autre part. L'évaluation des performances et des erreurs systématiques, en particulier les perturbations thermiques représentant 94% des erreurs systématiques dans une première publication en 2017, sont au cœur de ce travail de thèse.

Dans un premier temps, une analyse comparée avec plusieurs méthodes d'analyse de la sensibilité thermique à la fréquence du test du PE f_{EP} a été effectuée. Les méthodes employées consistent à analyser la corrélation des deux signaux dans les domaines temporel et fréquentiel. L'amplitude des variations de température est estimée afin d'en déduire l'impact de la systématique thermique sur la mesure d'accélération et donc sur le test du PE. Dans un second temps la dérive long-terme qui résulte des variations de température a été étudiée afin d'en estimer une sensibilité prise en compte sous forme d'un modèle polynomial dans l'étude précédente. Enfin on a cherché à mettre en évidence l'origine de ces perturbations thermiques.

Ces méthodes d'estimation ont permis de réduire d'un facteur 10 la systématique thermique initialement estimée dans la publication de 2017 et permis ainsi d'améliorer la précision du test du principe d'équivalence en cours de publication.



Développer et caractériser l'environnement spatial de cellules solaires pour augmenter le rendement

Maxime LEVILLAYER

Thèse soutenue le 26 novembre 2022

ED 323 (GEET) - Génie Électrique, Électronique, Télécommunications - Toulouse

Titre de la thèse

Développement de cellules solaires d'InGaAsN et caractérisation de leur dégradation dans un environnement spatial radiatif

Encadrement

Département Physique, instrumentation, environnement, espace (DPHY)

Encadrant : Christophe Inguibert - ONERA

Directeurs de thèse : Guilhem Almuneau - LAAS-CNRS
Laurent Artola - ONERA

Financement

Centre national d'études spatiales (CNES) & ONERA

Défi scientifique

Capteurs
et environnement
spatial

www.onera.fr/pss

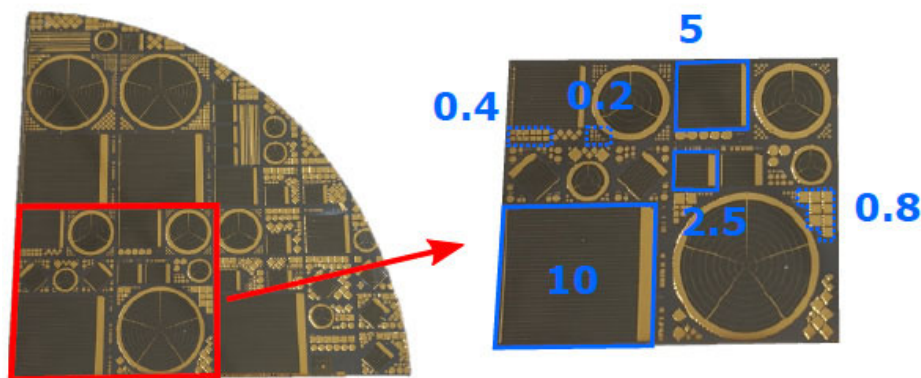


Université
de Toulouse

Contact : Christophe.Inguibert@onera.fr

Résumé

L'essor des satellites artificiels couvrant des applications de télécommunication et d'observation scientifique, ainsi que des besoins militaires, requiert le développement de puissants systèmes d'alimentation électrique en milieu spatial. Ces systèmes reposent très majoritairement sur la conversion photovoltaïque et la technologie des cellules solaires à multi-jonction (MJSC). La structure standard de MJSC utilisée pour les applications spatiales est la tri-jonction GaInP/(In)GaAs/Ge. Afin d'augmenter le rendement de cette MJSC, il est nécessaire de mieux exploiter le proche infra-rouge en remplaçant la sous-cellule de germanium ou en introduisant une 4e sous-cellule dont l'énergie de bande interdite est égale à 1 eV. Cette cellule doit avoir le même paramètre de maille que Ge ou GaAs et doit être capable de générer environ 15 mA/cm² en condition d'intégration. Il est indispensable que cette cellule soit résistante aux radiations spatiales afin de garantir une longue durée de vie de la structure MJSC. Pour cette thèse, nous avons étudié le quaternaire InGaAsN pour répondre à ces exigences d'intégration MJSC et de tenue en milieu spatial. Nous avons fait croître des couches cellules solaires et des couches *bulk* d'InGaAsN par épitaxie par jets moléculaires (EJM). Nous avons caractérisé l'impact des conditions de croissance épitaxiale sur les propriétés opto-électroniques de l'InGaAsN et optimisé notre procédé de fabrication. Des cellules solaires ont par ailleurs été fabriquées en salle blanche avant d'être caractérisées par mesure courant tension et réponse spectrale. En conditions d'intégration MJSC, nos cellules pourraient générer des densités de courant environ égales à 8 mA/cm². L'intégration de ces cellules au sein d'une structure tandem GaAs/InGaAsN a par ailleurs été démontrée. Des cellules solaires InGaAsN ainsi que des échantillons pour la photoluminescence (PL) et la spectroscopie de défauts profonds (DLTS) ont par la suite été irradiés sous électrons et protons 1 MeV. La comparaison des caractéristiques matériaux et cellules avant et après irradiation nous a permis d'analyser les mécanismes de dégradation ayant lieu dans l'InGaAsN. Globalement, les cellules solaires d'InGaAsN apparaissent plus résistantes aux irradiations électroniques et protoniques que les cellules de GaAs.



A processed quarter wafer with the location of analysed samples (length of the square solar cells in mm)

THÈSES DE DOCTORAT

soutenues en 2021

SIMULATION NUMÉRIQUE AVANCÉE

domaine scientifique

défi 5 - CFD 2030

Luc BONNET - Certification robuste d'un design aérodynamique par des inégalités de concentration de mesure 112

Nadir-Alexandre MESSAI - Méthode de Galerkin discontinue pour le calcul auto-adaptatif en équation intégrale acoustique 114

Pratik RAI - Modélisation et simulation numérique d'écoulements multi-composants compressibles 116

Adèle VEILLEUX - *Extension of the Spectral Difference Method to Simplex Cells and Hybrid Grids* 118

défi 7 - Des structures aérospatiales plus endurantes

Eva BORAKIEWICZ - Approche multi-modèle adaptative pour la propagation d'endommagement dans de grandes structures composites stratifiées 120

Lucas MANUECO - Étude de la prévision des efforts aérodynamiques sur des configurations nouvelles de lanceurs spatiaux 122

défi 8 - La propulsion dans toute sa complexité

Matteo GELAIN - Caractérisation aérothermique d'un échangeur de chaleur surfacique implémenté en veine secondaire 124

Distinction

Prix doctorant ONERA
2021

Luc BONNET

Thèse soutenue le 13 décembre 2021
ED 579 (SMéMaG) - Sciences Mécaniques et Énergétiques, Matériaux et
Géosciences - Paris-Saclay

Titre de la thèse

**Certification robuste d'un design aérodynamique par des
inégalités de concentration de mesure**

Encadrement

Département Aérodynamique, aéroélasticité, acoustique (DAAA)

Directeur de thèse : Éric Savin - ONERA

Financement

École Normale Supérieure Paris-Saclay

Défi scientifique

CFD 2030

www.onera.fr/pss



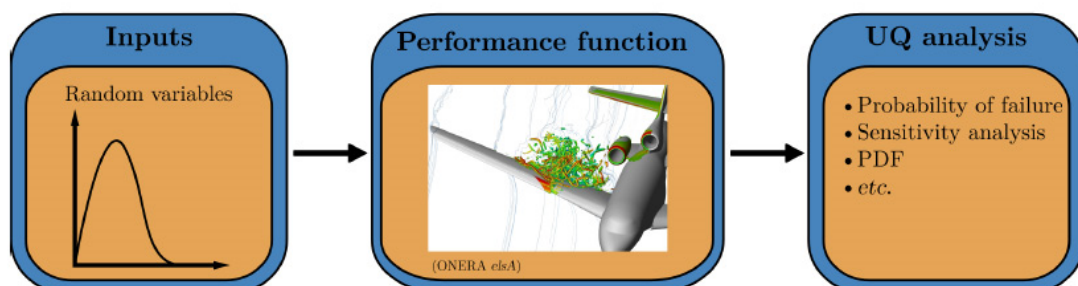
Contact : Eric.Savin@onera.fr

Résumé

La performance attendue d'un système peut généralement différer de sa performance opérationnelle en raison de la variabilité de certains paramètres. Habituellement, la phase de conception est divisée en deux phases différentes. La première phase consiste à déterminer la conception pré-optimale. Grâce à l'utilisation de logiciels, la meilleure conception possible est choisie. Il s'agit de tenir compte de certaines performances idéales à atteindre en formulant des hypothèses – qui peuvent être subjectives – traduisant la variabilité de certains paramètres. La deuxième phase consiste, quant à elle, à certifier par des expériences à taille réelle que la conception déterminée précédemment est valide. De cette façon, la conception post-optimale est spécifiée. Cette deuxième phase est la plus coûteuse ; c'est pourquoi les industriels, notamment dans le domaine aéronautique, cherchent à réduire le recours aux expériences à taille réelle.

L'*Optimal Uncertainty Quantification* (OUQ) est un outil mathématique puissant qui peut être utilisé pour borner rigoureusement la probabilité de dépasser un seuil de performance donné pour des conditions opérationnelles ou des caractéristiques de système incertaines. Cet outil conduit à la résolution d'un problème d'optimisation sur l'ensemble des mesures de probabilités admissibles, permettant ainsi de ne pas à avoir à formuler des hypothèses subjectives qui peuvent être fortes. Ce problème d'optimisation est a priori un problème non-convexe et fortement contraint, dans un espace de dimension infinie. Ainsi, il est généralement difficile à résoudre sur le plan numérique. Néanmoins, il peut être réduit à un problème d'optimisation équivalent en dimension finie.

Ce travail de thèse porte, dans un premier temps, sur l'application de l'outil OUQ concernant notamment des cas issus du domaine de l'aéronautique permettant de borner rigoureusement la variation de fonctions de performance classiquement étudiées en aérodynamique, telles que la portance ou la traînée. L'application de la méthode OUQ nécessite d'évaluer la fonction de performance du système plusieurs dizaines de milliers de fois. De fait, l'usage d'un modèle peu coûteux en termes de temps est requis. Dans cette optique, plusieurs méthodes qui permettent de construire des modèles de substitution rapides à évaluer sont finalement présentées. Ces différentes méthodes de modèles de substitution sont appliquées au travers de différents cas test dont des cas du domaine aérodynamique.



Processus de l'analyse Uncertainty Quantification

Distinction

Prix doctorant ONERA
2020

Nadir-Alexandre MESSAI

Thèse soutenue le 8 février 2021

ED 475 (MITT) - Mathématiques Informatique Télécommunications de Toulouse

Titre de la thèse

Méthode de Galerkin discontinue pour le calcul auto-adaptatif en équation intégrale acoustique

Encadrement

Département Traitement de l'information et systèmes (DTIS)

Directeur de thèse : Sébastien Pernet - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

CFD 2030

www.onera.fr/pss



Université
de Toulouse

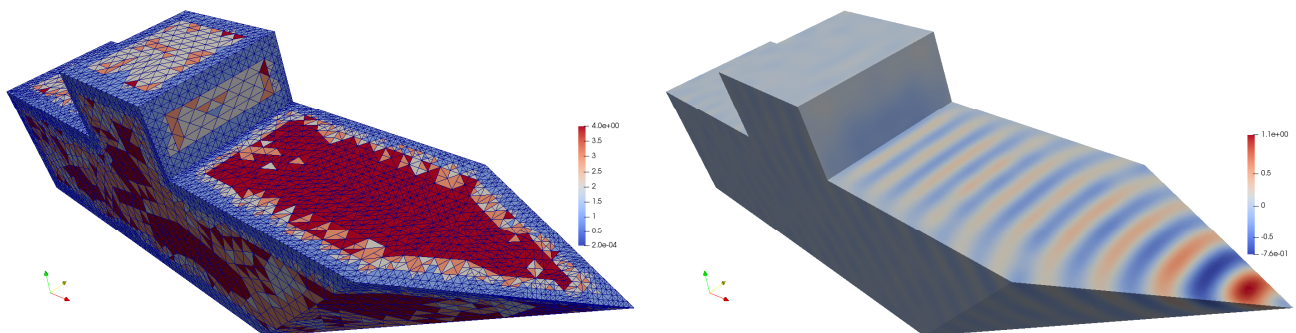


Contact : Sebastien.Pernet@onera.fr

Méthode de Galerkin discontinue pour le calcul auto-adaptatif en équation intégrale acoustique

Résumé

Cette thèse est dédiée à la conception et à l'étude d'une structure de boucle de raffinement auto-adaptative pour résoudre de manière fiable les équations intégrales acoustiques. Notre démarche est de revisiter l'ensemble des briques constitutives de cette architecture pour en améliorer l'efficacité algorithmique ainsi que la facilité d'utilisation, et vue d'en démocratiser son usage. Notre approche consista d'abord à étudier un schéma numérique de Galerkin discontinu. Cette méthode rend en effet possible l'utilisation de maillages hp non-conformes et l'optimisation et la simplification de la construction de l'espace d'approximation. Nous fournissons une étude théorique détaillée de cette méthode et démontrons sa stabilité. Un ensemble d'expériences numériques a permis de confirmer le bon comportement pratique du schéma numérique. Nous avons ensuite adapté une méthode de compression matricielle basée sur une approche par interpolation directionnelle DH2 ainsi que sa recompression algébrique. Un ensemble d'optimisations originales a été introduit en vue d'obtenir un algorithme efficace dans le cas de matrices issues du schéma de Galerkin discontinu. Nous obtenons in fine une compression robuste vis-à-vis de la fréquence et de l'hétérogénéité du maillage. Une analyse de complexité ainsi qu'un nombre conséquent d'expériences numériques, dont des comparaisons avec une H-matrice, sont également proposés. La dernière partie de la thèse fut d'abord dédiée à la construction d'un estimateur d'erreur a posteriori adapté au schéma de Galerkin discontinu qui soit fiable et local. Il est basé sur une approche de type résidu. Cet outil est indispensable pour guider le processus de raffinement local du maillage. Nous avons ensuite exploré un ensemble de procédures de raffinement local en h et en hp non-conformes. Cela permet de confirmer l'intérêt d'un raffinement hp non-conforme, qui offre un meilleur taux de convergence de l'estimateur par rapport au raffinement en h conforme. Une autre contribution originale de notre travail est de proposer un estimateur d'erreur qui prenne en compte l'ensemble des contributions à l'erreur globale : l'erreur de discrétisation, l'erreur de résolution du système linéaire et l'erreur de compression. Cette finesse de description de l'erreur nous a permis d'automatiser le réglage de l'ensemble des paramètres de la boucle de raffinement auto-adaptative. Nous aboutissons finalement à une architecture de calcul extrêmement simple d'utilisation.



