

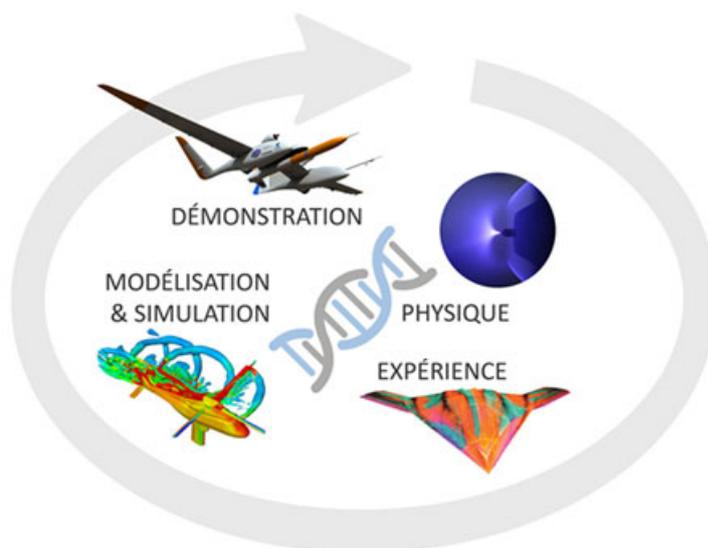
Préparer le futur

FORMATION PAR LA RECHERCHE
THÈSES DE DOCTORAT
POST-DOCS & HDR **2022**

Chiffres-clés 2022

2135	collaborateurs
1679	ingénieurs et cadres
118	habilités à diriger des recherches
341	doctorants
19	post-doctorants
242	stagiaires
85	thèses de doctorat soutenues en 2022
5	habilitations à diriger des recherches soutenues en 2022

L'ADN de l'ONERA



Doctorat, le nouveau sésame



Cette édition 2022 de présentation des thèses de doctorat menées à l'ONERA illustre encore une fois le dynamisme et la fécondité de nos jeunes chercheurs et chercheuses. 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.

Après la crise sanitaire et ses confinements, la reprise s'est bien produite et 85 thèses ont été soutenues cette année. Un certain nombre de contrats doctoraux ont pu être prolongés pour compenser certains retards.

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.

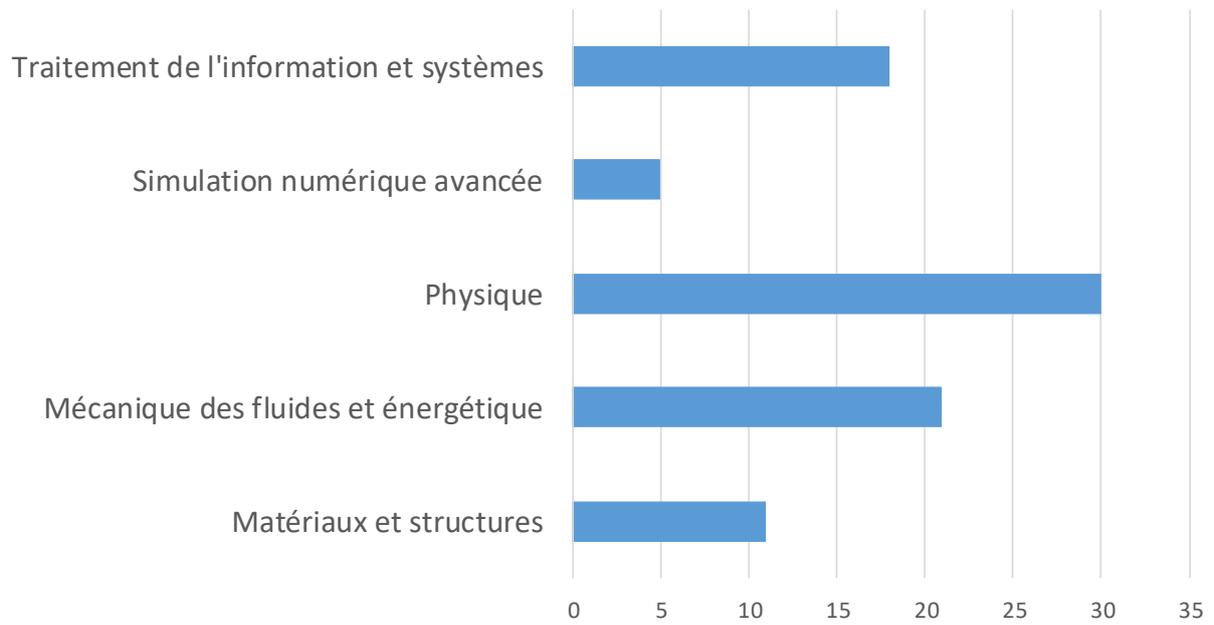
On trouvera également dans ce recueil les Habilitations à diriger des recherches soutenues cette année. Cette reconnaissance du haut niveau scientifique des chercheuses et chercheurs de l'ONERA et de leur capacité à encadrer des thèses est très fortement encouragée.