Pression acoustique (à droite) obtenue à partir d'une approximation hp (à gauche) construite par une processus auto-adaptatif

Pratik RAI

Thèse soutenue le 23 juillet 2021

ED 574 (EDMH) - École Doctorale de Mathématiques Hadamard - Paris-Saclay

Titre de la thèse

Modélisation et simulation numérique d'écoulements multi-composants compressibles

Encadrement

Département Aérodynamique, aéroélasticité, acoustique (DAAA)

Encadrant : Florent Renac - ONERA

Directeurs de thèse : Vincent Giovangigli & Frédéric Coquel - CMAP

Financement

ONERA

Défi scientifique

CFD 2030

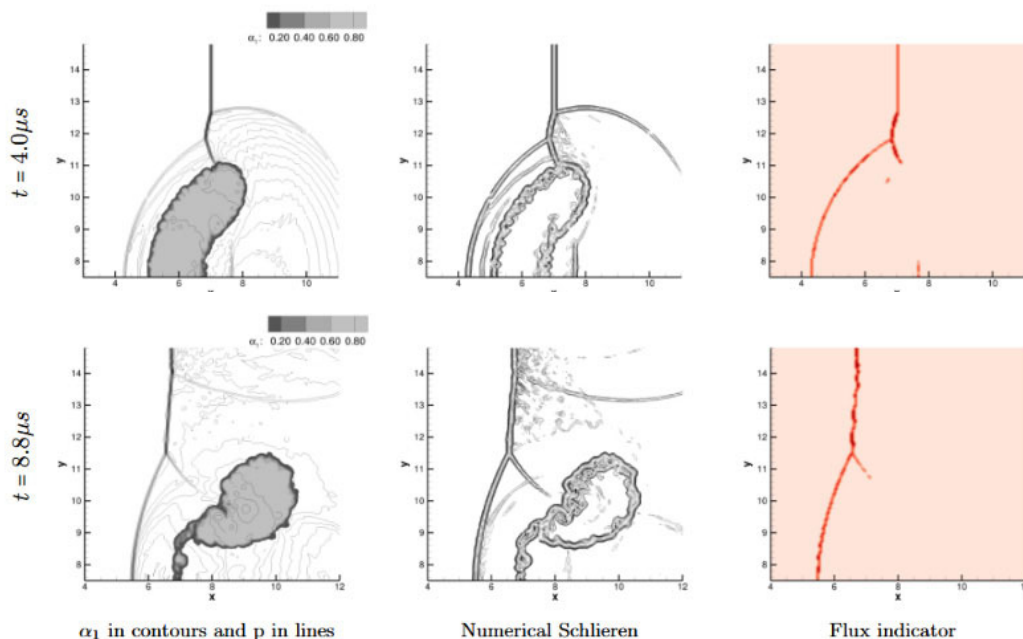
www.onera.fr/pss



Contact : Florent.Renac@onera.fr

Résumé

Cette thèse a deux objectifs principaux : la modélisation des écoulements compressibles multiphasiques et multi-composants, et la conception de nouveaux schémas numériques pour leur simulation d'ordre élevé. En ce qui concerne la modélisation des écoulements multiphasiques, nous nous concentrons sur le modèle de non-équilibre de type Baer-Nunziato et proposons un nouveau modèle pour les écoulements impliquant un mélange réactif de gaz et de liquide. Notre modèle est hyperbolique et prend en compte le transfert de masse, la traînée interfaciale, le déséquilibre mécanique ainsi que le transfert thermique entre les phases. Le modèle est invariant par transformations galiléennes et dissipe l'entropie. En ce qui concerne la conception de nouveaux schémas pour les écoulements compressibles, nous nous concentrons sur les modèles hyperboliques d'écoulement multiphasiques et multi-composants sous forme non-conservative. Nous choisissons comme cadre de discrétisation la méthode des éléments spectraux de Galerkin discontinus (DGSEM), basée sur la collocation des points de quadrature et d'interpolation. La méthode DGSEM utilise des opérateurs de sommation par parties (SBP) dans la quadrature numérique pour approcher les intégrales sur les éléments de discrétisation. dans l'intégrale de volume, sur la base d'un senseur de chocs. Pour les flux numériques à l'interface, nous concevons un solveur de type HLLC pour le modèle multi-composants. Plusieurs tests numériques sont effectués en une et deux dimensions d'espace qui mettent en évidence les propriétés de nos schémas numériques.



The interaction of a $M = 2.0$ shock in air with a Hydrogen bubble at fourth order accuracy ($p = 3$) in space on a mesh comprising of 450×300 elements.

**Concevoir une méthode multi-éléments pour les
Différences spectrales, pour la simulation numérique
de la combustion**

Adèle VEILLEUX

Thèse soutenue le 24 mars 2021

ED 468 (MEGEP) - Mécanique, Énergétique, Génie civil, Procédés -
Toulouse

Titre de la thèse

**Extension of the Spectral Difference Method to
Simplex Cells and Hybrid Grids**

Encadrement

Département Multiphysique pour l'énergétique (DMPE)

Encadrants : Hugues Deniau - ONERA

Guillaume Daviller - CERFACS

Directeur de thèse : Guillaume Puigt - ONERA

Financement

CERFACS & ONERA

Défi scientifique

CFD 2030

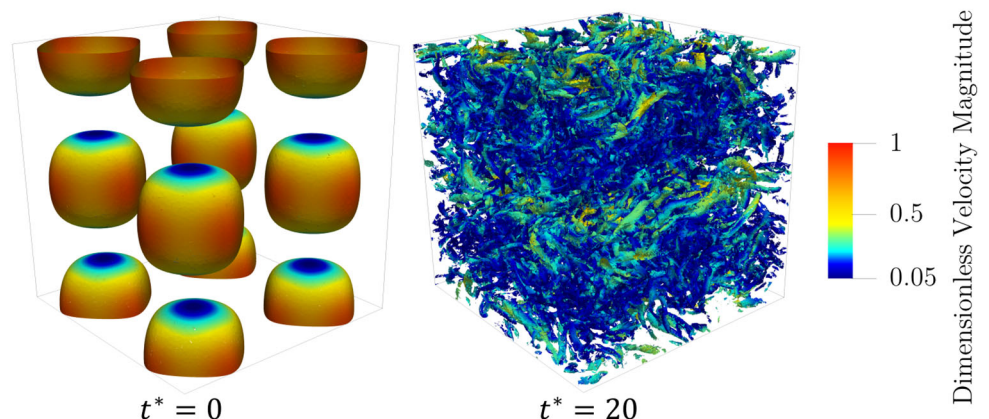
www.onera.fr/pss



Contact : Hugues.Deniau@onera.fr

Résumé

Cette thèse analyse l'extension de la méthode des Différences Spectrales (SD) aux maillages hybrides non-structurés composés de cellules de type simplex (triangles, tétraèdres) et aux prismes. Ces méthodes s'appuient sur une approximation polynomiale continue par morceaux pour obtenir une précision d'ordre élevé tout en maintenant une bonne efficacité en parallèle. Le schéma des Différences Spectrales standard est d'abord présenté dans le cas à une dimension puis pour les éléments de type produit tensoriel (quadrilatères et hexaèdres). Le traitement des cellules de type simplex, basé sur les éléments de Raviart-Thomas, est détaillé pour les triangles (2D) et les tétraèdres (3D), suivi de l'implémentation de la méthode sur prismes. La stabilité linéaire de la méthode des Différences Spectrales basée sur les éléments de Raviart-Thomas (SDRT) est étudiée sur triangles et sur tétraèdres. La stabilité du schéma SDRT dépend en particulier de la position des points flux intérieurs. Dans le cas des triangles, l'implémentation SDRT basée sur les points flux intérieurs placés selon la quadrature de Williams-Shunn-Jameson est montrée comme étant stable jusqu'au quatrième ordre de précision, mais spatialement instable pour des ordres plus élevés. Néanmoins, il est montré que cette implémentation peut être stabilisée pour les schémas du cinquième et sixième ordres en utilisant un schéma d'intégration temporel adéquat. Cette solution étant soumise à des conditions contraignantes, une optimisation de la position des points flux intérieurs est conduite de façon à déterminer une formulation SDRT spatialement stable pour des ordres de précision supérieurs à quatre. Le processus d'optimisation permet d'obtenir des schémas spatialement stables jusqu'au sixième ordre de précision. Enfin, l'analyse de stabilité sur tétraèdres démontre que le schéma SDRT basé sur des points flux intérieurs placés selon la quadrature de Shunn-Ham est stable jusqu'au troisième ordre. La méthode numérique SD/SDRT est validée sur plusieurs cas académiques pour les Équations aux Dérivées Partielles d'ordre un (équation d'advection linéaire, équations d'Euler) et deux (équations de Navier-Stokes). Les deux implémentations SDRT proposées (basées sur les points de quadrature de Williams-Shunn-Jameson ou sur les points d'optimisation) sont utilisées. Les cas de validation numérique impliquent des maillages composés de triangles quadratiques, de tétraèdres linéaires ainsi que de maillages hybrides 2D.



Distinction

Prix Amelia Earhart du
Zonta International
(2019)

Eva BORAKIEWICZ

Thèse soutenue le 31 mars 2021

ED 579 (SMéMaG) - Sciences Mécaniques et Énergétiques, Matériaux et
Géosciences - Paris-Saclay

Titre de la thèse

**Approche multi-modèle adaptative pour la propagation
d'endommagement dans de grandes structures
composites stratifiées**

Encadrement

Département Matériaux et structures (DMAS)

Encadrant : Vincent Chiaruttini - ONERA

Directeur de thèse : Frédéric Laurin - ONERA

Financement

CIFRE Airbus

Défi scientifique

Des structures
aérospatiales
plus durantes

www.onera.fr/pss

AIRBUS

anrt
association nationale
recherche technologie

université
PARIS-SACLAY

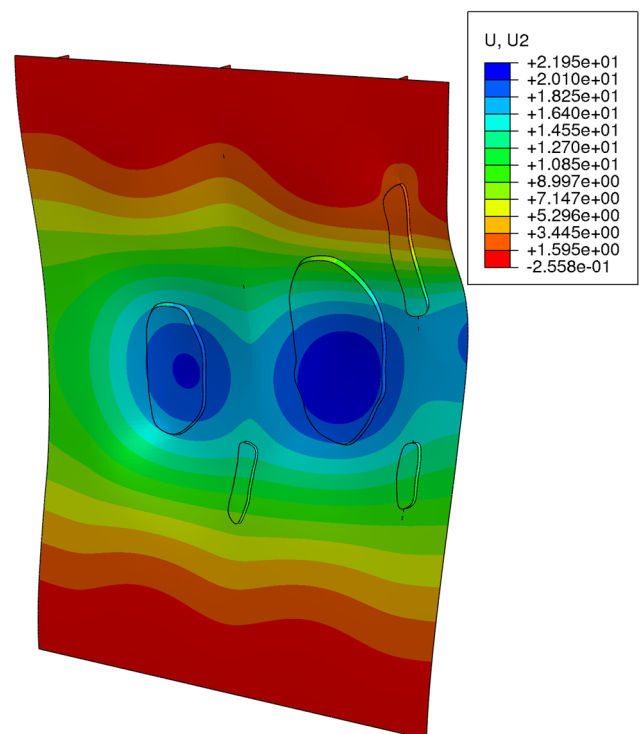
ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Contact : Vincent.Chiaruttini@onera.fr

Résumé

Les industriels du domaine aéronautique s'intéressent à la réalisation de simulations prédictives à l'échelle structurale. Dans ces situations, la taille des problèmes mécaniques concernés est telle que l'utilisation de modèles matériaux et de discrétisations éléments finis simplifiées, telles que des coques, est indispensable. De plus, dans un contexte d'utilisation croissante de stratifiés composites, les industriels s'intéressent à simuler l'impact d'un endommagement initialement localisé et de son évolution, sur la tenue en service d'un composant. Or, pour simuler fidèlement l'endommagement d'un tel stratifié, une modélisation plus précise est nécessaire avec une discrétisation fine et une loi matériau complexe. La généralisation de ce type de modélisation n'est pas acceptable à l'échelle de grandes structures, de sorte que le développement de stratégies de calcul ad-hoc est aujourd'hui essentiel pour les concepteurs aéronautiques, l'idée sous-jacente étant de pouvoir ajuster la finesse de modélisation au besoin, dans l'espace et dans le temps. La méthode proposée dans la thèse entre dans ce cadre, en exploitant des algorithmes de remaillage adaptatif, mais en s'imposant le cadre d'une résolution numérique utilisant un code de calcul aux éléments finis industriel. Ainsi, ce manuscrit introduit une nouvelle approche numérique d'adaptation multi-modèles. Dans un premier temps, on pose un problème de référence multi-modèles à décomposition fixée. Il consiste en un domaine généralement élastique comprenant quelques inclusions anélastiques où le modèle raffiné permet de capturer des phénomènes complexes se produisant dans les stratifiés composites. Dans le modèle discret, le domaine élastique est modélisé avec des éléments de coque multicouches, tandis que le domaine anélastique est modélisé avec des éléments solides comprenant au moins un élément par pli dans l'épaisseur. Cette technique nécessite la mise en œuvre d'un couplage multidimensionnel. Dans un second temps, l'opération d'adaptation de modèle résulte notamment de l'étude du déclenchement de l'adaptation, de la stratégie remaillage, et de la problématique de mise à jour de l'état. La stratégie de remaillage est l'une des principales contributions de ce travail car elle permet de simplifier les autres opérations telles que la mise à jour de l'état. Les résultats de l'approche multi-modèle adaptative appliquée à des cas de test académiques, montrent la flexibilité fournie par notre méthode.

Représentation des déformations simulées par une approche multi-modèle sur un panneau composite en compression



Lucas MANUECO

Thèse soutenue le 23 novembre 2021

ED 391 (SMAER) - Sciences Mécaniques, Acoustique, Électronique &
Robotique - Sorbonne Université

Titre de la thèse

**Étude de la prévision des efforts aérodynamiques sur des
configurations nouvelles de lanceurs spatiaux**

Encadrement

Département Aérodynamique aéroélasticité acoustique (DAAA)

Encadrant: : Pierre-Elie Weiss - ONERA

Directeur de thèse : Sébastien Deck - ONERA

Financement

Centre national d'études spatiales (CNES) & ONERA

Défi scientifique

Des structures
aérospatiales
plus durantes

www.onera.fr/pss



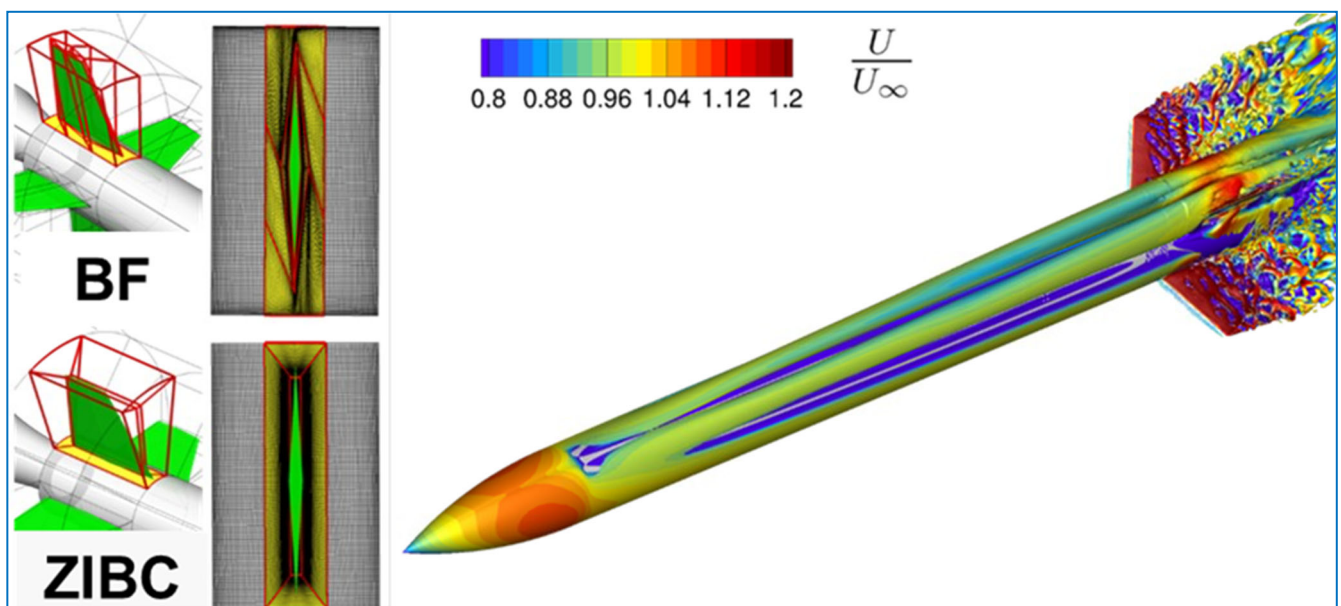
Contact : Pierre-Elie.Weiss@onera.fr

Résumé

Le secteur aérospatial connaît une évolution rapide et est devenu très concurrentiel. Il est donc primordial de réduire le coût de mise en orbite des charges utiles tout en garantissant leur intégrité. Dans ce contexte, la simulation numérique des écoulements turbulents contribue fortement à réduire les temps de développement des nouveaux lanceurs spatiaux.

Parmi les grandeurs physiques à estimer pour concevoir des lanceurs se trouvent les charges latérales. Ces efforts instationnaires sont principalement localisés au niveau du système propulsif de l'arrière-corps où l'écoulement est caractérisé par des décollements massifs. Leur intensité et leur répartition sont fortement liées à la géométrie externe du lanceur. Afin de modéliser les détails technologiques, une approche de frontières immergées est utilisée et permet d'améliorer la prise en compte de la complexité des simulations. Néanmoins, l'étude des grandeurs pariétales et de leurs fluctuations est problématique avec ce type de méthode. Une méthode de reconstruction des grandeurs pariétales adaptée aux méthodes de frontières immergées a été développée durant ces travaux.

Grâce à l'approche ZDES, deux simulations d'arrière-corps de lanceurs génériques ont été réalisées. La capacité de la méthode de reconstruction développée à prévoir les charges latérales a été évaluée. Pour finir, des améliorations de l'approche de frontières immergées ont été proposées pour la prise en compte des couches limites turbulentes à haut nombre de Reynolds. Ces développements ont permis de simuler quantitativement une configuration de missile générique en vent de travers en régime transsonique.