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

85 thèses de doctorat en 2022
Répartition par domaines scientifiques



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 scientifique 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 a été définie dans un plan stratégique scientifique pour la période 2015-2025 (dernière révision 2020). Ce PSS repose sur douze défis scientifiques qui sont en adéquation avec les contrats d'objectifs et de 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

cristina.rotaru@onera.fr

SOMMAIRE

Le mot du directeur scientifique général	1
La formation par la recherche à l'ONERA.....	3
THÈSES DE DOCTORAT	7
MATÉRIAUX ET STRUCTURES	7
MÉCANIQUE DES FLUIDES ET ÉNERGÉTIQUE	30
PHYSIQUE	72
SIMULATION NUMÉRIQUE AVANCÉE	135
TRAITEMENT DE L'INFORMATION ET SYSTÈMES	146
CONTRATS POST-DOCTORAUX TERMINÉS EN 2022	185
HABILITATIONS À DIRIGER DES RECHERCHES.....	205
ALUMNI	217

THÈSES DE DOCTORAT SOUTENUES EN 2022

DOMAINE MATÉRIAUX ET STRUCTURES

selon les thématiques scientifiques :

Aéroélasticité

- Robin Le Mestre** - Modélisation des effets de fluides externes et internes sur le comportement dynamique des dirigeables flexibles 8
- Nicolas Ombret** - Prédiction du flottement de soufflante avec prise en compte des non-linéarités en pied d'aube 10

Structures de basse dimension

- Étienne Carré** - Propriétés optiques du phosphore noir : du cristal massif aux couches atomique 12

Physique et comportement des matériaux : de l'atome à la microstructure

- Benoît Dabas** - Modélisation de l'évolution microstructurale des matériaux métalliques en conditions extrêmes 14
- Luis Eon** - Modélisation de la propagation d'une fissure courte en matériau ductile par couplage entre champ de phase et dynamique des dislocations 16

Modélisation des phénomènes macroscopiques complexes

- Jordan Berton** - Effets de la vitesse de sollicitation sur le comportement irréversible de matériaux composites à matrice organique 18
- Salim Chaibi** - Préviation des endommagements induits par un impact basse vitesse/basse énergie au sein de matériaux composites stratifiés carbone-époxy de dernière génération 20
- Adrien Vinel** - Caractérisation thermomécanique du comportement dynamique de métaux via mesures de champs ultra-rapides 22
- Olivier Voreux** - Modélisation de la propagation de fissure en fatigue à haute température dans les superalliages base Nickel par une approche locale de la rupture 24
- Maël Zaid** - Étude, modélisation et simulation de la fissuration en mode I + II de pièces de boîte de vitesse d'hélicoptères à gradient de propriété, en fatigue de roulement 26

Mécanique structurale, conception et optimisation des structures

- Florent Savine** - *Simultaneous optimization of unconventional stiffener layouts and composite layups applied to large cylindrical shell structures* 28

Robin Le Mestre

Thèse soutenue le 16 juin 2022 à Châtillon

ED 579 (SMéMaG) - Sciences mécaniques et énergétiques, matériaux et géosciences -
Université Paris-Saclay

Encadrement

Département Aérodynamique , aéroélasticité, acoustique, ONERA, Châtillon

Encadrants : Jean-Sébastien Schotté, ONERA/DAAA

Directeur de thèse : Olivier Doaré, ENSTA

Co-directeur de thèse : Jean-Sébastien Schotté, ONERA/DAAA

Jury

Alban Leroyer, Maître de conférence, Centrale Nantes

Roger Ohayon, Professeur émérite, CNAM Mécanique

Anne-Virginie Salsac, Directrice de recherche CNRS, UTC

Jean Lerbet, Professeur, Université d'Évry

Olivier Doaré, Professeur, ENSTA

Jean-Sébastien Schotté, Ingénieur de recherche, ONERA

Financement

ENS

Contact

jean-sebastien.schotte@onera.fr

Modélisation des effets de fluides externes et internes sur le comportement dynamique des dirigeables flexibles

Résumé

L'objectif de la thèse est d'étudier les couplages fluide-structure entre un dirigeable, le fluide interne qu'il contient et le fluide externe qui s'écoule autour de lui. Ce problème sera abordé à la fois de manière numérique et expérimentale. Pour l'approche numérique, on supposera dans un premier temps que le fluide a un comportement potentiel (fluide parfait incompressible) et on linéariser les efforts de pression exercés par chacun des fluides sur le dirigeable autour de l'état d'équilibre du système afin d'identifier des opérateurs de masse, raideur et amortissement associés qui viennent s'ajouter à ceux de la structure.

La mise en œuvre numérique se fera à l'aide d'un outil libre de résolution d'équations aux dérivées partielles par éléments finis (problème confiné, proche des conditions expérimentales), puis grâce à un code de résolution par éléments de frontière (domaine infini, proche des conditions de fonctionnement d'un dirigeable). Pour l'approche expérimentale, une première étude consistera à réaliser des expériences d'oscillations forcées de corps rigides avec fluide interne et/ou externe au repos. Le fluide considéré sera de l'eau et les objets seront de taille très inférieure aux objets réels. Des coefficients de masse ajoutée en seront déduits et comparés aux résultats numériques obtenus. Dans un second temps, on s'intéressera à la présence d'un écoulement environnant, pour obtenir des coefficients aérodynamiques. L'objectif sera d'obtenir les coefficients d'amortissement et masse ajoutés pour l'ensemble de paramètres sans dimension caractérisant le problème, les principaux modes décrivant la cinématique, et les couplages entre ces modes.

Mots clés

Masse ajoutée, vibration, aérodynamique, dirigeable

Nicolas Ombret

Thèse soutenue le 9 novembre 2022 à Lyon

ED 162 (MEGA) - Mécanique, énergétique, génie civil, acoustique - Lyon

Encadrement

Département Aérodynamique, aéroélasticité, acoustique, ONERA

Encadrants : Alain Dugeai, ONERA/DAAA, Châtillon

Directeur de thèse : Fabrice Thouverez - Centrale Lyon

Co-encadrant : Laurent Blanc, Centrale Lyon

Jury

Fabrice Thouverez, Professeur, Centrale Lyon

Regiane Fortes-Patella, Professeur des Universités, Grenoble INP

Virginie Chenaux, Ingénieur de recherche, DLR

Renaud Daon, Ingénieur, Safran Aircraft Engines

Jean-François Deü, Professeur des Universités, CNAM

Jean-Camille Chassaing, Professeur, Sorbonne Université

Alain Dugeai, Ingénieur de recherche, ONERA

Laurent Blanc, Professeur, Centrale de Lyon

Financement

Safran Aircraft Engines

Contact

alain.dugeai@onera.fr



Prédiction du flottement de soufflante avec prise en compte des non-linéarités en pied d'aube

Résumé

Le flottement est une instabilité de couplage aéroélastique entre un fluide et une structure élastique. Cette interaction libre conduit à une amplification exponentielle de l'amplitude de vibration des structures qui y sont sujettes, pouvant les mener à la rupture mécanique. Dans le cadre des soufflantes de turboréacteur et des architectures de nouvelle génération, prédire efficacement ce phénomène lors des phases de conception est un enjeu permanent pour assurer l'opérabilité de l'appareil en vol. Le but de cette thèse est d'améliorer les méthodes numériques de prédiction du flottement par rapport aux approches classiquement employées. Elle propose en particulier de prendre en compte les non-linéarités de frottement en pied d'aube dans l'analyse de stabilité aéroélastique. Ces non-linéarités sont en effet susceptibles de dissiper de l'énergie au-delà d'une certaine amplitude de vibration de la structure, pouvant donner naissance à de nouvelles solutions périodiques stables non prédites dans le cadre classique d'une structure linéaire.

Afin de prendre en compte les non-linéarités de frottement dans l'analyse de stabilité aéroélastique, une approche par mode complexe non-linéaire a été privilégiée. Initialement défini pour caractériser la dynamique des structures en frottement en absence de fluide, le concept de mode complexe non-linéaire a été étendu afin de tenir compte d'un terme externe d'interaction libre d'origine aérodynamique. Par la suite, deux méthodes de couplage ont été proposées selon une approche partitionnée afin de résoudre cette nouvelle définition des modes complexes non-linéaires dans un cadre aéroélastique.

Les méthodes de couplage proposées dans le cadre de ces travaux de thèse ont permis de déterminer la présence de solutions périodiques stables, aussi appelées cycles limites, à l'intérieur des zones de fonctionnement instables prédites par les méthodes classiques. L'amplitude de ces solutions périodiques est par ailleurs bien corrélée aux mesures expérimentales à disposition sur la configuration industrielle étudiée.

Enfin, les interactions entre la dynamique non-linéaire de la structure et la dynamique du fluide sont analysées pour différents niveaux de non-linéarités. Un impact important de la fréquence libre de vibration est noté sur la stabilité aéroélastique en cas de flottement d'origine acoustique (*flutter-bite*).

Mots clés

Flottement, interaction fluide-structure, *Flutter-Bite*, frottement sec, dynamique libre non-linéaire, cycle limite, mode complexe non-linéaire.

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022ECDL0011>

Étienne Carré

Thèse soutenue le 23 juin 2022 à Châtillon

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

Encadrement

Département Matériaux et structures, ONERA - Châtillon

Encadrants : Ingrid Stenger, UVSQ ; Frédéric Fossard, ONERA/DMAS

Directeur de thèse : Julien Barjon, UVSQ

Co-directrice de thèse : Annick Loiseau, ONERA/DMAS, LEM

Jury

Christophe Testelin, Directeur de recherche, CNRS, Sorbonne Université

Laëticia Marty, Chargée de recherche, CNRS, Université Grenoble

Bruno Masenelli, Professeur des universités, INSA Lyon

Aurélie Pierret, Ingénieure de recherche, CNRS, ENS Paris

Pierre Seneor, Professeur des universités, CNRS, Université Paris-Saclay

Annick Loiseau, Directrice de recherche, ONERA, Sorbonne Université

Julien Barjon, Professeur des universités, UVSQ

Ingrid Stenger, Maîtresse de conférences, UVSQ

Financement

ANR

Lauréat du prix des doctorants ONERA Matériaux et structures 2021

Contact frederic.fossard@onera.fr

Propriétés optiques du phosphore noir : du cristal massif aux couches atomiques

Résumé

Le phosphore noir est un semi-conducteur à petit gap ayant récemment rejoint la famille des matériaux bidimensionnels. L'objectif de cette thèse a été d'étudier les propriétés optiques du cristal de phosphore noir ainsi que de ses feuillets atomiques. Après une description des différents développements instrumentaux réalisés au cours de cette thèse, les méthodes de fabrication des échantillons sont abordées.

Deux points sont à maîtriser : l'élaboration de couches fines et leur protection des conditions ambiantes pour éviter leur oxydation. Dans une première partie, plusieurs méthodes dites *Top-Down* sont comparées sur la base de la qualité, la taille, l'épaisseur des échantillons obtenus ainsi que de la facilité d'exécution du mode opératoire. La seconde partie présente deux méthodes de protection des couches fines: la passivation à l'alumine et l'encapsulation dans des feuillets de hBN .

La forte anisotropie du phosphore noir fait que la détermination de l'orientation des axes cristallographiques est un point clé dans l'étude du matériau. Dans ce but, un mode opératoire a été proposé qui utilise la spectroscopie Raman polarisée. Celui-ci a été confronté puis validé par différents moyens expérimentaux et théoriques .Les propriétés vibrationnelles ont également été étudiées en fonction du nombre de couches atomiques. Plusieurs effets ont été remarqués à haute et basse fréquences et sont attribués à la réduction de dimensionnalité et à des phénomènes de résonance.

Grâce aux conditions expérimentales d'excitation utilisées, un grand nombre de modes relatifs aux vibrations inter-plans sont mis en évidence pour la première fois et se sont révélés être des indicateurs précis de l'épaisseur des cristallites. La photoluminescence du cristal massif a été étudiée pour la première fois à température ambiante et cryogénique. Plusieurs composantes d'émission en bord de bande de nature excitonique ont été identifiées dont une raie fine due à l'exciton libre. L'analyse de leur comportement en fonction de la température ainsi qu'un calcul de l'énergie de liaison de l'exciton libre prenant en compte l'anisotropie du milieu ont permis d'établir une nouvelle valeur de référence du gap du phosphore noir à 0.287 eV à 2 K.