**Caractérisation d'un échangeur thermique conçu pour
des moteurs aéronautiques innovants tels que
le *Geared Turbofan* et l'*Open Rotor***

Matteo GELAIN

Thèse soutenue le 26 novembre 2021

ED 579 (SMéMaG) - Sciences Mécaniques et Énergétiques, Matériaux et
Géosciences - Paris-Saclay

Titre de la thèse

**Caractérisation aérothermique d'un échangeur de chaleur
surfacique implémenté en veine secondaire**

Encadrement

Département Aérodynamique, aéroélasticité, acoustique (DAAA)

Encadrants : Marc Errera - ONERA

Ronan Vicquelin - CentraleSupélec

Alexandre Couilleaux - Safran Aircraft Engines

Directeur de thèse : Olivier Gicquel - CentraleSupélec

Financement

CIFRE Safran Aircraft Engines

Défi scientifique

La propulsion dans
toute sa complexité

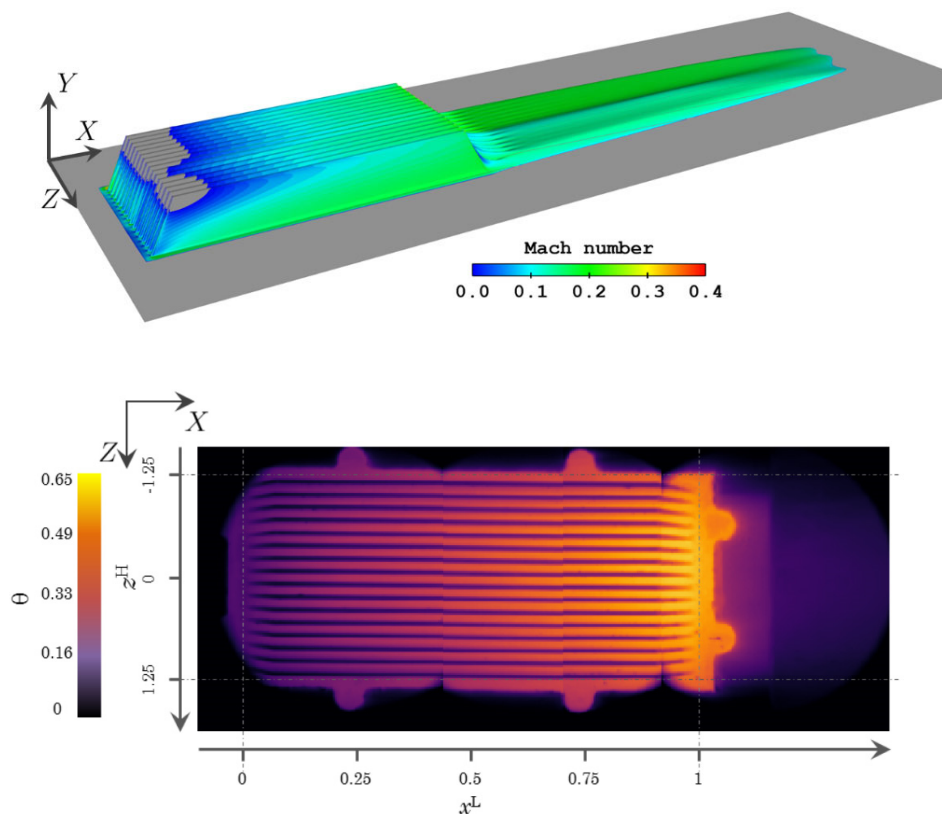


Contact : Marc.Errera@onera.fr

Résumé

Les configurations innovantes de moteur d'aviation civile amèneront à d'importantes réductions de consommation de carburant. Actuellement, chez Safran Aircraft Engines, des nouveaux concepts tels que le *Geared Turbofan* et l'*Open Rotor* sont étudiés attentivement. Ces concepts sont caractérisés par des architectures de plus en plus complexes qui nécessitent d'être lubrifiés et refroidis. Par conséquent, les systèmes de gestion thermique sont un module fondamental des moteurs d'aujourd'hui.

Dans cette thèse, on s'intéresse aux surfaces *air-cooled oil coolers* (SACOC). Un SACOC est généralement composé d'une série d'ailettes orientées dans la direction de l'écoulement. La source chaude est représentée par le lubrifiant du moteur. Le premier objectif de la thèse est de caractériser les interactions aérothermiques qui ont lieu entre le SACOC et le flux secondaire. Le deuxième but est de se doter de méthodologies prédictives, validées et accessibles qui permettent d'étudier ces interactions.



Étude numérique et expérimentale d'un SACOC

THÈSES DE DOCTORAT

soutenues en 2021

TRAITEMENT DE L'INFORMATION ET SYSTÈMES

domaine scientifique

défi 1 - Optimisation pluridisciplinaire et évaluation

Ali HEBBAL - Processus gaussiens profonds pour l'analyse et l'optimisation des systèmes complexes : application à la conception des systèmes aérospatiaux 128

défi 2 - Systèmes intelligents

François DENQUIN - Contribution optique et gravito-inertielle dans les mécanismes de perception et de contrôle du mouvement propre 130

Enzo IGLESIS - Processus gaussiens profonds pour l'analyse et l'optimisation des systèmes complexes: application à la conception des systèmes aérospatiaux 132

Alexis LECHAT - Apprentissage incrémental semi-supervisé pour les applications de vision artificielle . 134

Camille PALMIER - Nouveaux filtres particulières pour la navigation sous-marine par fusion multi-capteurs 136

Sébastien PIEDADE - Synthèse de plans conditionnels pour la décision dans l'incertain 138

Gemma PRIETO AGUILAR - Méthodologie de conception des lois de retour de force par simulation de boucle de commande hélicoptère 140

Esteban RESTREPO-OCHOA - Commande en coordination de systèmes multi-agents robotiques autonomes sous contraintes 142

Mick SALOMONE - Analyse comportementale et électrophysiologique de l'impact de la fatigue cognitive sur les capacités d'adaptation 144

Gabriel SARAZIN - Analyse de sensibilité fiabiliste en présence d'incertitudes épistémiques introduites par les données d'apprentissage 146

Nathanaël SENFELDER - Analyse et contrôle des interférences liées à la cohérence de cache dans les multi-cœurs COTS 148

Sovanna THAI - Algorithmes de contrôle en vol avancés avec compensation *anti-windup* pour des systèmes aérospatiaux variant rapidement dans le temps 150

défi 11 - Perception artificielle multimodale

Rodolphe DUBOIS - Méthodes de partage d'informations visuelles et inertielles pour la localisation et la cartographie simultanées décentralisées multirobots	152
Pierre GODET - Approches par apprentissage pour l'estimation de mouvement <i>multiframe</i> en vidéo	154
Guillaume VAUDAUX-RUTH - Du repérage sémantique robuste d'actions vers leur détection dans les vidéos	156

Distinction

Prix doctorant ONERA
2020

Ali HEBBAL

Thèse soutenue le 21 janvier 2021
ED 072 (SPI) - Sciences pour l'Ingénieur - Lille

Titre de la thèse

**Processus gaussiens profonds pour l'analyse et l'optimisation
des systèmes complexes: application à la conception des**

Encadrement

Département Traitement de l'information et systèmes (DTIS)

Encadrants : Mathieu Balesdent & Loïc Brevault - ONERA

Directeurs de thèse : El-Ghazali Talbi & Nouredine Melab - Université de Lille

Financement

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

Défi scientifique

Optimisation
pluridisciplinaire
et évaluation

www.onera.fr/pss



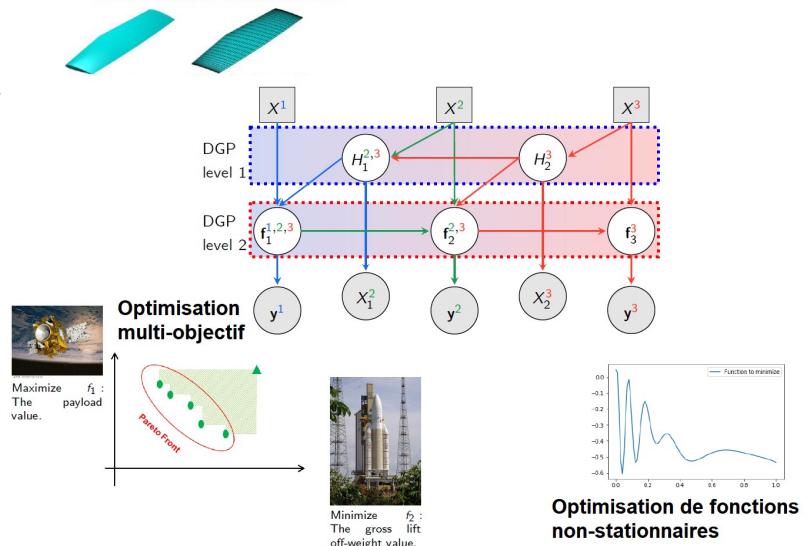
Contact : Mathieu.Balesdent@onera.fr

Résumé

La conception de systèmes complexes, tels que les lanceurs aérospatiaux, implique l'analyse et l'optimisation de problèmes présentant diverses problématiques, tel que la présence de fonctions coûteuses en temps de calcul, la non-stationnarité des performances à optimiser, les multiples objectifs et contraintes impliqués, ou encore le traitement de multiples sources d'information dans le cadre de la multi-fidélité. Un large éventail de méthodes d'apprentissage automatique peut être utilisé pour relever ces différents défis. Dans le cadre de ces approches, les Processus Gaussiens (PGs) sont populaires dans la littérature et divers algorithmes d'état de l'art pour la conception de systèmes complexes sont basés sur ces modèles. Cependant, pour l'optimisation de problèmes non stationnaires, les PGs ne sont pas adaptés en raison de l'utilisation d'une fonction de covariance stationnaire. En outre, dans l'optimisation bayésienne multi-objectif, l'utilisation de PG empêche de prendre en considération une corrélation potentielle entre les objectifs. Une autre limitation existe dans l'analyse multi-fidélité où des modèles basés sur les PGs sont utilisés pour améliorer les modèles haute-fidélité en utilisant l'information basse fidélité, cependant, ces modèles supposent généralement que les différents espaces d'entrée de fidélité sont définis de manière identique, ce qui n'est pas le cas dans certains problèmes de conception. Dans cette thèse, des approches sont développées pour dépasser les limites des PGs dans l'analyse et l'optimisation de systèmes complexes. Ces approches sont basées sur les Processus Gaussiens Profond (PGPs), la généralisation hiérarchique des PGs. Pour gérer la non-stationnarité dans l'optimisation bayésienne et l'optimisation multi-objectif, un algorithme est développé qui couple l'optimisation bayésienne avec les PGPs. Les couches internes permettent une projection Bayésienne non paramétrique de l'espace d'entrée pour mieux représenter les fonctions non stationnaires et les corrélations entre les objectifs. Pour aborder l'analyse multi-fidélité pour différentes définitions d'espace d'entrée, un PGP à deux niveaux est développé. Ce modèle permet une optimisation conjointe du modèle multi-fidélité et du mapping entre les espaces d'entrée des différentes fidélités. Les différentes approches développées sont évaluées sur des problèmes analytiques ainsi que sur des problèmes de conception de véhicules aérospatiaux et comparées aux approches de l'état de l'art.

Application des processus gaussiens profonds à la conception de véhicules spatiaux

Modélisation multi-fidélité



Étudier les mécanismes de perception et de contrôle
du mouvement propre pour mieux comprendre
les phénomènes de désorientation spatiale

François DENQUIN

Thèse soutenue le 2 juillet 2021

ED 463 - Sciences du Mouvement Humain - Aix-Marseille

Titre de la thèse

Contribution optique et gravito-inertielle dans les mécanismes
de perception et de contrôle du mouvement propre

Encadrement

Département Traitement de l'information et systèmes (DTIS)

Encadrant : Jean-Christophe Sarrazin - ONERA

Directeur de thèse : Benoit Bardy - Laboratoire EuroMov

Financement

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

Défi scientifique

Systèmes
intelligents

www.onera.fr/pss



Contact : Jean-Christophe.Sarrazin@onera.fr

Résumé

Près de 30 % des accidents aéronautiques sont dus à des phénomènes de désorientation spatiale, avec pour conséquence une modification (ou une non modification) des trajectoires de vol pouvant être dramatique. Ces problèmes viennent souvent de biais perceptifs, pouvant survenir pour diverses raisons. Nous nous sommes intéressés ici aux mécanismes de perception et de contrôle du mouvement propre, et plus particulièrement ceux impliqués lors du Vol à Basse Hauteur (VBH), manœuvre militaire courante mais risquée où les pilotes doivent voler près du sol à vitesse élevée. Deux lots d'expérimentations ont été menés aux laboratoires EuroMov de l'Université de Montpellier (participants non-pilotes) et Ames de la NASA (pilotes experts militaires), dans le but de tester l'impact des stimuli environnementaux sur les performances de perception et de contrôle de la hauteur-sol. Deux simulateurs de mouvement différents ont été utilisés : le simulateur iMose (*Interactive Motion Simulator at EuroMov*) et le simulateur VMS (*Vertical Motion Simulator*). Les participants devaient réaliser deux tâches : une tâche d'observateur d'un VBH simulé, où ils devaient reporter leur hauteur-sol de vol, et une tâche de contrôleur lors d'un VBH simulé, où ils devaient contrôler cette hauteur-sol. Trois points principaux ont été mis en avant : 1) la présence d'un environnement multimodal (visuo-vestibulaire) engendre un comportement plus stable et de meilleures performances qu'un environnement uniquement visuel ; 2) un environnement multimodal impacte différemment les performances de vol en fonction de la tâche à accomplir ; 3) un environnement réaliste n'est pas forcément plus bénéfique pour les performances en vol qu'un environnement simplifié. Ces résultats sont importants pour le monde de la simulation, les performances des pilotes dépendant de l'environnement simulé et de son niveau de fidélité. La simulation d'environnements multimodaux cohérents et réalistes est nécessaire pour l'observation de comportements réalistes de la part des pilotes et une meilleure confrontation à la réalité lors d'entraînements qu'avec des environnements simulés plus simplifiés.



Comment faire face, sur un drone, à des scénarios complexes de fautes, tels que les fautes simultanées

Distinction

Finalist Academic
Paper Award
de la IEEE ICPHM
(2021)

Enzo IGLEISIS

Thèse soutenue le 21 décembre 2021
ED 580 (STIC) - Sciences et Technologies de l'Information et de la
Communication - Paris-Saclay

Titre de la thèse

Navigation multimode d'un drone avec fonctionnalités dégradées dues à des défaillances de capteurs ou actionneurs

Encadrement

Département Traitement de l'information et systèmes (DTIS)

Encadrants : Karim Dahia - ONERA

Nadjim Horri - Université de Coventry

Directeurs de thèse : Hélène Piet-Lahanier - ONERA

James Brusey - Université de Coventry

Financement

Université de Coventry & ONERA

Défi scientifique

Systèmes
intelligents

www.onera.fr/pss

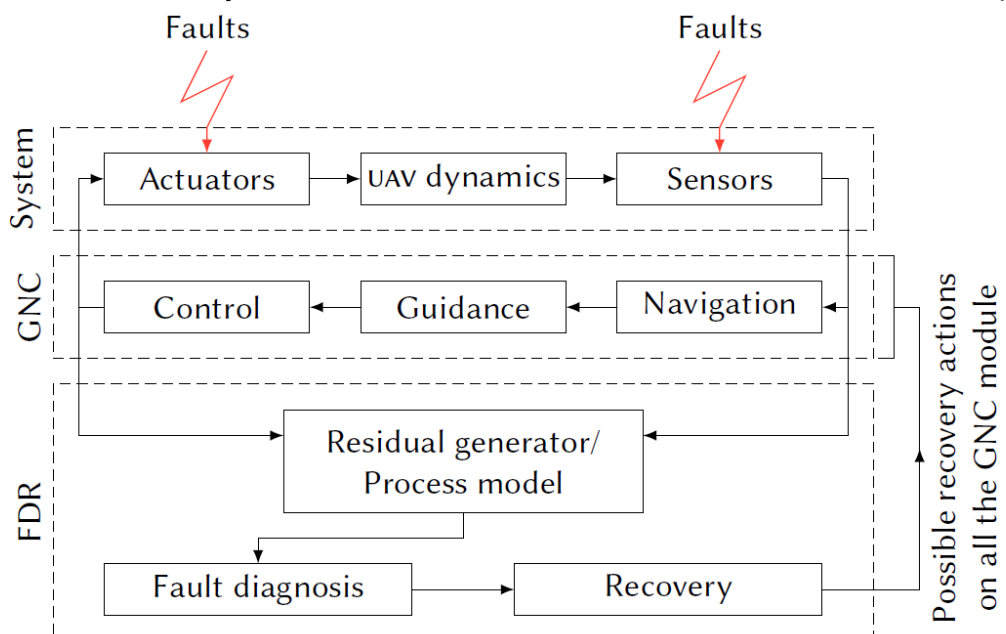


Contact : Karim.Dahia@onera.fr

Résumé

Les défaillances d'actionneurs ou de capteurs survenant sur un drone peuvent compromettre l'intégrité de la mission. La mise en œuvre de méthodes de diagnostic de fautes est alors nécessaire. Dans cette thèse, l'accent est mis sur l'estimation de fautes dues à des défaillances simultanées de capteurs et/ou d'actionneurs pour un drone à voilure fixe. Pour faire face à certains scénarios complexes de fautes, tels que les fautes simultanées qui induisent une ambiguïté sur les mesures qui se manifeste par la multi-modalité de la densité conditionnelle, un filtre particulaire régularisé de type jump-Markov (JMRPF) et des variantes de celui-ci sont présentées. Cette méthode est basée sur un filtre particulaire régularisé (RPF) qui approche la densité conditionnelle par une mixture de noyaux et sur un système de Markov à sauts. La stratégie de saut utilise un petit nombre de particules dites sentinelles, qui permet de tester en continu l'état du mode — nominal ou défaillant.

Les résultats numériques sont obtenus en utilisant un modèle dynamique linéaire puis non linéaire de la dynamique longitudinale d'un drone à voilure fixe. Les performances du JMRPF montrent une nette amélioration de terme de précision de l'estimation des fautes capteurs et actionneurs et des paramètres cinématiques et en termes de robustesse et de vitesse de convergence par rapport aux autres filtres. L'amélioration des performances est plus marquée lorsque l'amplitude des fautes augmente au cours du temps. Une version améliorée du JMRPF, appelée filtre particulaire régularisé robuste à sauts, permet d'estimer rapidement et précisément les fautes sans connaissance a priori de la dynamique des fautes. Enfin, une nouvelle approche pour calculer une matrice de probabilité de transition adaptative utilise les probabilités de fausse alarme et de non-détection à l'aide de l'approximation du point-selle. Les algorithmes de navigation proposés permettent à un drone d'atteindre son objectif de suivi de trajectoire de manière autonome, avec une sécurité et une précision accrues.



L'apprentissage incrémentale semi-supervisé pour être capable d'apprendre la nouveauté tout en retenant ce qui a été précédemment appris

Alexis LECHAT

Thèse soutenue le 23 décembre 2021

ED 590 (MIIS) - Mathématiques, Information, Ingénierie des Systèmes

Titre de la thèse

Apprentissage incrémental semi-supervisé pour les applications de vision artificielle

Encadrement

Département Traitement de l'information et systèmes (DTIS)

Encadrant : Stéphane Herbin - ONERA

Directeur de thèse : Frédéric Jurie - Université Caen Normandie

Financement

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

Défi scientifique

Systèmes
intelligents

www.onera.fr/pss



Contact : Stephane.Herbin@onera.fr

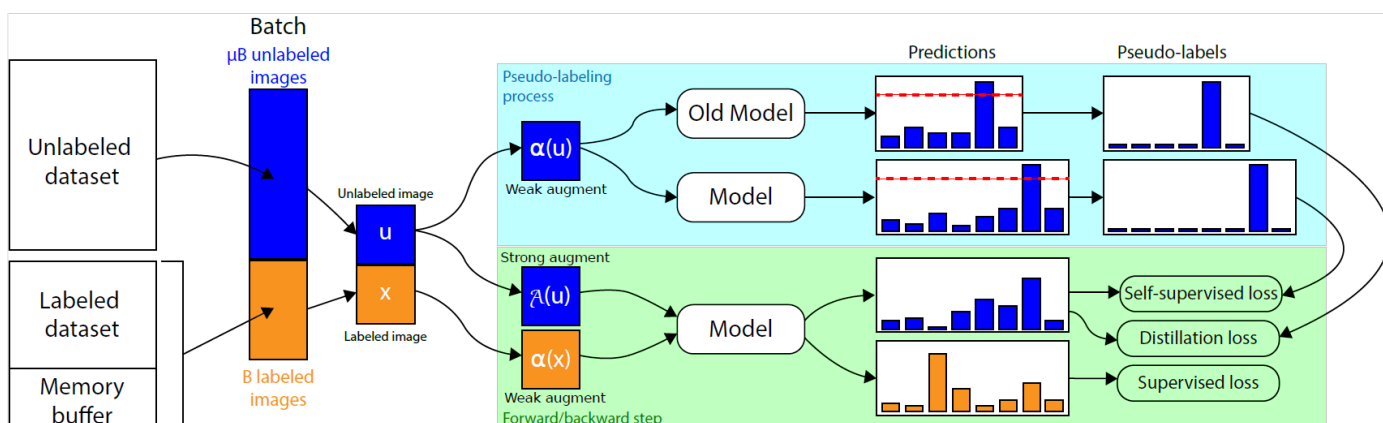
Résumé

L'apprentissage incrémental propose un nouveau paradigme d'apprentissage pour les réseaux de neurones artificiels. Il vise à développer des systèmes capables d'enrichir leurs connaissances et leurs compétences après la phase d'entraînement initiale. Ce schéma d'entraînement est particulièrement intéressant pour des applications liées à un domaine de connaissances évolutif ou très étendu.

Pour qu'une solution soit adaptée à l'apprentissage incrémental, le modèle doit remplir deux conditions : être capable d'apprendre la nouveauté et retenir ce qui a été précédemment appris, i.e. prévenir l'oubli catastrophique des acquis. Ce deuxième point est une problématique majeure des réseaux de neurones artificiels. L'ajout de nouvelles connaissances en incrémental vient écraser les précédentes.

Au cours de cette thèse, nous proposons de traiter l'apprentissage continu du point de vue du domaine de l'apprentissage des représentations. En supposant l'existence de données non-annotées accessibles par le modèle pendant l'apprentissage, nous proposons des approches incrémentales semi-supervisées.

Nous montrons qu'exploiter des données annexes permet de régulariser le modèle pendant le processus incrémental. Via la semi-supervision, les modèles proposés exploitent les représentations améliorées pour faciliter l'apprentissage de la nouveauté, mais aussi pour stabiliser les poids face à l'oubli catastrophique.



Améliorer la navigation inertielle d'un véhicule sous- marin par corrélation de terrain

Camille PALMIER

Thèse soutenue le 1er décembre 2021

ED 039 (EDMI) - Mathématiques et Informatique de Bordeaux

Titre de la thèse

**Nouveaux filtres particulières pour la navigation
sous-marine par fusion multi-capteurs**

Encadrement

Département Traitement de l'information et systèmes (DTIS)

Encadrants : Karim Dahia - ONERA

Dann Laneuville - Naval Group

Directeur de thèse : Pierre Del Moral - INRIA Bordeaux

Financement

Naval Group & ONERA

Défi scientifique

Systèmes
intelligents

www.onera.fr/pss

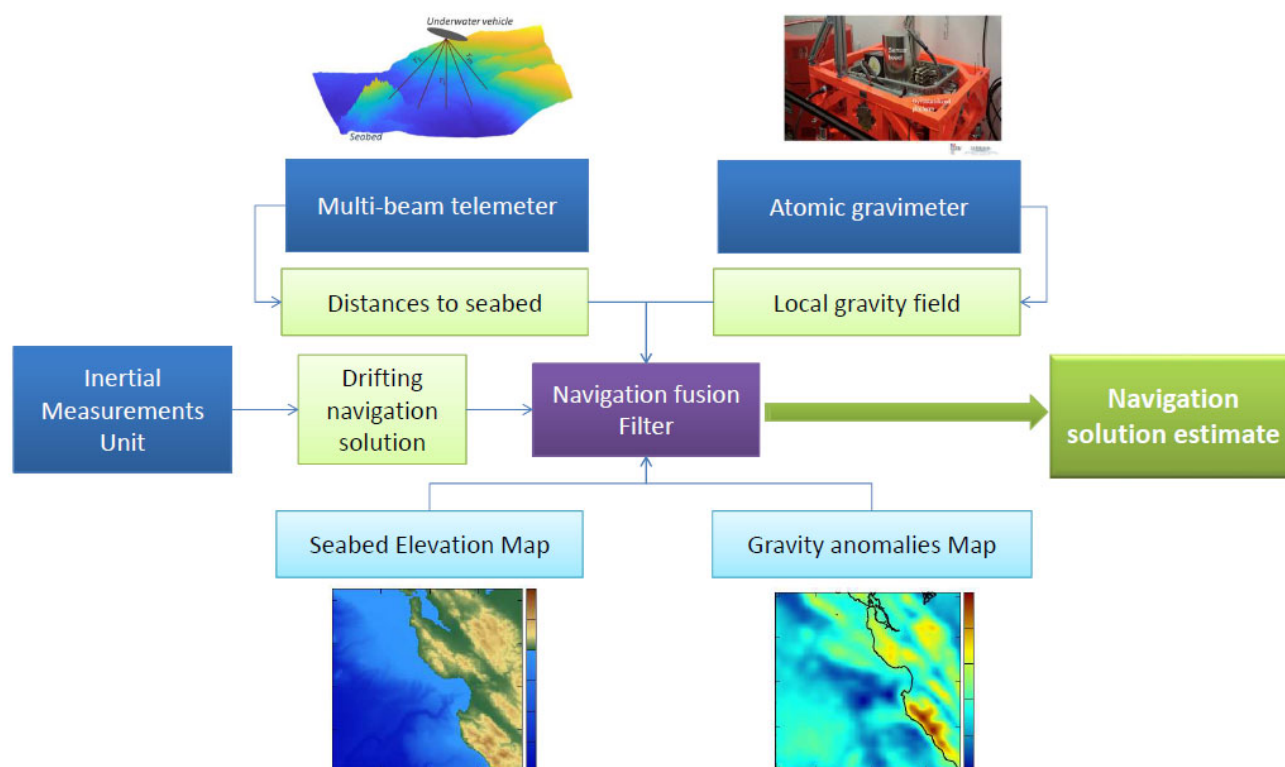


Contact : Karim.Dahia@onera.fr

Nouveaux filtres particulaires pour la navigation sous-marine par fusion multi-capteurs

Résumé

Cette thèse porte sur le développement et l'étude de filtres particulaires robustes pour la navigation sous-marine par corrélation de terrain. Les filtres développés permettent de contrôler l'erreur de l'approximation Monte Carlo due aux approximations d'intégrales et à l'étape de ré-échantillonnage. Une première stratégie consiste à maintenir la cohérence entre la vraisemblance et la densité prédite en approchant la vraisemblance par un noyau adaptatif. Ainsi, les poids des particules dégénèrent plus lentement ce qui réduit les cas de divergence du filtre. Cette méthode – *Adaptive Approximate Bayesian Computational (A2BC)* – a été intégrée aux filtres *Regularised Particle Filter (RPF)* et *Rao-Blackwellised Particle Filter (RBPF)*. Une seconde stratégie est fondée sur le choix d'une densité d'importance dont le support recouvre celui de la densité conditionnelle. Cette stratégie a été intégrée au filtre particulaire *Interacting Weighted Ensemble Kalman Filter (IWEnKF)* et qui a pour base le *Weighted Ensemble Kalman Filter (WEnKF)*. L'IWEnKF calcule analytiquement le support de la densité d'importance afin d'assurer un recouvrement optimal avec la densité conditionnelle, ce qui réduit les fluctuations Monte Carlo. Ces nouveaux filtres ont été appliqués au recalage de navigation inertielle d'un véhicule sous-marin par corrélation de terrain. Ce véhicule est équipé d'un sondeur multi-faisceaux, d'un gravimètre et de cartes numériques associées aux capteurs stockées dans le calculateur de bord. Les résultats montrent une nette amélioration en termes de précision et de robustesse pour les filtres A2BC et IWEnKF par rapport aux filtres particulaires classiques (RPF, RBPF et WEnKF).



Planifier automatiquement les tâches d'un robot autonome en prenant en compte les incertitudes

Sébastien PIEDADE

Thèse soutenue le 5 mai 2021
ED 309 (EDSYS) - Systèmes - Toulouse

Titre de la thèse

Synthèse de plans conditionnels pour la décision dans l'incertain

Encadrement

Département Traitement de l'information et systèmes (DTIS)

Directeurs de thèse : Charles Lesire-Cabaniols - ONERA
Guillaume Infantes - JoliBrain

Financement

ONERA

Défi scientifique

Systemes
intelligents

www.onera.fr/pss



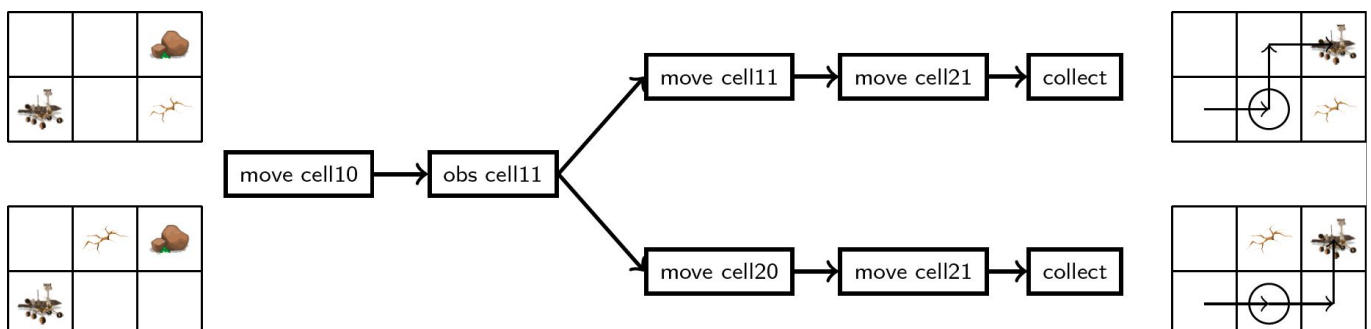
Université
de Toulouse



Contact : Charles.Lesire@onera.fr

Résumé

De nos jours, les robots autonomes sont confrontés à des environnements complexes et incertains nécessitant la planification automatique des différentes tâches devant être accomplies pour mener à bien la mission. Dans cette thèse, nous essayons de résoudre des problèmes dans lesquels l'incertitude est modélisée comme un ensemble d'état initiaux possibles de l'environnement, et nous nous intéressons aux méthodes de planification hors-ligne (avant le départ de la mission), le calcul de plan en ligne entraînant un coût de calcul supplémentaire non négligeable pendant la mission. La planification contingente est une de ces méthodes. Celle-ci consiste à calculer un plan contingent traitant l'incertitude du problème tout en laissant la possibilité d'effectuer des décisions en ligne rapides et conditionnées par des observations de l'environnement. La planification contingente semble particulièrement adaptée aux missions de robotique autonome de par la facilité d'embarquabilité des plans contingents, mais celle-ci présente néanmoins une complexité d'autant plus élevée que le nombre d'observations à réaliser est grand. De plus, la réalisation d'une observation en cours de mission peut être coûteuse pour l'agent devant la réaliser. Cette thèse consiste donc à développer un planificateur contingent traitant des problèmes comportant de l'incertitude sous forme d'un ensemble d'états initiaux possibles en limitant le nombre d'observations du plan. Pour cela, nous avons proposé d'utiliser un planificateur conformant (dont le but est de calculer un plan menant au but du problème quel que soit l'état initial possible et sans réaliser d'observation) afin de calculer le plus de branches conformantes possibles dans le plan contingent. Si un plan conformant ne peut pas être calculé, l'approche se sert ensuite des informations retournées par le planificateur conformant pour sélectionner l'observation à réaliser. Une première approche a été développée puis améliorée au fil de la thèse afin d'aboutir à un planificateur contingent complet, doté d'une représentation compacte des états de croyance, et qui contrairement à une grande partie des planificateurs contingents de la littérature, n'est pas limité aux problèmes de taille contingente inférieure à un. Les résultats de la comparaison de notre approche avec les planificateurs contingents de la littérature indiquent que malgré un temps de calcul plus élevé que ces planificateurs sur une grande partie des problèmes étudiés, notre approche limite efficacement le nombre d'observations du plan, rendant les plans générés compétitifs en terme de taille et de profondeur.