L'étude en photoluminescence des cristaux exfoliés a révélé la disparition de la raie fine de luminescence au profit d'une bande large. Ce changement est attribué à la densité de défauts introduits par l'exfoliation mécanique ainsi qu'en atteste l'élargissement des bandes en spectroscopie Raman. Aucune différence significative n'est observée entre les échantillons passivés alumine et encapsulés dans du hBN ce qui indique que les effets de diélectriques ne sont pas prépondérants dans la gamme d'épaisseur étudiée.

Mots clés

Phosphore noir, matériaux 2D, photoluminescence infrarouge, spectroscopie Raman

Télécharger la thèse <https://www.theses.fr/2022SORUS256>

DOMAINE MATÉRIAUX ET STRUCTURES

Thématique Physique et comportement des matériaux : de l'atome à la microstructure

Benoît Dabas

Thèse soutenue le 10 juin 2022, Châtillon

ED 397 - Physique et chimie des matériaux - Sorbonne Université

Encadrement

Département Matériaux et structures, ONERA, Châtillon

Encadrants : Yann Le Bouar, Antoine Ruffini, ONERA/DMAS

Directeur de thèse : Alphonse Finel, ONERA/DMAS

Co-directeur de thèse : Thomas Jourdan, CEA

Jury

Helena Zapolsky, Professeur des universités, GPM, Rouen

Ludovic Thuinet, Maître de conférences, UMET, Lille

Christophe Denoual, Ingénieur de recherche, CEA/DAM

Silvère Akamatsu, Directeur de recherche, INSP

Laurent Dupuy, Ingénieur de recherche, CEA

Yann Le Bouar, Directeur de recherche, ONERA

Antoine Ruffini, Ingénieur de recherche, ONERA

Thomas Jourdan, Directeur de recherche, CEA

Alphonse Finel, Directeur de recherche, ONERA

Financement

ONERA, CEA

Contact

yann.lebouar@onera.fr



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

Résumé

La compréhension des mécanismes fondamentaux à l'origine de l'évolution des défauts cristallins tels que les lacunes, les dislocations ou encore les cavités, ainsi que de leurs interactions mutuelles, est essentielle pour prédire le comportement des matériaux métalliques en conditions extrêmes. Les couplages multiphysiques en jeu sont cependant difficiles à identifier, tant par des simulations qu'à l'aide de dispositifs expérimentaux. Nous proposons ainsi un modèle champ de phase pour décrire les interactions entre lacunes, cavités et dislocations.

Nous présentons dans un premier temps sa construction ainsi que son implémentation numérique, pensée de manière à minimiser les coûts de calculs. Nous détaillons en particulier notre approche originale de la résolution de l'équilibre chimique qui nous permet de simuler des phénomènes mésoscopiques sur les temps longs de la diffusion. Nous validons dans un second temps notre modèle dans le cadre de l'évolution de microstructures qui peuvent être approchées de manière analytique. Enfin, dans une troisième partie, nous étudions le comportement d'une microstructure 2D comportant plusieurs cavités et des dislocations. Nous montrons notamment que la prise en compte des interactions élastiques entre les cavités et les dislocations, généralement négligées dans ce type d'étude, modifie significativement la cinétique d'évolution de la microstructure.

Mots clés

Champ de phase, cavités, dislocations, diffusion, microstructure

DOMAINE MATÉRIAUX ET STRUCTURES

Thématique Physique et comportement des matériaux : de l'atome à la microstructure

Luis Eon

Thèse soutenue le 14 juin 2022 à Châtillon

ED 579 (SMéMaG) - Sciences mécaniques et énergétiques, matériaux et géosciences
- Université Paris-Saclay

Encadrement

Département Matériaux et structures, ONERA, Châtillon

Encadrant : Ricardo Gatti, ONERA/DMAS

Directeur de thèse : Benoît Appolaire, IJL, Nancy

Jury

Stéphane Berbenni, Directeur de recherche, CNRS, LEM3, Metz

Samuel Forrest, Directeur de recherche, CNRS, CdM, Evry

Rénald Brenner, Directeur de recherche, CNRS, D'Alembert, Paris

Véronique Doquet, Directrice de recherche, CNRS, LMS, Palaiseau

Lionel Gelebart, Ingénieur-chercheur (HDR), CEA/DEN, Gif-sur-Yvette

Yoann Guilhem, Maître de conférences, LMPS, Gif-sur-Yvette

Ricardo Gatti, Chargé de recherche, CNRS, LEM

Benoît Appolaire, Professeur des universités, IJL, Nancy

Financement

ONERA

Contact

ricardo.gatti@onera.fr

université
PARIS-SACLAY

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Modélisation de la propagation d'une fissure courte en matériau ductile par couplage entre champ de phase et dynamique des dislocations

Résumé

La propagation des fissures courtes dans les métaux CFC est fortement influencée par la microstructure environnante, en particulier celle engendrée par les défauts linéaires intrinsèquement présents dans le matériau, les dislocations.

Dans ce travail, nous proposons un nouveau couplage entre deux méthodes à l'échelle mésoscopique permettant d'étudier l'interaction d'une fissure mobile avec une microstructure de dislocations en trois dimensions. En premier lieu, la propagation d'une fissure est modélisée par un modèle de champ de phase. Dans cette approche, la fissure est décrite par un champ d'endommagement continu dont la propagation est pilotée par la minimisation de l'énergie libre du système, intégrant l'énergie élastique stockée dans le matériau et l'énergie de surface associée aux lèvres de la fissure. En second lieu, la microstructure de dislocations est décrite par un modèle de dynamique des dislocations

(DD). Ce type de modèle permet en effet de simuler la déformation plastique par le mouvement des dislocations sous chargement externe. Pour réaliser le couplage, nous avons utilisé l'approche dite MDC (Modèle Discret-Continu) où les dislocations sont représentées par des champs (eigenstrain ou tenseur de Nye) dans un solveur élastique. Pour des raisons d'efficacité, nous avons utilisé des solveurs à base de transformées de Fourier rapides (FFT). L'utilisation de schémas de discrétisation particuliers nous ont permis de minimiser l'étalement des cœurs de dislocation, adopté généralement dans les approches MDC. Nous avons étudié les différents schémas en identifiant leurs performances en terme de qualité des champs prédits.