Plan conditionnel prenant en compte l'incertitude sur la localisation des obstacles

Améliorer les commandes de pilotage d'hélicoptère à retour d'effort

Gemma PRIETO AGUILAR

Thèse soutenue le 15 décembre 2021

ED 391 (SMAER) - Sciences Mécaniques, Acoustique, Électronique & Robotique - Sorbonne Université

Méthodologie de conception des lois de retour de force par simulation de boucle de commande hélicoptère

Encadrement

Département Traitement de l'information et systèmes (DTIS)

Encadrants : Laurent Binet & Thomas Rakotomamonjy - ONERA
Pascal Coppée, Safran Electronics and Defense

Directeur de thèse : Philippe Bidaud - ONERA

Financement

CIFRE Safran Electronics & Defense

Défi scientifique

Systèmes
intelligents

www.onera.fr/pss



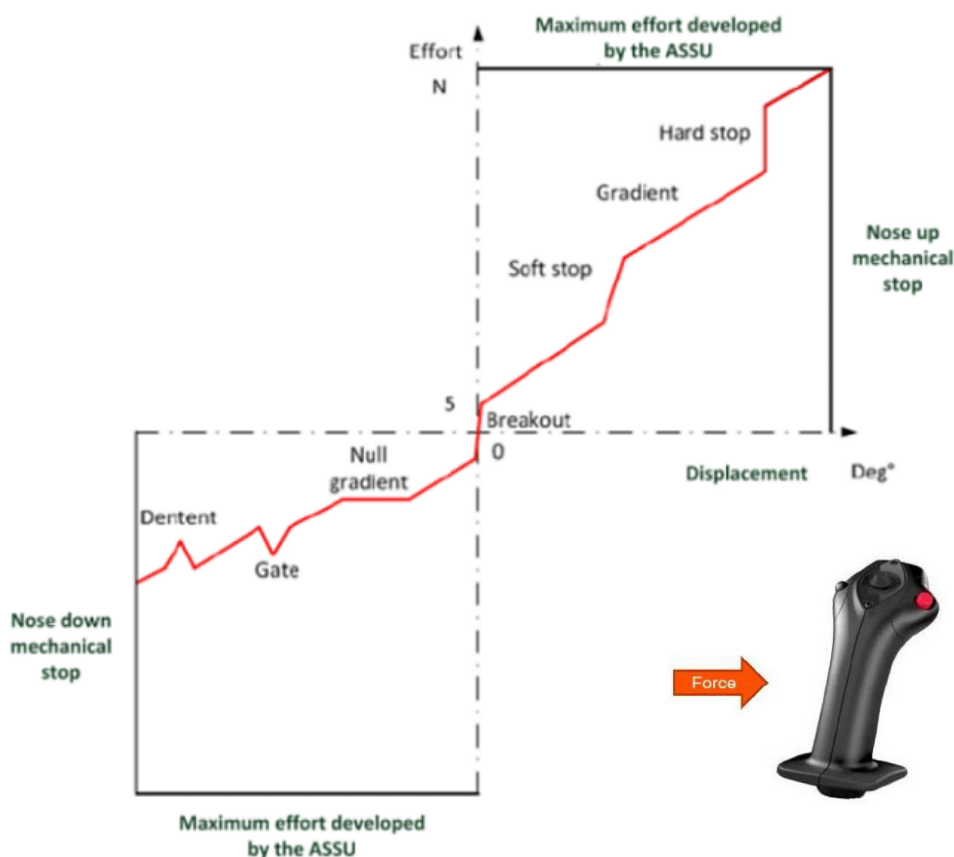
Contact : Thomas.Rakotomamonjy@onera.fr

Méthodologie de conception des lois de retour de force par simulation de boucle de commande hélicoptère

Résumé

La dernière évolution des commandes pilote, connue sous le nom d'ASSU (mini manches actifs), fournit au pilote des retours tactiles en effort (statiques ou dynamiques) au travers du manche. Associée aux CDVE, cette technologie prometteuse offre une amélioration de la sécurité par rapport aux commandes mécaniques qu'ils ont commencé à remplacer, tout en offrant de nombreux avantages en termes de facilité de commande et connaissance de la situation au travers différentes fonctions.

Dans le cadre d'une thèse, de doctorat, l'ONERA et SAFRAN E&D ont entamé une coopération visant à évaluer l'intérêt et les possibilités offertes par la technologie ASSU pour améliorer la sécurité et les qualités de vol des voilures tournantes. Jusqu'à présent, la conception et le réglage de ces fonctions étaient essentiellement réalisés grâce à de nombreux passages en simulateur ou des tests en vol avec des pilotes. En plus de fournir un ensemble de valeurs de paramètres définissant la fonction haptique (si possible optimaux), on s'attend à ce que l'approche présentée ici réduise le nombre des simulations et les difficultés associées à la disponibilité des pilotes, la quantité importante de temps et de ressources matérielles.



L'objectif principal de ce travail est de développer une méthodologie de conception basée sur la simulation d'une boucle complète de pilotage hélicoptère (incluant également le pilote) et permettant la définition et le paramétrage des fonctions haptiques. En outre, certains critères objectifs seront définis et utilisés pour concevoir les lois de retour de force, apportant des moyens supplémentaires d'évaluation et de validation par rapport aux échelles classiques d'évaluation subjective.

Distinction

Prix doctorant ONERA
2021

Esteban RESTREPO-OCHOA

Thèse soutenue le 30 novembre 2011
ED 580 (STIC) - Sciences et Technologies de l'Information et de la
Communication - Paris-Saclay

Titre de la thèse

**Commande en coordination de systèmes multi-agents
robotiques autonomes sous contraintes**

Encadrement

Département Traitement de l'information et systèmes (DTIS)

Encadrant : Ioannis Sarras - ONERA

Directeurs de thèse : Antonio Loria - CNRS
Julien Marzat - ONERA

Financement

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

Défi scientifique

Systèmes
intelligents

www.onera.fr/pss

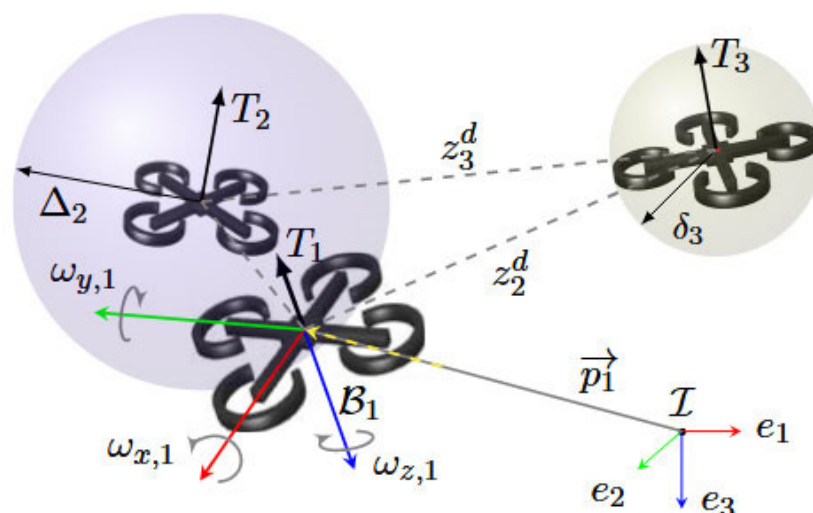


Contact : Ioannis.Sarras@onera.fr

Résumé

Dans cette thèse, nous abordons et résolvons plusieurs problèmes de commande de systèmes multi-agents sous des contraintes multiples. Une partie des contributions consiste à résoudre des problèmes de consensus pour des systèmes linéaires (principalement des intégrateurs de tout ordre) et une autre partie pour des modèles non-linéaires, tels que des véhicules non-holonomes ou des drones autonomes sous-actionnés, en considérant des interconnexions non-linéaires. Ainsi, les problèmes de commande que nous abordons et leur formulation relèvent du domaine de la robotique et plus particulièrement de la commande des véhicules autonomes coopératifs terrestres et aériens.

Concernant les intégrateurs de premier et de second ordre, l'originalité de ce travail consiste à développer une nouvelle analyse de stabilité pour des systèmes multi-agents sous l'action des lois de commande de consensus et avec des contraintes de proximité et des perturbations. En utilisant une représentation basée sur les arêtes nous établissons des propriétés fortes de stabilité et de robustesse, dans le sens de stabilité entrée-sortie, en construisant des fonctions de Lyapunov strictes. Ensuite, nous généralisons les résultats dans deux directions. D'abord, nous développons une méthodologie de commande qui résout le problème de consensus pour des systèmes multi-agents d'ordre élevé sous des contraintes non-linéaires et des perturbations. D'autre part, nous considérons des systèmes robotiques modélisés par des équations dynamiques non-linéaires, soumis à des multiples contraintes et à des perturbations. Dans les deux cas, la stabilité et la robustesse des systèmes en boucle fermée sont établies en utilisant des arguments de l'automatique comme les interconnexions en cascade, les perturbations singulières et la multi-stabilité.



Mieux identifier les mécanismes de contrôle de l'action impactés par la fatigue cognitive

Mick SALOMONE

Thèse soutenue le 10 mars 2021

ED 062 - Sciences de la Vie et de la Santé - Aix-Marseille

Titre de la thèse

Analyse comportementale et électrophysiologique de l'impact de la fatigue cognitive sur les capacités d'adaptation

Encadrement

Département Traitement de l'information et systèmes (DTIS)

Encadrant : Ludovic Fabre - CReA

Directeurs de thèse : Boris Burle - Aix-Marseille Université
Bruno Berberian - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

Systèmes
intelligents

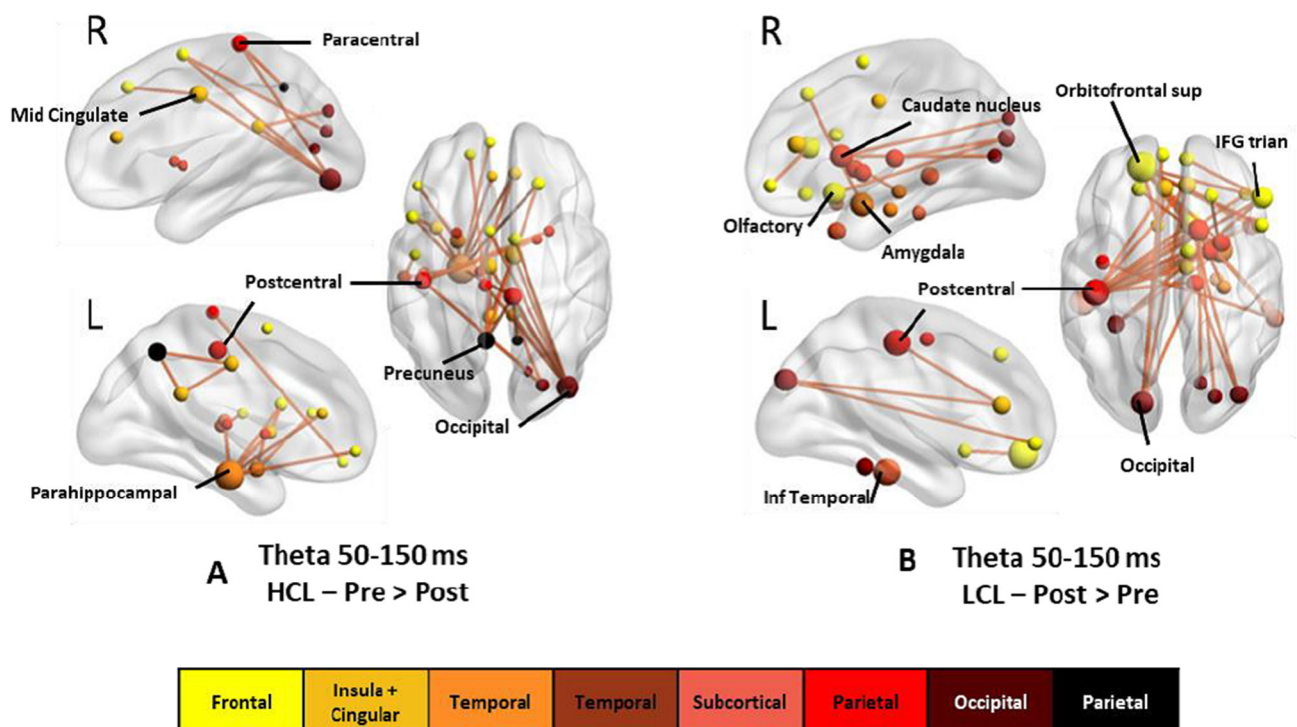
www.onera.fr/pss



Contact : Bruno.Berberian@onera.fr

Résumé

La fatigue cognitive apparaît lorsque nous exerçons un effort mental prolongé. Cet état est défini comme un processus graduel et cumulatif qui est associé à une réticence à l'effort, une efficacité et une vigilance réduite ainsi qu'à des performances mentales altérées. La fatigue cognitive est reconnue par les institutions du domaine aéronautique comme une source d'erreur humaine et est à l'origine de plusieurs accidents et incidents graves. Malgré le grand nombre d'études menées, ses causes et ses effets, notamment sur les capacités d'adaptations, ne sont pas toujours clairement établies. Au cours de cette thèse, nous avons essayé d'apporter des éclaircissements en manipulant la fatigue cognitive au cours de tâche de laboratoire et en évaluant son impact sur le contrôle cognitif à l'aide de mesures de l'activité électrique cérébrale et musculaire. Nos résultats ont contribué à mieux identifier les mécanismes impactés par la fatigue cognitive sur plusieurs aspects du contrôle cognitif, c'est-à-dire le contrôle de l'action et la flexibilité cognitive, ainsi que ses corrélats cérébraux. Nos expériences ont globalement permis d'ajouter des résultats en accord avec les théories motivationnelles de la fatigue cognitive.



*Evolution de la connectivité avec le temps (A et B) lors du traitement des distracteurs au cours des essais différents au niveau de la bande thêta.
HCL : Haute charge cognitive ; LCL : Basse charge cognitive*

Construire une démarche d'analyse de sensibilité globale basée données pour l'évaluation de la fiabilité d'un système complexe

Gabriel SARAZIN

Thèse soutenue le 27 mai 2021

ED 475 (MITT) - Mathématiques Informatique Télécommunications de Toulouse

Titre de la thèse

Analyse de sensibilité fiabiliste en présence d'incertitudes épistémiques introduites par les données d'apprentissage

Encadrement

Département Traitement de l'information et Systèmes (DTIS)

Encadrants : Mathieu Balesdent & Loïc Brevault - ONERA

Directeurs de thèse : Jérôme Morio - ONERA

Agnès Lagnoux - Université Toulouse 2

Financement

Région Occitanie & ONERA

Défi scientifique

Systèmes
intelligents

www.onera.fr/pss



Université
de Toulouse

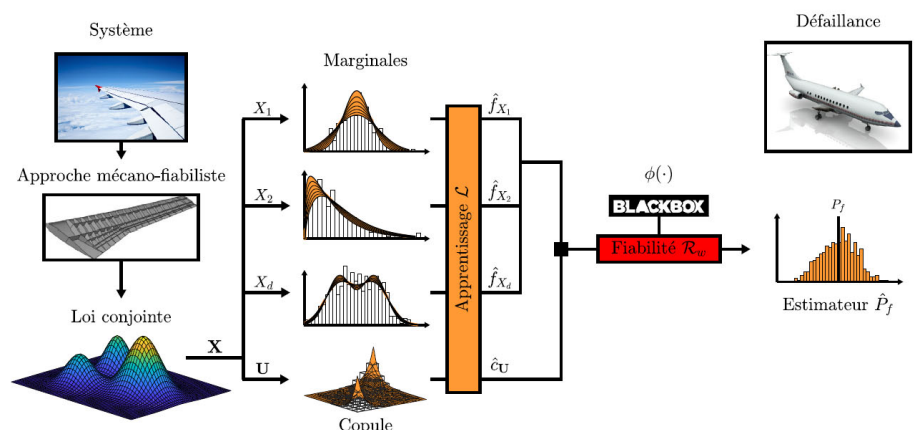


Contact : Jerome.Morio@onera.fr

Résumé

Dans de nombreux domaines industriels, l'évaluation de la fiabilité d'un système complexe nécessite l'utilisation d'un code de simulation déterministe. À partir d'un ensemble de paramètres d'entrée, la sortie du code indique une éventuelle défaillance du système. De par leur variabilité naturelle, les entrées sont entachées d'incertitudes et leur comportement simultané est décrit par une distribution de probabilité multidimensionnelle. La probabilité de défaillance quantifie alors le risque de dépassement d'un seuil extrême en sortie et elle est estimée grâce à un algorithme de fiabilité. Cette thèse s'inscrit dans un cadre plus large où la distribution d'entrée est inconnue. Le seul matériel disponible est un petit échantillon d'observations conjointes à partir duquel la loi d'entrée peut être estimée via un algorithme d'apprentissage statistique s'appuyant sur la séparation copule-marginales. La prédiction fiabiliste découle alors directement des données fournies et elle est donc impactée par la variabilité d'échantillonnage. L'objectif de ce travail est la construction d'une démarche d'analyse de sensibilité globale permettant d'identifier la composante fonctionnelle de la distribution d'entrée qui véhicule le plus de variabilité au moment de son estimation. La réponse à ce problème est très utile si on cherche à réduire la variabilité de la prédiction fiabiliste car elle permet de se focaliser uniquement sur la recherche de données supplémentaires pour la composante ciblée. La première contribution est une procédure d'analyse de sensibilité visant à séparer les incertitudes issues de l'estimation de la densité de copule et celles issues de l'estimation des densités marginales. À la suite de cette première analyse, si la copule est identifiée comme la composante la plus influente, il est assez difficile d'envisager une amélioration de l'état de connaissance de la loi d'entrée. Comme la plupart des modèles de copules s'articulent autour d'un assemblage de copules bidimensionnelles, il est naturel de chercher la copule bidimensionnelle dont l'estimation est la plus influente sur la prédiction fiabiliste. La principale difficulté réside dans le fait qu'il n'existe aucune décomposition systématique permettant de réécrire une copule en fonction de toutes ses copules bidimensionnelles. La seconde contribution est une procédure d'analyse de sensibilité dans laquelle l'incertitude de chaque copule bidimensionnelle est résumée par celle de son coefficient de corrélation de Kendall. Enfin, les deux procédures développées sont appliquées au flambage d'une plaque composite