Par ailleurs, nous avons porté une attention particulière à l'optimisation de l'implémentation en recourant à la parallélisation de nos algorithmes. Grâce à ce nouveau couplage, nous avons pu étudier l'écrantage élastique sur la propagation de fissure suivant la nature des systèmes de glissement et la densité de dislocations présentes, mais également des phénomènes et d'ingrédients rarement pris en compte comme le glissement dévié des dislocations proches du front de fissure ou encore le nombre de sources environnantes. Cette méthode mésoscopique constitue une avancée pour l'analyse fine des mécanismes physiques contrôlant les premiers stades de la rupture des matériaux métalliques.

Mots clés

Fissure, plasticité, modélisation multiphysique, dynamique des dislocations, champ de phase.

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022UPAST087>

DOMAINE MATÉRIAUX ET STRUCTURES

Thématique Modélisation des phénomènes macroscopiques complexes

Jordan Berton

Thèse soutenue le 29 novembre 2022 à Lille

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

Encadrement

Département Matériaux et structures, ONERA, Lille

Encadrant : Fabien Coussa, ONERA/DMAS

Directeur de thèse : Éric Deletombe, ONERA/DMAS

Co-directeur de thèse : Mathias Brieu, Centrale Lille

Co-encadrant : Julien Berthe, ONERA/DMAS

Jury

Christophe Bouvet, Professeur, ISAE-SUPAERO

Nadia Bahlouli, Professeur, Université de Strasbourg

Éric Deletombe, Directeur de recherche, ONERA

Fabien Coussa, Ingénieur-chercheur, ONERA

Patrick Rozycki, Professeur, Centrale Nantes

Cuong Ha-Minh, Maître de conférence, LMPS, ENS Paris-Saclay

Mathias Brieu, Professeur, Centrale Lille

Julien Berthe, Maître de recherche, ONERA

Financement

ONERA, Région Hauts-de-France

Contact

julien.berthe@onera.fr



Effets de la vitesse de sollicitation sur le comportement irréversible de matériaux composites à matrice organique

Résumé

De multiples travaux ont permis d'accroître la compréhension de l'influence de la vitesse de déformation sur le comportement réversible des matériaux composites à matrice organique. En ce qui concerne la dépendance à la vitesse des processus irréversibles, en particulier les mécanismes d'endommagement, les études sont plus rares et généralement moins abouties à cause des difficultés expérimentales dans la réalisation d'essais interrompus en dynamique. Dans ce contexte, ces travaux de thèse ont permis de développer un protocole expérimental permettant d'analyser et de mieux appréhender l'effet de la vitesse sur le comportement non-linéaire en traction d'un matériau composite à matrice époxy et renforcé de fibres de carbone unidirectionnelles. Ce protocole permet d'évaluer la cinétique d'endommagement sur une large plage de vitesses de sollicitation tout en garantissant la séparation du comportement réversible de celui irréversible. Il repose en premier lieu sur la définition d'une géométrie réduite d'éprouvette à $[\pm 45^\circ]_n$ à l'aide d'une méthodologie expérimentale développée dans ces travaux de thèse. Le protocole permet également de réaliser des observations physiques afin de lier l'analyse de l'évolution de la variable d'endommagement avec la présence ou non des mécanismes d'endommagements comme la fissuration ou le délaminage. L'apport majeur de ces travaux réside dans l'intérêt de séparer les comportements visqueux réversible et d'endommagement irréversible, notamment en dynamique, et d'en analyser l'influence avec l'augmentation de la vitesse de sollicitation.

Mots clés

Composites, endommagement, non-linéaire, protocole expérimental, dynamique

DOMAINE MATÉRIAUX ET STRUCTURES

Thématique Modélisation des phénomènes macroscopiques complexes

Salim Chaibi

Thèse soutenue le 16 septembre 2022 à Châtillon

ED 468 (MEGEP) - Mécanique, énergétique, génie civil, procédés - Toulouse

Encadrement

Département matériaux et structures, ONERA, Châtillon

Encadrant : Johann Rannou, ONERA/DMAS

Directeur de thèse : Christophe Bouvet, ISAE SUPAERO

Co-encadrant : Frédéric Laurin, ONERA/DMAS

Jury

Rodrigue Desmorat, Professeur des universités, ENS Paris-Saclay

Peter Davies, Ingénieur de recherche, IFREMER

Emmanuelle Abisset, Professeur des universités, Arts et Métiers ParisTech

Carlos Dávila, Senior scientist, NASA Langley Research Center

Zoheir Aboura, Professeur des universités, UTC

Jérémy Bleyer, Ingénieur de recherche, ENPC

Johann Rannou, Ingénieur de recherche, ONERA

Christophe Bouvet, Professeur des universités, ISAE SUPAERO

Financement

ONERA/DGAC

Contact

johann.rannou@onera.fr



Université
de Toulouse



Prévision des endommagements induits par un impact basse vitesse/basse énergie au sein de matériaux composites stratifiés carbone-epoxy de dernière génération

Résumé

En aéronautique, les composites stratifiés sont aujourd'hui largement utilisés pour la fabrication de structures primaires, telles que les ailes et les fuselages. Ces structures, très exposées, doivent être notamment tolérantes aux dommages d'impact. Chez les industriels, la certification de ces structures est aujourd'hui basée essentiellement sur des campagnes d'essais expérimentales longues et coûteuses.