Propagation des incertitudes véhiculées par les données d'apprentissage sur une probabilité de défaillance



Identifier les interférences générées par la cohérence de caches dans les processeurs multi-cœurs pour aider à leur certification

Nathanaël SENSFELDER

Thèse soutenue le 31 mars 2021

ED 475 (MITT) - Mathématiques Informatique Télécommunications de
Toulouse

Titre de la thèse

**Analyse et contrôle des interférences liées à la cohérence
de cache dans les multi-cœurs COTS**

Encadrement

Département Traitement de l'information et systèmes (DTIS)

Directeurs de thèse : Claire Pagetti & Julien Brunel - ONERA

Financement

Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC)

Défi scientifique

Systèmes
intelligents

www.onera.fr/pss



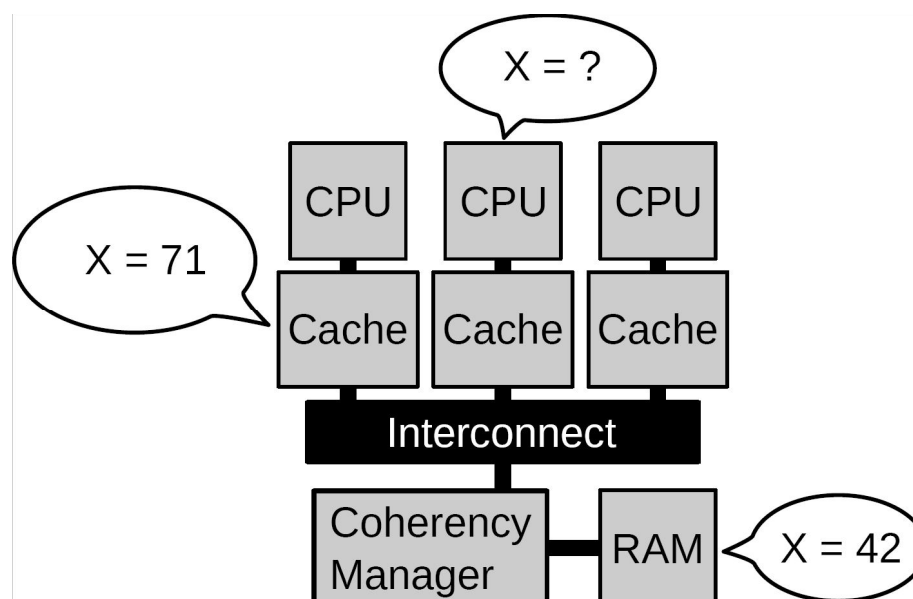
Université
de Toulouse



Contact : Julien.Brunel@onera.fr

Résumé

Les processeurs COTS multi-cœurs, par nature parallèles, améliorent généralement les performances de calcul mais au prix d'un grand manque de prédictibilité, au sens où calculer les pires temps d'exécution est un problème complexe. Parmi les mécanismes complexes, se trouve la cohérence de caches. Celle-ci assure que tous les cœurs lisant ou écrivant dans un même bloc mémoire ne peuvent pas aveuglément ignorer les modifications appliquées par les autres. Afin de maintenir la cohérence de caches, le processeur suit un protocole pré-déterminé qui définit les messages à envoyer en fonction des actions d'un cœur ainsi que les actions à effectuer lors de la réception du message d'un autre cœur. Cette thèse porte sur l'identification des interférences générées par la cohérence de caches. La première contribution adresse les ambiguïtés dans la compréhension du protocole réellement présent dans l'architecture. L'idée consiste à formaliser les protocoles standards et définir une stratégie, reposant sur les micro-benchmarks, pour observer les choix d'implémentation. Cette stratégie a notamment été appliquée sur le NXP QorIQ T4240. Une fois le protocole correctement identifié, la seconde contribution consiste à réaliser une description bas-niveau de l'architecture en utilisant des automates temporisés afin de représenter convenablement les micro-comportements. La troisième contribution explique comment utiliser la modélisation de l'architecture pour exhiber les interférences. Elle propose une stratégie pour détailler les causes et effets de chaque interférence liée à la cohérence de caches sur les programmes.



Cohérence de caches au sein d'une architecture multi-cœurs

Mise en place d'une méthodologie de conception de lois de contrôle pour des systèmes incertains à paramètres variant. Application à un projectile guidé gyrostabilisé

Sovanna THAI

Thèse soutenue le 25 novembre 2021
ED 309 (EDSYS) - Systèmes - Toulouse

Titre de la thèse

Algorithmes de contrôle en vol avancés avec compensation anti-windup pour des systèmes aérospatiaux variant rapidement dans le temps

Encadrement

Département Traitement de l'information et systèmes (DTIS)

Encadrant : Jean-Marc Biannic - ONERA

Directeurs de thèse : Clément Roos - ONERA
Spilios Theodoulis - ISL Saint Louis

Financement

Institut franco-allemand & ONERA

Défi scientifique

Systèmes
intelligents

www.onera.fr/pss

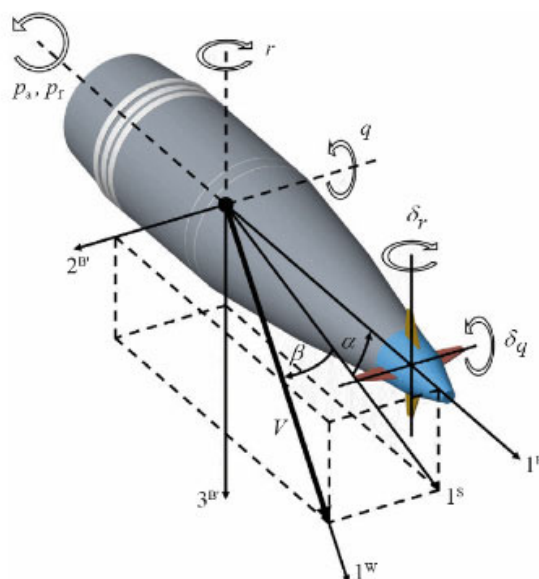


Contact : Jean-Marc.Biannic@onera.fr

Résumé

Dans le secteur aérospatial, la conception de contrôleurs pour des systèmes évoluant sur un domaine de vol étendu constitue un défi majeur. La dépendance non-linéaire de la dynamique de ces systèmes à des paramètres variant dans le temps, les saturations des actionneurs, et les incertitudes de modélisation comptent parmi les sources de difficulté les plus importantes. Les exigences croissantes en terme de performance et les contraintes de coût associées aux applications industrielles modernes rendent la tâche d'autant plus ardue pour l'ingénieur automaticien, qui doit alors le plus souvent recourir à un processus itératif coûteux. Il existe donc un réel besoin de développer des algorithmes et des outils avancés pour traiter les non-linéarités et les incertitudes, et qui soient applicables à des systèmes aérospatiaux réalistes. Les travaux de thèse s'inscrivent dans ce contexte.

L'objectif est de mettre en place une méthodologie pour la conception de lois de contrôle pour des systèmes incertains à paramètres variants, et avec saturation des actionneurs. Pour ce faire, l'idée est d'exploiter et de combiner de manière pertinente le séquençement de gain, la théorie de la commande robuste H-infini, la synthèse *anti-windup*, et les méthodes d'analyse de robustesse (μ -analyse et analyse IQC) durant la phase de conception. Dans cette optique, la μ -analyse probabiliste fait l'objet de contributions théoriques et algorithmiques qui permettent de mieux répondre aux besoins industriels par rapport à la μ -analyse classique. Le développement de la méthodologie générale s'appuie sur l'étude d'une application aéronautique spécifique, à savoir un concept innovant de projectile guidé gyrostabilisé, caractérisé par de fortes non-linéarités et des couplages dynamiques importants. L'étude de ce système va de la modélisation en boucle ouverte jusqu'aux simulations de Monte Carlo non-linéaires en boucle fermée, illustrant la méthodologie proposée dans un cadre applicatif réaliste.



Concevoir des méthodes de partage d'informations visuelles et inertielles pour améliorer l'autonomie de robots dans des zones de navigation communes

Rodolphe DUBOIS

Thèse soutenue le 12 janvier 2021
ED 601 (MathSTIC) - Mathématiques et Sciences et Technologies de l'information et de la communication

Titre de la thèse

Méthodes de partage d'informations visuelles et inertielles pour la localisation et la cartographie simultanées décentralisées multi-robots

Encadrement

Département Traitement de l'information et Systèmes (DTIS)

Encadrant : Alexandre Eudes - ONERA

Directeur de thèse : Vincent Frémont - EC Nantes

Financement

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

Défi scientifique

Perception
artificielle
multimodale

www.onera.fr/pss



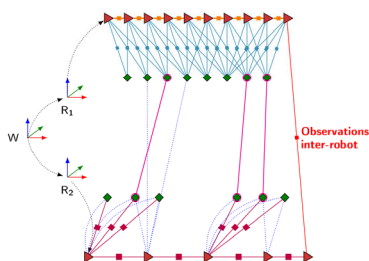
Contact : Alexandre.Eudes@onera.fr

Résumé

En robotique mobile, les méthodes de cartographie et de localisation simultanées (SLAM) constituent une brique algorithmique essentielle afin de percevoir l'environnement et y naviguer de façon autonome. En contexte visuel, les méthodes de SLAM mono-robot ont aujourd'hui atteint un haut degré de maturité, ce qui a permis l'essor de méthodes collaboratives. Néanmoins, les problématiques d'autonomie des agents couplées aux contraintes d'information, de réseau et de ressources interrogent sur la nature des données à transmettre entre les robots. L'objectif de cette thèse est de concevoir des méthodes de partage d'informations visuelles et inertielles qui favorisent l'autonomie des robots et leur permettent d'affiner leur navigation dès lors qu'ils visitent des zones communes. Dans ce but, nous investiguons différents paradigmes d'échanges pour des architectures décentralisées de SLAM visio-inertiel et stéréo-visuel. Tout d'abord, nous proposons trois façons de synthétiser des données visio-inertielles, et développons une architecture de SLAM collaboratif décentralisée chargée d'en organiser le calcul, l'échange et l'intégration. Ces méthodes exploitent respectivement l'échange de sous-cartes visio-inertielles rigides, de paquets condensés par marginalisation et éparsification consistante, et de paquets élagués via la sélection de facteurs visio-inertiels bruts. Nous les évaluons sur des jeux de données standards, ainsi que sur notre jeu de données AirMuseum, spécifiquement conçu à cette fin. Enfin, nous appliquons l'architecture développée pour la cartographie dense en étendant une méthode de cartographie collaborative reposant sur l'échange, le recalage et la fusion de sous-cartes localement consistantes associées à des représentations de type TSDF.

Éparsification de graphes de facteurs

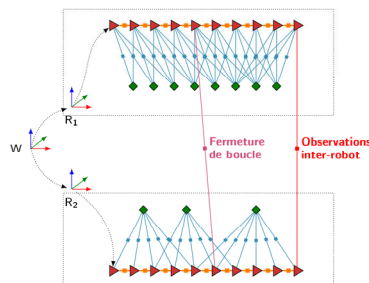
Approximation par marginalisation locale et sparsification consistante.



- ✓ Faible quantité de données transmise
- ✓ Intégration rapide
- ✗ Calcul des paquets complexe
- ✗ Approche très conservatrice

Sélection par Min-K-cover

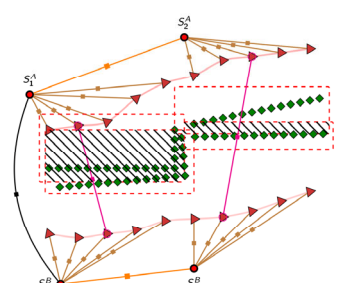
Sélection d'amers, de facteurs et de mesures visuelles brutes.



- ✓ Intégration consistante
- ✓ Paquets rapides à calculer

Échange et Recalage de sous-carte

Échange et recalage de sous-cartes VI par *Iterative Closest Point*.



- ✓ Informations structurelles riches
- ✗ Convergence des ICP tributaire du pré-alignement
- ✗ Plus grande quantité de données transmise

Illustration des différentes méthodes de formation de paquets étudiées pour le partage de données vision-inertielle

Développer de nouvelles techniques pour l'estimation du mouvement en tout point d'une séquence vidéo

Pierre GODET

Thèse soutenue le 22 janvier 2021

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

Titre de la thèse

**Approches par apprentissage pour l'estimation de
mouvement *multiframe* en vidéo**

Encadrement

Département Traitement de l'information et systèmes (DTIS)

Encadrants : Aurélien Plyer - ONERA

Alexandre Boulch - Valeo.ai

Directeur de thèse : Guy Le Besnerais - ONERA

Financement

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

Défi scientifique

Perception
artificielle
multimodale

www.onera.fr/pss



**AGENCE
INNOVATION
DÉFENSE**

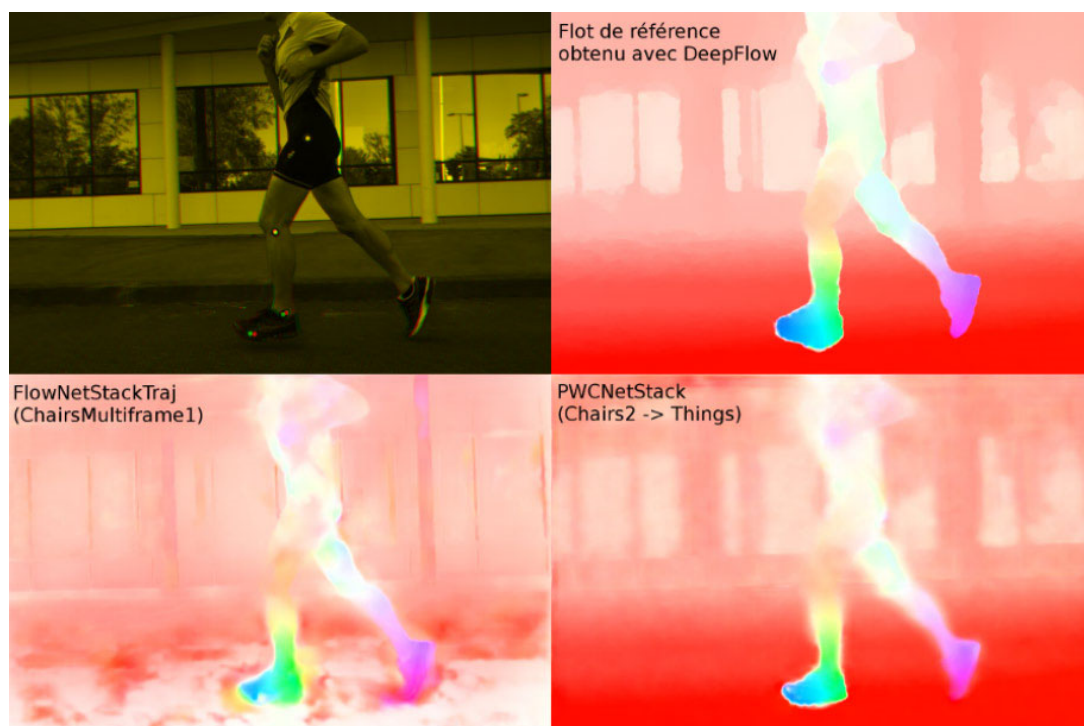
**université
PARIS-SACLAY**



Contact : Aurelien.Plyer@onera.fr

Résumé

Ce travail porte sur l'exploitation de l'information temporelle sur une séquence de plus de deux images pour l'estimation du flot optique, défini comme le champ dense (en tout pixel) des mouvements apparents dans le repère image. Nous étudions d'une part l'utilisation d'une base de modèles temporels, appris par analyse en composantes principales à partir des données étudiées, pour modéliser la dépendance temporelle du mouvement. Cette première étude se focalise sur le contexte de la vélocimétrie par images de particules en mécanique des fluides. D'autre part, le nouvel état de l'art de l'estimation de flot optique ayant récemment été établi par des méthodes basées sur l'apprentissage profond, nous entraînons des réseaux de neurones convolutifs à estimer le flot optique en profitant de la continuité temporelle, dans le cas de séquences d'images naturelles. Nous proposons ensuite STaRFlow, un réseau de neurones convolutif exploitant une mémoire de l'information du passé au moyen d'une récurrence temporelle. Par application répétée d'une même cellule récurrente, les mêmes paramètres appris sont utilisés pour les différents instants considérés et pour les différents niveaux d'un processus multi-échelle. Cette architecture est plus légère que les réseaux concurrents tout en conférant à STaRFlow des performances à l'état de l'art. Au fil de nos travaux, nous mettons en évidence plusieurs cas où l'utilisation de l'information temporelle permet d'améliorer la qualité de l'estimation, en particulier en présence d'occultations, lorsque la qualité image est dégradée (flou, bruit), ou encore dans le cas d'objets fins.



Reconnaitre les actions dans une vidéo, ainsi que leurs limites temporelles

Guillaume VAUDAUX-RUTH

Thèse soutenue le 8 décembre 2021

ED 391 (SMAER) - Sciences mécaniques, acoustique, électronique et robotique de Paris

Titre de la thèse

Du repérage sémantique robuste d'actions vers leur détection dans les vidéos

Encadrement

Département Traitement de l'information et systèmes (DTIS)

Encadrant : Adrien Chan-Hon-Tong - ONERA

Directrice de thèse : Catherine Achard - Sorbonne Université

Financement

ONERA

Défi scientifique

Perception
artificielle
multimodale

www.onera.fr/pss

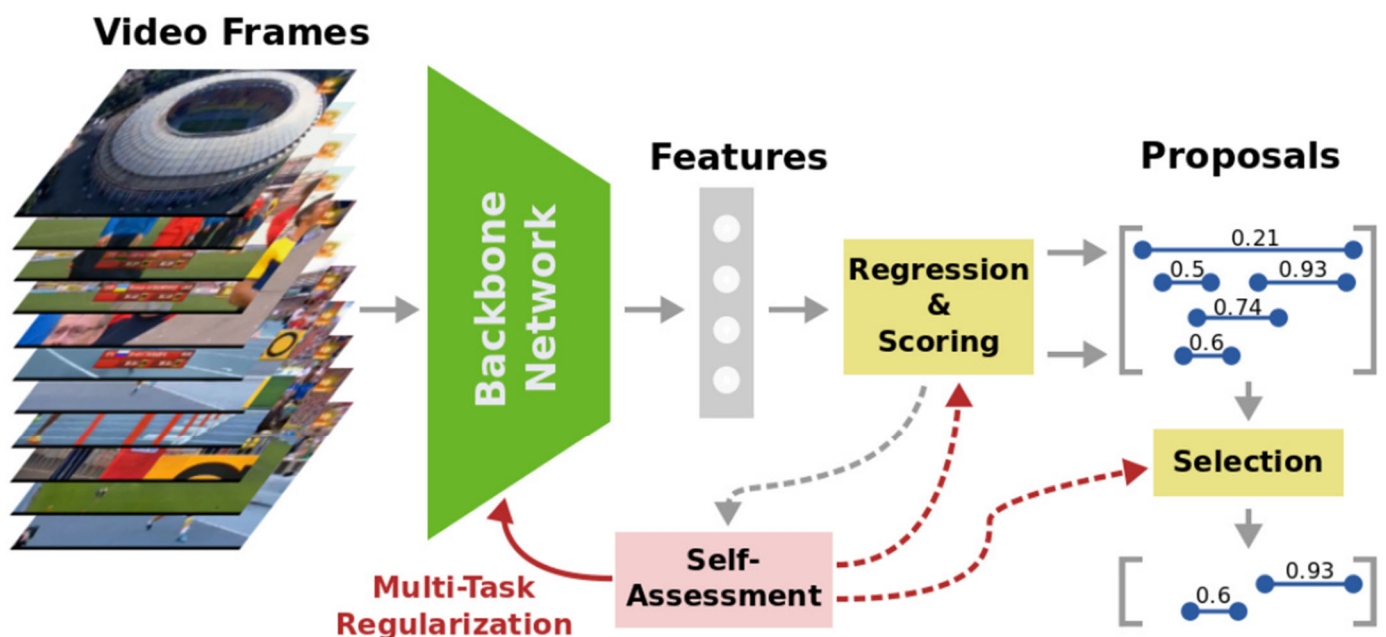


Contact : Adrien.Chan-Hon-Tong@onera.fr

Du repérage sémantique robuste d'actions vers leur détection dans les vidéos

Résumé

La compréhension de vidéos nécessite une caractérisation à la fois spatiale et temporelle de leur contenu. Ainsi, face au succès des méthodes d'apprentissage statistique par réseaux de neurones pour l'analyse automatique d'images, ces méthodes ont rapidement été étendues au contexte spatio-temporel. La dimension temporelle introduit de nouvelles problématiques algorithmiques, que ce soit pour la caractérisation des vidéos ou pour l'extraction d'informations sémantiques. Dans cette thèse, nous nous intéressons à la détection temporelle d'actions qui vise, non seulement à reconnaître les actions présentes dans une vidéo, mais aussi à en connaître les limites temporelles. Plus précisément, nous étudions l'impact que peut avoir la recherche d'une localisation temporelle fine sur la robustesse de l'extraction sémantique.



HABILITATIONS À DIRIGER DES RECHERCHES

soutenues en 2021

Hakim AMARA - Apport de la simulation atomique à la compréhension du nanomonde	160
Mathieu BALESDENT - Contributions à l'optimisation et au traitement des incertitudes pour la conception des systèmes aérospatiaux	162
Marc BOYER - Garantir les temps de réponse des réseaux embarqués à l'aide du calcul réseau ...	164
Nicolas CEZARD - Systèmes LIDAR pour la caractérisation à distance des propriétés physico-chimiques de l'atmosphère	166
Valentina DRAGOS - <i>Semantic Frameworks to Enhance Situation Awareness for Defence and Security Applications</i>	168
Vincent FABBRO - Modélisation de la propagation des ondes électromagnétiques et de leur interaction avec l'environnement	170
François-Xavier IRISARRI - Le matériau composite dans la structure : Objet d'étude et variable de conception	172
Julien LABAUNE - xxx	174
Emmanuel LAROCHE - Contribution à la modélisation et simulation par des modèles de turbulence RANS avancés des transferts thermiques dans les systèmes aéronautiques	176
Vincent MAGET - La dynamique des ceintures de radiation terrestres : Un équilibre complexe entre processus physiques.....	178
Daniel PROST - La thermographie du champ électromagnétique	180

Hakim AMARA

HDR soutenue le 13 janvier 2021
Université de Paris

Apport de la simulation atomique à la compréhension du nanomonde

Composition du jury

Cyrille BARRETEAU

Christine MOTTET

Christophe VOISIN

Jacek GONIAKOWSKI

Gilles PATRIARCHE

François DUCASTELLE

CEA-Université Paris Saclay

CINaM-Aix Marseille Université

LPENS-Université de Paris

INSP-Sorbonne Université

C2N-Université Paris Saclay

LEM-ONERA/CNRS



Résumé

Les nanomatériaux se sont imposés comme la base de nouvelles classes de matériaux dont les propriétés physico-chimiques opèrent une rupture scientifique avec leurs parents massifs. Le nombre impressionnant de contributions majeures a mis en lumière leurs propriétés singulières, leurs forces mais aussi leurs faiblesses pour leur utilisation dans diverses applications. Dans ce contexte, la modélisation à l'échelle atomique joue donc un rôle essentiel pour non seulement mieux cerner certaines propriétés mais également en prédire de nouvelles. Pour illustrer l'apport de la simulation atomique à la compréhension du nanomonde, deux exemples sont présentés issus des travaux d'Hakim Amara.

Le premier concerne le nitrure de bore hexagonal, un matériau 2D dont l'intérêt ne cesse de croître pour ses propriétés de photoluminescence si uniques. Une étude théorique détaillée des propriétés excitoniques (paire électron-trou) est présentée dans le cas d'une monocouche et également d'un ensemble de couches. En combinant des calculs *ab initio* (GW/Bethe-Salpeter) et un modèle de type liaisons fortes, il montre comment l'épaisseur de la couche affecte la forme du spectre d'absorption.

La deuxième partie de la soutenance est consacrée aux nanotubes de carbone dont les propriétés électroniques dépendent de la façon dont ils sont enroulés autour de leur axe. Une synthèse sélective permettrait de fabriquer à l'échelle industrielle différents dispositifs mais de telles applications se heurtent à une compréhension limitée des mécanismes de croissance. A partir de simulations Monte Carlo, Hakim Amara a développé un modèle thermodynamique de la croissance permettant d'établir des cartes structurales qui serviront à guider un choix rationnel de catalyseurs et de paramètres de croissance vers une meilleure sélectivité.

Mathieu BALESDENT

HDR soutenue le 26 mars 2021
Université Jean Monnet, Saint-Étienne
Spécialité : Sciences pour l'ingénieur

**Contributions à l'optimisation et au traitement des
incertitudes pour la conception des systèmes
aérospatiaux**

Composition du jury

Bertrand IOOSS	Chercheur Sénior HDR, EDF R&D
Amandine MARREL	Ingénieur-Chercheur, HDR, CEA Cadarache
Joseph MORLIER	Professeur, ISAE-SUPAERO
Rodolphe LE RICHE	Directeur de Recherche CNRS, École des Mines de Saint-Étienne
Olivier ROUSTANT	Professeur, INSA Toulouse
Bruno SUDRET	Professeur, ETH Zurich



Résumé

Ces travaux de recherche, réalisés au sein du département Traitement de l'Information et Systèmes de l'ONERA, portent sur la conception et l'analyse des performances des véhicules aéronautiques et spatiaux. La conception de ce type de véhicules, comme les nouvelles configurations de lanceurs réutilisables, est un processus complexe où la recherche de la meilleure performance au moindre coût tout en assurant un niveau de fiabilité maximal est prépondérante. Ce processus fait appel à de nombreuses disciplines (aérodynamique, propulsion, trajectoire, structure, etc.). La prise en compte des couplages entre les disciplines accentue notablement la complexité du problème à résoudre (accroissement de la dimensionnalité de l'espace de recherche, nouvelles contraintes à satisfaire, durées de calcul prohibitives). Ces travaux de recherche portent sur la proposition de nouvelles méthodes pour mieux appréhender cette complexité, à travers notamment les approches relatives à l'analyse et l'optimisation multidisciplinaire et à l'utilisation de méta-modèles pour la conception.

Les processus de conception de véhicules aérospatiaux font intervenir différentes phases, allant de la conception avant-projet à la conception détaillée. Ces phases se différencient par les niveaux de fidélité des modèles utilisés et des niveaux d'incertitudes variés. La phase d'avant-projet, déterminante dans l'identification de l'architecture et des caractéristiques macroscopiques optimales, se caractérise par un niveau d'incertitudes important, notamment au niveau des modèles employés, des technologies à intégrer et des conditions opérationnelles. Maîtriser ces incertitudes dès les premières phases du processus de conception revêt un caractère capital afin de fiabiliser l'architecture retenue et ainsi minimiser les cycles, coûts et durée de développement. Dans ce cadre, ces travaux de recherche ont porté sur le développement de méthodes pour la quantification et la propagation d'incertitudes ainsi que la proposition d'approches d'optimisation multidisciplinaire sous incertitudes. Les méthodologies développées ont principalement été appliquées à la conception de configurations classiques de lanceurs ou de nouvelles configurations comme les lanceurs réutilisables.

Marc BOYER

HDR soutenue le 18 mars 2021
Institut national polytechnique de Toulouse

**Garantir les temps de réponse des réseaux
embarqués à l'aide du calcul réseau**

Composition du jury

Jean-Yves LE BOUDEC	Professeur, EPFL
Anne BOUILLARD	Chercheuse, Huawei
Emmanuel CHAPUT	Professeur, INPT/ENSEEIH
Emmanuel GROLLEAU	Professeur, ENSMA
Isabelle PUAUT	Professeure, Université de Rennes I
Jean-Luc SCHARBARG	Professeur, INPT/ENSEEIH
Ye-Qiong SONG	Professeur, Université de Lorraine



Résumé

Les systèmes embarqués (avions, satellites, automobiles, etc.) embarquent de nos jours des dizaines voire centaines de calculateurs, lisant et contrôlant dix fois plus de capteurs et actionneurs. Ces composants échangent des données à travers des réseaux de communication (CAN, AFDX, Ethernet, TSN, etc.) et le bon fonctionnement de l'ensemble nécessite, entre autres choses, que le temps de traversée du réseau par chaque donnée respecte une exigence fixée par conception.

La théorie du calcul réseau permet de calculer des bornes sur ces temps de traversée. Marc Boyer montre comment il a pu contribuer dans ce domaine, en améliorant des aspects de cette théorie, en élargissant son domaine d'usage, ou en augmentant la confiance associée aux résultats. Il montre également comment ses travaux s'intègrent dans les enjeux et contraintes des industriels partenaires.

Nicolas CÉZARD

HDR soutenue le 11 mai 2021

Université Toulouse III - Paul Sabatier

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

Systemes LIDAR pour la caractérisation à distance des propriétés physico-chimiques de l'atmosphère

Composition du jury

Frédéric PAROL	LOA
Patrick RAIROUX	ILM
Philippe ROY	XLIM
Clémence PIERANGELO	CNES
Vincent NOEL	LAERO
Jean-Philippe GASTELLU-ETCHEGORRY	CESBIO
Philippe KECKHUT	LATMOS



**Université
de Toulouse**



Résumé

La caractérisation des propriétés physico-chimiques de l'atmosphère est une nécessité pour bon nombre des missions de recherches de l'ONERA, dans les domaines de la Défense, de l'Aéronautique, de l'Espace et de l'Environnement. Pour cela, la technique LIDAR (Light Detection and Ranging) dispose d'un potentiel remarquable. Il s'agit d'une technique de télédétection analogue au RADAR, mais adaptée au domaine optique, et donc basée sur une émission laser. La longueur d'onde émise étant très petite ($<20 \mu\text{m}$), elle est capable d'interagir avec les molécules de gaz et les aérosols atmosphériques. En captant la très faible fraction de lumière rétrodiffusée, il est possible d'accéder, par divers procédés, à un grand nombre de propriétés de l'atmosphère, comme la vitesse du vent, la température de l'air, sa densité, ou encore la nature et concentration des gaz et aérosols en présence.

Nicolas Cézard présente différents travaux de recherche sur les lidars atmosphériques, qu'il a pu mener au Département d'Optique et Technique Associées (DOTA) de l'ONERA, depuis 2004. La présentation aborde trois domaines scientifiques principaux (optique atmosphérique, technologies optroniques, et traitement de l'information), et illustre plusieurs avancées obtenues, en particulier dans les domaines de la mesure de vent et d'espèces moléculaires d'importance majeures (CH_4 , CO_2 , $\text{H}_2\dots$).

Valentina DRAGOS

HDR soutenue le 21 juin 2021

Université de Paris

Spécialité : Informatique

Semantic Frameworks to Enhance Situation Awareness for Defence and Security Applications

Composition du jury

Salima BENBERNOU	Professor, University of Paris, France
Joel BRYNIELSSON	Research Director, Swedish Defence Research Agency, (FOI), Sweden
Iris TARAVELLA-ESHKOL	Professor, University of Paris-Nanterre, France
Aldo NAPOLI	Research Director, Center for Risk and Crisis Analysis (CRC), MinesParis Tech, Sophia Antipolis, France
Simon MASKELL	Professor, University of Liverpool, United Kingdom
Cecilia ZANNI-MERK	Professor, INSA Rouen Normandie, France



Résumé

Ce projet de recherche présente des méthodes et outils développés afin d'intégrer des connaissances dans les chaînes de traitement de l'information pour les applications de sécurité et défense. Les contributions ont abordé plusieurs aspects.