Ce travail consiste en une étude expérimentale et numérique du comportement et de la résistance d'une nouvelle génération de matériaux composites carbone/époxy avec interfaces renforcées soumis à un impact faible vitesse/faible énergie. L'objectif principal de ces travaux porte sur le développement d'un modèle robuste capable de prévoir la réponse de composites stratifiés sous impact, en se basant sur des observations expérimentales précises.

Des essais expérimentaux sur des plaques stratifiées ont été réalisés avec des méthodes d'instrumentation avancées (telles que la thermographie infrarouge et la corrélation d'images numériques associées à des caméras ultrarapides) pour suivre l'évolution des endommagements en temps réel. De plus, des méthodes d'évaluation non destructives en 3D (tomographie à rayons X, balayage ultrasonique) ont été utilisées afin d'évaluer et de comprendre les mécanismes d'endommagement dans ce matériau spécifique. En parallèle, un modèle éléments finis 3D d'impact en dynamique implicite a été développé et prend en compte les contacts (impacteur/composite et montage/composite), la non-linéarité géométrique, la fissuration transverse à l'aide d'un modèle d'endommagement continu, le délaminage en utilisant des éléments cohésifs et la rupture des fibres en considérant une approche de type champ de phase.

Une attention particulière a été accordée aux couplages entre les différents mécanismes d'endommagement et de rupture, qui ont été observés expérimentalement.

Mots clés

Résistance aux chocs des composites stratifiés, modèle d'endommagement appliqués aux matériaux

DOMAINE MATÉRIAUX ET STRUCTURES

Thématique Modélisation des phénomènes macroscopiques complexes

Adrien Vinel

Thèse soutenue le 24 janvier 2022 à Nantes

ED 666 - ED 602 (SPI) - Sciences pour l'ingénieur - Centrale Nantes

Encadrement

Département Matériaux et structures, ONERA, Lille

Encadrant : Julien Berthe, ONERA/DMAS

Directeur de thèse : Julien Rethore, Centrale Nantes

Co-encadrant : Gérald Portemont, ONERA/DMAS

Jury

Patricia Verleysen, Professeure, University of Ghent

Fabrice Pierron, Professeur, University of Southampton

Dirk Mohr, Professeur, ETH Zurich

Bertrand Wattrisse, Professeur, Polytech Montpellier

Dominique Saletti, Maître de conférence, Université Grenoble Alpes

Julien Réthoré, Directeur de Recherche CNRS, GeM

Rian Seghir, Chargé de Recherche CNRS, GeM

Julien Berthe, Ingénieur de recherche ONERA

Gérald Portemont, Ingénieur de recherche ONERA

Financement

ONERA, Région Pays de la Loire

Contact

julien.berthe@onera.fr



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

Résumé

À ce jour, les moyens expérimentaux et d'analyses permettant de caractériser le comportement visco-thermo-mécanique de matériaux soumis à des chargements extrêmes et complexes sont limités. Dans ce contexte, cette thèse propose de développer une stratégie originale alliant essais hétérogènes, mesure de champs ultra-rapide et reconstruction non-paramétrique de champs de contrainte.

Les travaux de cette thèse reposent sur l'utilisation conjointe d'une caméra ultra-rapide (Cordin-580) et d'une caméra rapide infrarouge (TelopsM3K), qui présentent à ce jour les meilleures résolutions spatio-temporelles sur le marché, pour capturer les champs thermomécaniques au cours d'essais hétérogènes. Pour ce faire, des méthodes spécifiques sont développées afin d'évaluer avec une grande résolution spatiale les déformations (incertitude de $2 \text{ m}\epsilon$) et les températures (incertitude de $0,3^\circ\text{C}$) pour de grandes vitesses d'acquisition. Une campagne expérimentale permettant de couvrir de larges gammes de déformation, vitesse de déformation, température ainsi que tri-axialité en un seul essai, tout en s'assurant de leur mesurabilité est ensuite dimensionnée.

Au final, l'essai proposé est analysé avec une méthode originale de reconstruction des champs de contrainte qui permet de caractériser en un seul essai la réponse visco-plastique d'un acier sur une plage de vitesses allant de 10 s^{-1} à 500 s^{-1} avec des incertitudes de 10%, tout en offrant des régimes de chargements qui sondent en partie la réponse au cisaillement et à la compression.

L'évaluation conjointe de la température et des contraintes permet in fine l'évaluation locale de l'énergie qui permettra, à terme, d'établir en une poignée d'essais des modèles thermo-mécaniquement fondés.

Mots clés

Imagerie ultra-rapide, corrélation d'images numériques, thermographie lagrangienne ; grandes vitesses de déformation, méthodes *data-driven*.

DOMAINE MATÉRIAUX ET STRUCTURES

Thématique Modélisation des phénomènes macroscopiques complexes

Olivier Voreux

Thèse soutenue le 31 mai 2022 à Châtillon

ED 579 (SMéMaG) - Sciences mécaniques et énergétiques, matériaux et géosciences - Paris-Saclay

Encadrement

Département matériaux et structures, ONERA, Châtillon

Encadrants : Serge Kruch, Sylvia Feld-Payet, ONERA/DMAS

Directeur de thèse : Serge Kruch, ONERA/DMAS

Jury

Pierre-Olivier Bouchard, Professeur, CEMEF Mines ParisTech

Bruno Michel, Directeur de recherche, CEA Cadarache

Jacques Besson, Directeur de recherche, CNRS, Mines ParisTech

Véronique Lazarus, Professeure, ENSTA Paris

Arjen Roos, Ingénieur de recherche, Safran Tech

Sylvia Feld-Payet, Ingénieure de recherche, ONERA

Pascale Kanouté, Ingénieure de recherche, ONERA

Serge Kruch, Directeur de recherche, ONERA

Financement

ONERA, Safran

Prix du poster au colloque national annuel MécaMat

Contact serge.kruch@onera.fr

Modélisation de la propagation de fissure en fatigue à haute température dans les superalliages base Nickel par une approche locale de la rupture