Premièrement, deux approches ont été développées pour évaluer la qualité des informations fournies par les humains. Ces solutions utilisent des ontologies pour détecter les incohérences et les contradictions, ou exploitent les propriétés des sources d'information pour attribuer un degré de confiance aux items.

Deuxièmement, nous avons étudié l'utilisation de la sémantique pour la recherche d'informations, la réutilisation des connaissances expertes et la fusion des données hétérogènes.

Troisièmement, nous avons développé des modèles et algorithmes pour l'exploitation des sources ouvertes et des données sociales dans le contexte des applications de défense et de sécurité. Ces approches ont été développées en collaboration avec des collègues du monde académique et industriel et incluent plusieurs contributions de stages de master et postdoctoraux.

Les travaux ont été menés dans le cadre de plusieurs projets de recherche financés par l'ANR, DGA, CNRS et la Commission européenne. Les projets impliquaient des partenaires académiques et industriels, tels que George Mason University, (USA), DRDC (Canada), FKIE (Allemagne), NATO CMRE (Italie), Université Paris Nanterre, Université Toulouse 2 (France), Thales TRT et Airbus DS (France)).

Vincent FABBRO

HDR soutenue le 18 novembre 2021
Université de Toulouse

**Modélisation de la propagation des ondes électromagnétiques
et de leur interaction avec l'environnement**

Composition du jury

Bernard UGEN	Professeur, Université de Rennes
Ali KHENCHAF	Professeur, École nationale supérieure de techniques avancées Bretagne
Marc HELIER	Professeur, Sorbonne Université
Aldo NAPOLI	Directeur de recherche, Mines ParisTech, Sophia Antipolis
Danielle VANHOENACKER- JANVIER	Professeure, Université catholique de Louvain
Laurent FERAL	Enseignant chercheur, Université de Toulouse
Christophe BOURLIER	Directeur de recherche au CNRS, Université de Nantes



Université
de Toulouse



Résumé

Lors de cette soutenance d'Habilitation à Diriger des Recherches seront présentés divers travaux de recherche portant sur la modélisation de la propagation des Ondes ElectroMagnétiques (OEM) en milieux complexes. Les travaux adressent notamment la modélisation numérique et analytique des interactions des OEM en environnement marin, avec la troposphère puis l'ionosphère, milieux naturels dont les effets sur la propagation des OEM sont sensibles aux fréquences micro-ondes. La modélisation numérique de la propagation par résolution de l'équation parabolique y est centrale. Elle sera appliquée aux différents environnements de propagation, pour différents types d'applications (radar, télécommunication ou positionnement par radionavigation GNSS). Les effets de réfraction et de scintillation atmosphérique (troposphérique, ionosphérique), des interactions avec le sol ou la surface de mer seront alors illustrés. L'ensemble de l'exposé sera complété par des exemples d'application à la télédétection active de l'atmosphère (restitution des profils verticaux d'indice de réfraction par inversion des échos radars ou de signaux GNSS en géométrie de RadioOccultation, caractérisation de la turbulence troposphérique par sondage GNSS) que les thèmes précédemment évoqués ont opportunément mis à jour. Les perspectives de travaux envisagés sont centrées sur les problèmes de propagation des OEM dans l'ionosphère, avec comme principaux objectifs la caractérisation des fluctuations turbulentes de densité électronique du plasma ionosphérique, leur occurrence, la modélisation et la prévision des scintillations ionosphériques.

**Optimiser le matériau en tous points de la structure :
vers la conception intégrée du matériau composite,
du procédé d'élaboration et de la structure**

François-Xavier IRISARRI

HDR soutenue le 5 juillet 2021

Université Jean Monnet - Saint-Étienne

Spécialité : Sciences pour l'ingénieur

**Le matériau composite dans la structure :
objet d'étude et variable de conception**

Composition du jury

Pedro CAMANHO	Professeur, Université de Porto
Marco MONTEMURRO	Professeur, ENSAM Bordeaux
Joseph MORLIER	Professeur, ISAE-SUPAERO Toulouse
Nathalie BARTOLI	Ingénieur de recherche ONERA-DTIS
Laurent GUILLAUMAT	Professeur, ENSAM Anger
Rodolphe LE RICHE,	Directeur de Recherche CNRS, EMSE



Le matériau composite dans la structure : objet d'étude et variable de conception

Résumé

Ces travaux de recherche, réalisés au sein du Département Matériaux et Structures de l'ONERA, portent sur le développement de méthodes de conception optimale, spécialisées pour les structures composites, et destinées à être transférées à l'industrie. Ces méthodes sont déclinées pour différentes classes de matériaux et procédés d'élaboration composite : stratifiés conventionnels, Quilted Stratum Process, placement de fibres, sandwichs et composites tissés 3D. Le matériau fait d'abord l'objet d'une analyse expérimentale et numérique détaillée dans le contexte des assemblages par fixations mécaniques. Le composite est ensuite considéré comme une variable de conception pour l'optimisation structurale. Les travaux présentés abordent successivement l'optimisation combinatoire des empilements dans le cadre d'une démarche multiniveau, avec prise en compte de règles métier, et l'optimisation topologique de la forme des structures composites. Ces méthodes sont mises en œuvre et discutées sur plusieurs cas de démonstration issus de projets collaboratifs. On revient enfin sur l'analyse expérimentale en montrant le potentiel de l'optimisation des stratifiés pour repenser certains essais de caractérisation des composites.

LABAUNE Julien

HDR soutenue le ...
Université de Paris Saclay

Du plasma pour l'énergétique

Composition du jury

Anne Bourdon	Directeur de recherche CNRS, LPP, Institut Polytechnique de Paris
Jean-Marc Bauchire	Professeur, GREMI, Université d'Orléans
Jean Paillol	Professeur, SIAME, Université de Pau et de Pays de l'Adour
Christophe Laux	Professeur EM2C, CentraleSupélec, Université Paris-Saclay
Laurent Jacquin	Directeur scientifique MFE, ONERA
Jean-Marcel Rax	Professeur, IN2P3, Université Paris-Saclay



Résumé

Les travaux présentés lors de cette HDR concernent la mise en place d'un code plasma dédié aux applications aéronautiques et principalement la combustion assistée par plasma. Les hypothèses retenues lors du développement sont à la fois compatibles avec la simulation de volumes 3D importants et la physique des plasmas qui est très rapide. La quasi neutralité utilisée est compatible avec des tailles de mailles importantes par rapport à la longueur de Debye tout en conservant le calcul du champ électrique local. Celui-ci est ensuite utilisé pour évaluer la chimie des électrons. L'outil développé permet donc de calculer un écoulement en prenant en compte les effets électromagnétiques. La validation est faite sur une décharge à Mach 3 et sur un système de décharges nanoseconde répétitives. L'étude de la combustion est étudiée dans un premier temps en évaluant la structure et l'amplitude du dépôt d'énergie. Puis les différents effets plasmas sont testés dans le cas d'une chambre académique. Enfin pour reproduire au mieux les effets plasmas, des modèles sont mis en place pour reproduire la physique non captée dans le cadre des hypothèses retenues.

Emmanuel LAROCHE

HDR soutenue le 14 octobre 2021
Université de Toulouse

**Contribution à la modélisation et simulation par des modèles
de turbulence RANS avancés des transferts thermiques dans
les systèmes aéronautiques**

Composition du jury

Tony Arts, Professeur IVK et Université Catholique de Louvain
Pascal Bruel, Chargé de recherches CNRS, Université de Pau Pays de l'Adour
Françoise Bataille, Professeure, Université de Perpignan
Eva Dorignac, Professeure, Université de Poitiers
Pierre Sagaut, Professeur, Université Aix-Marseille
Stéphane Vincent, Professeur, Université Gustave Eiffel
Jean-Luc Estivalezes, Professeur associé, Institut national Polytechnique de Toulouse



Résumé

Les dispositifs de refroidissement rencontrés dans les systèmes aéronautiques modernes sont le siège d'écoulements turbulents complexes. Une illustration en est donnée par les phénomènes présents dans les turbomachines actuelles, qui combinent des niveaux élevés de température, des effets de rotations importants, le tout se superposant à une turbulence fortement anisotrope. La modélisation de ces écoulements constitue le fil conducteur principal des travaux que j'ai entrepris, ou contribué à diriger depuis environ 25 ans. L'exposé précisera d'abord le contexte, et la nature des contraintes rencontrées. Il montrera comment les approches turbulentes RANS restent encore d'actualité pour décrire la thermique associée à ces systèmes. Il résumera ensuite brièvement la logique des modèles sur lesquels j'ai pu travailler. La partie principale de l'exposé s'attachera à montrer l'intérêt des modèles transportant les tensions de Reynolds dans la description de ces écoulements complexes, ainsi que le gain obtenu en les couplant à des modèles avancés pour les flux de chaleur turbulents. Une illustration en sera donnée sur le cas d'une rangée de trous de refroidissement évasés. La dernière partie illustrera comment l'analyse de simulations instationnaires peut contribuer à l'amélioration de ces modèles sur le thème du refroidissement par impact.

Vincent MAGET

HDR soutenue le 13 avril 2021
Université Toulouse III - Paul Sabatier

**La dynamique des ceintures de radiation terrestres :
Un équilibre complexe entre processus physiques**

Composition du jury

Benoit LAVRAUD	Directeur de recherche, IRAP et LAB
Vivianne PIERRARD	Professeur, BIRA-IASB
Pierre-Louis BLELLY	Directeur de recherche, IRAP
Karl-Ludwig KLEIN	Directeur de recherche, Observatoire de Paris
Thierry DUDOK de WIT	Professeur, LPC2E



Université
de Toulouse



Résumé

Les ceintures de radiations constituent un environnement hostile présent autour de toute planète magnétisée. Elles sont constituées essentiellement de protons et d'électrons de très hautes énergies. Piégées par le champ magnétique de la planète, ces particules ont une durée de vie très longue, pouvant dépasser l'année. La physique à l'origine de ce piégeage est complexe et met en jeu de nombreux processus d'interaction, pilotés essentiellement par l'activité solaire, ce qui induit une forte dynamique dans ce milieu. La particularité de ces particules est qu'elles sont capables de pénétrer très profondément la matière tout en déposant énormément d'énergie sur leur passage. Ainsi, elles sont très contraignantes pour toute mission spatiale, et en particulier pour tous les satellites opérationnels et commerciaux orbitant autour de la Terre.

Ainsi, le domaine des ceintures de radiation est à la fois un sujet de recherche amont, de par la recherche scientifique sur les différents processus physiques qui les régissent, et un sujet de recherche appliquée, directement en lien avec les besoins des industriels.

Vincent Maget présente sa contribution à ces thèmes de recherche au travers de ses travaux sur la modélisation de la dynamique des ceintures de radiation, le développement de méthodes d'assimilation de données adaptées à ce domaine d'étude, et la météorologie de l'Espace.

Daniel PROST

HDR soutenue le 5 juillet 2021

Université de Toulouse

La thermographie du champ électromagnétique

Composition du jury

Françoise PALADIAN	Professeure, Université Clermont Auvergne
Marc HELIER	Professeur, Université Paris Sorbonne
Hervé PRON	Professeur, Université Reims Champagne
Olivier PASCAL	Professeur, Université Toulouse 3 - Paul Sabatier
Philippe BESNIER	Docteur, CNRS - INSA Rennes
Jean-François BOBO	Docteur, CNRS - CEMES



La thermographie du champ électromagnétique

Résumé

La thermographie des champs électromagnétiques (EM) permet une visualisation, une cartographie, éventuellement une mesure, du champ EM et, comme son nom l'indique, est basée sur la mesure de l'échauffement d'un capteur placé dans le champ. Brevetée par l'ONERA sous la dénomination EMIR (EM InfraRouge) en 1998, elle est utilisée pour des études en Compatibilité EM (détection de fuites EM), pour l'analyse d'objets rayonnants, de métamatériaux, et pour la caractérisation de sources antennaires.

Après une revue générale, sont présentées des améliorations de cette méthode et notamment

- i) La mesure du champ magnétique, et non plus seulement du champ électrique,
- ii) Le passage à une mesure vectorielle du champ, c'est-à-dire la possibilité de déterminer la direction d'un champ à polarisation rectiligne, ou bien le taux d'ellipticité dans le cas d'une polarisation circulaire,
- iii) La possibilité d'utiliser une simple caméra optique afin de s'affranchir de la caméra infrarouge, par le truchement de la thermofluorescence, propriété qu'ont certains fluorophores de voir leur intensité de fluorescence varier avec la température, et donc ici avec le champ EM.

POST-DOCTORATS

démarrés en 2021

MATÉRIAUX ET STRUCTURES

domaine scientifique

Armand BARBOT - Modélisation multi-échelle de la plasticité à l'aide d'algorithmes d'intelligence artificielle [défi 6 - Matériaux aérospatiaux stratégiques]

Eliot SCHULHER - Analyse thermomécanique du comportement des matériaux soumis à de hautes vitesses de déformation [défi 6 - Matériaux aérospatiaux stratégiques]

Victor SZCZEPAN - Modélisation de la porosité Kirkendall dans les polycristaux [défi 6 - Matériaux aérospatiaux stratégiques]

MÉCANIQUE DES FLUIDES ET ÉNERGÉTIQUE

domaine scientifique

Mohamed Yacine BEN ALI - *Data assimilation of aero-optical measurements for thermal flow reconstruction* [défi 4 - Vers la maîtrise de la turbulence]

Virgile CHARTON - Simulation mixte du plasma issu de jet moteur en haute atmosphère. [défi 6 - Matériaux aérospatiaux stratégiques]

Moussa DIOP - Simulation instationnaire d'un écoulement autour d'immeubles [défi 4 - Vers la maîtrise de la turbulence]

Adèle VEILLEUX - Conduite et post-traitement d'une simulation aux grandes échelles du phénomène de transition bypass sur paroi froide [défi 4 - Vers la maîtrise de la turbulence]

PHYSIQUE

domaine scientifique

Claire ABADIE - Photodétecteurs nanostructurés à base de nanocristaux colloïdaux [défi 9 - Photonique et systèmes optroniques]

Arijit DE - *Characterization and simulation of the tropospheric propagation channel at Ka and Q/V bands using physical deterministic models from data collected in the GSAT-14 propagation campaign* [défi 10 - Électromagnétisme et radar]

Marie GUIONIE - Sources laser à spectre étroit dans la gamme 8-12 μm pour la détection de gaz à distance [défi 10 - Électromagnétisme et radar]

Rémi PACAUD - Nouveaux moyens de diagnostic de l'effet multipactor [défi 10 - **Électromagnétisme et radar**]

Laurent QUIBUS - *Characterization and simulation of the tropospheric propagation channel at Ka and Q/V bands using physical deterministic models* [défi 10 - **Électromagnétisme et radar**]

SIMULATION NUMÉRIQUE AVANCÉE

domaine scientifique

Yongseok JANG - Algèbre linéaire rapide pour la CFD [défi 5 - **CFD 2030**]

Mads H. Aa. MADSEN - *Efficient time-dependent wind turbine design using a time-spectral approach*

Pratik RAI - Modèles mathématiques de trafic urbain [défi 1 - **Optimisation multidisciplinaire et évaluation**]

Bernard REMAN - *Development of a numerical model of Dielectric Barrier Discharges (DBDs) in a water-gas environment* [défi 5 - **CFD 2030**]

TRAITEMENT DE L'INFORMATION

domaine scientifique

Rafael BAILON-RUIZ - Architecture de contrôle et planification embarquée pour satellite d'observation d'une constellation [défi 2 - **Systèmes intelligents**]

Julio BETANCOURT - *Quantitative task analysis and evaluation of collaborative robotic solutions for the optimization of industrial processes* [défi 2 - **Systèmes intelligents**]

Thomas CHEVET - Pronostic à base de modèles et commande tolérante aux dégradations pour les systèmes aérospatiaux [défi 2 - **Systèmes intelligents**]

Claire DESHAYES - *Impact of cognitive fatigue on monitoring processes: applications on drone supervision* [défi 2 - **Systèmes intelligents**]

Sara MAQROT - Partage de ressources entre utilisateurs pour une constellation de satellites d'observation [défi 2 - **Systèmes intelligents**]

Tran Vi-vi Élodie PERRIN - *Design of experiments and surrogate models for aerodynamic data* **défi 1 - Optimisation multidisciplinaire et évaluation**]

Mariam TURKI - *Predictable implementation of convolutional neural networks on many-core platforms* [défi 2 - **Systèmes intelligents**]

ALUMNI ONERA

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/>