Résumé

Cette thèse vise à évaluer les capacités d'une approche locale de la rupture à simuler la propagation d'une fissure longue de fatigue dans des composants structurels. Une démarche en trois étapes est envisagée. Tout d'abord, le comportement cyclique non linéaire du superalliage base Nickel AD730™ est étudié à l'aide d'essais de caractérisation cyclique à trois températures cibles (20, 550 et 700°C). Des essais de propagation de fissures sur éprouvettes sont ensuite réalisés afin de mettre en évidence les principaux mécanismes pilotant la fissuration.

Un modèle décrivant le comportement cyclique non-linéaire de l'AD730™ est proposé. Un couplage fort comportement-endommagement est ensuite établi conduisant à un modèle d'endommagement incrémental pour la fatigue. Ce modèle est implémenté dans un code éléments finis à l'aide d'un schéma de résolution purement implicite. Pour résoudre le problème de dépendance au maillage, une extension non-locale du modèle d'endommagement est proposée en utilisant une formulation à gradient implicite. Puis, une étape d'adaptation de maillage basée sur un estimateur d'erreurs est utilisée pour raffiner la discrétisation dans la zone d'élaboration de la fissure. Une fois l'amorçage atteint, un algorithme de suivi du chemin de fissure est utilisé pour définir la géométrie et la direction de l'incrément de fissure. Enfin, une transition endommagement-rupture incluant des étapes de remaillage, de transfert de champs et de rééquilibrage de la structure est effectuée. La cinétique associée à l'avancée de la fissure est alors retranscrite. La boucle numérique est évaluée lors de calculs sur une éprouvette SEN-T soumise à des chargements complexes de fatigue et fatigue-fluage. Les capacités de l'approche proposée et ses limites sont finalement discutées.

Mots clés

Fatigue, modèle incrémental en temps, comportement, endommagement, modèle non-local, transition endommagement-rupture, superalliage base Nickel

DOMAINE MATÉRIAUX ET STRUCTURES

Thématique Modélisation des phénomènes macroscopiques complexes

Maël Zaid

Thèse soutenue le 13 juillet 2022 à Châtillon

ED 579 (SMéMaG) - Sciences mécaniques et énergétiques, matériaux et géosciences - Paris-Saclay

Encadrement

Département Matériaux et structures, ONERA, Châtillon

Encadrant : Vincent Chiaruttini, ONERA/DMAS

Directrice de thèse : Véronique Doquet, CNRS, École Polytechnique

Co-encadrant : Vincent Bonnand, ONERA/DMAS

Jury

Habibou Maitournam, Professeur, ENSTA Paris,

Vincent Maurel, Directeur de recherche, HDR, Mines ParisTech

Daniel Nelias, Professeur, INSA Lyon

Sylvie Pommier, Professeure, ENS Paris-Saclay

Pierre Depouhon, Ingénieur de recherche, Airbus Helicopters

Vincent Chiaruttini, Maître de recherche, ONERA

Vincent Bonnand, Ingénieur de recherche, ONERA

Véronique Doquet, Directrice de recherche, CNRS, École polytechnique

Financement

Airbus

Contact

vincent.chiaruttini@onera.fr

université
PARIS-SACLAY

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

AIRBUS

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

Résumé

Les engrenages satellites de boîtes de transmission principale des hélicoptères, soumis à des cycles de fatigue de roulement à haute fréquence, sont constitués d'un acier dont la surface est durcie par cémentation, ce qui y induit en outre des contraintes résiduelles de compression, censées inhiber leur fissuration. Cependant, dans certaines conditions qui restent à éclaircir, un amorçage superficiel de fissures et une propagation, principalement en mode de cisaillement, peuvent survenir avec des conséquences catastrophiques.

Pour améliorer la fiabilité de ces pièces, une bonne maîtrise de l'impact des paramètres du design sur la résistance à ce type de fissuration est indispensable. Dans un premier volet expérimental, une étude approfondie des matériaux constituant le satellite a été menée afin d'établir un lien entre l'évolution des propriétés mécaniques et le gradient de teneur en carbone issu de la cémentation.

Un modèle de comportement élasto-plastique évolutif dépendant de la teneur en carbone a été identifié à partir d'essais de traction-compression et torsion alternée effectués sur deux aciers : 16NCD13 (non cémenté) et 58NCD13 (nuance cémentée). Des lois cinétiques de fissuration en mode I ont été obtenues. Des essais de fissuration ont ensuite été menés pour solliciter des fissures dans des conditions aussi représentatives que possible de celles qui règnent dans une boîte de vitesse d'hélicoptère (mode II alterné + compression bi-axiale).

La corrélation d'images numériques a été utilisée pour le suivi cinétique de la fissuration et pour déterminer, à partir des champs de déplacements mesurés en pointe de fissure, les facteurs d'intensité de contrainte effectifs, compte tenu du frottement des lèvres. Des lois cinétiques de fissuration en mode II corrigées des effets de friction ont été obtenues pour les deux nuances d'acier.

L'influence des multiples branches orthogonales à la fissure principale (effet d'écran, compétition cinétique mode I/mode II) ainsi que celle de la compression biaxiale ont été analysées. Ces résultats ont permis d'alimenter un modèle éléments finis 3D d'un satellite, dans lequel les contraintes résiduelles de cémentation ont été prises en compte et où une fissure représentative de celle observée dans la pièce réelle a été insérée. Enfin, une tentative d'explication des trajets de fissure a été effectuée, notamment via le critère de vitesse maximale.

Mots clés

Fatigue de roulement, fissuration, chargement non-proportionnel, simulation par éléments finis, essais cycliques bi-axiaux, corrélation d'images numériques

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022UPAST097>

DOMAINE MATÉRIAUX ET STRUCTURES
Thématique Mécanique structurale,
conception et optimisation des structures

Florent Savine

Thèse soutenue le 7 juin 2022 à Châtillon

ED 391 (SMAER) - Sciences mécaniques, acoustique, électronique & robotique -
Sorbonne Université

Encadrement

Département matériaux et structures, ONERA, Châtillon

Encadrant : Cédric Julien, ONERA/DMAS

Directeur de thèse : Angela Vincenti, Sorbonne Université

Jury

Marco Montemurro, Professeur, ENSAM

Joseph Morlier, Professeur, ISAE

Terence Macquart, Lecturer, University of Bristol

Julián A. Norato, Associate Professor, University of Connecticut

Corrado Maurini, Professeur, Sorbonne Université

Angela Vincenti, Maître de conférence HDR, Sorbonne Université

Cédric Julien, Ingénieur de recherche, ONERA

Yannick Guerin, Ingénieur, CNES

Financement

ONERA, CNES

Contact

florent.savine@onera.fr



Simultaneous optimization of unconventional stiffener layouts and composite layups applied to large cylindrical shell structures

Résumé

This thesis addresses the challenge of designing lightweight load-bearing space-launcher structures. The objective of the thesis is to develop a method capable of simultaneously optimizing innovative stiffener layouts and composite layups. For this purpose, the bi-level framework for the optimization of composite laminates is taken as basis. In the first-level structural optimization, the local anisotropic material properties of the variable-thickness and variable-stiffness skin of the structure, parametrized by the polar parameters, are simultaneously optimized with the stiffener layout, via a gradient-based algorithm.

The optimization of the stiffener layout relies on a component-based topology optimization method developed in this work, that allows to iteratively update a finite-element model of the stiffening structure made of structural elements (beams and shells), without re-meshing. By this process, the global structural stiffness is maximized considering constraints on mass, buckling and force fluxes. In the second level of the framework, laminates realizing the optimized first-level properties are retrieved either by solving an optimization-based identification problem, or analytically by assuming non-conventional stacking sequences (Quasi-Trivial and Double-Doubles).

The method is developed and validated on academic test cases, and finally applied to pre-sizing a launcher skirt provided by CNES. Innovative stiffened composite structure concepts are proposed, significantly lighter than the optimized reference metallic design of CNES.

Mots clés

Component-based topology optimization; bi-level composite optimization; variable-stiffness and variable-thickness design; layup retrieval; gradient-based method; finite elements

THÈSES DE DOCTORAT SOUTENUES EN 2022

DOMAINE MÉCANIQUE DES FLUIDES ET ÉNERGÉTIQUE

selon les thématiques scientifiques :

Acoustique : sources, propagation et impact

- Martin Buszyk** - Études aéroacoustiques de serrations de bord d'attaque pour la réduction du bruit d'interaction turbulence-cascade 32
- Loris Casadei** - *Time-domain broad band impedance model for computational aeroacoustics: application to shock-wave propagation in lined intakes*..... 34
- Victor Lafont** - Étude expérimentale et modélisation multiphysique d'un liner aéroacoustique soumis à des gradients thermiques..... 36
- Ilyes Moufid** - Étude théorique et modélisation numérique du comportement acoustique des milieux poreux rigides en régime temporel 38

Dynamique des écoulements pariétaux

- Félix Ducaffy** - Étude expérimentale de l'influence de la rugosité de surface sur la transition laminaire/turbulent d'une couche limite 2D incompressible 40
- Jaime Vaquero** - Simulations avancées et analyse physique de turbulence pariétale hors équilibre à grand nombre de Reynolds 42

Exploitation de données expérimentales et numériques

- Romain Paris** - *Potential and challenges of reinforcement learning for flow control* 44
- Diogo Ferreira Sabino** - Instabilités aéroélastiques d'un profil d'aile à des régimes d'écoulement transitionnels..... 46

Écoulements multiphasiques

- Matthias Averseng** - Contribution à la modélisation de l'atomisation assistée par l'analyse de simulations haute-fidélité 48
- Marie Loustau** - Analyse du comportement et de l'atomisation d'un film eau/huile en présence d'un cisaillement gazeux. Développement d'une approche simplifiée applicable à la modélisation d'un écoulement annulaire gaz/eau/huile au passage d'un débitmètre multiphasique. 50
- Lola Rousseau** - Étude expérimentale et modélisation du comportement d'un brouillard de carburant à haute température : influence des interactions inter-gouttes sur son évaporation 52

Dynamique des écoulements libres

Lauriane Lefèvre - Évaluation expérimentale des interactions aérodynamiques rotor/propulseur pour les hélicoptères grande vitesse	54
Miguel Torrente Pardo - Compréhension physique et simulation numérique avancée du phénomène hélicoptère Tail-Shake	56
Jolan Reynaud - Étude de méthodes de prévision des interactions de jet pour les arrière-corps de lanceurs spatiaux	58

Écoulements réactifs

Beatrice Fragge - Allumage d'une chambre de combustion par retournement temporel micro-onde	60
--	----

Matériaux énergétiques, émissions et dispersion atmosphérique

Antoine Berthier - Impact de la composition du carburant sur les émissions aéronautiques, une approche multi-échelles.....	62
---	----

Physique du givrage

Rémi Harry - Modélisation des transferts thermiques sur paroi givrée par méthode intégrale 3D	64
Valérian Palanque - Conception de systèmes de dégivrage électromécaniques résonants à faible consommation.....	66

Transferts thermiques et dégradation des matériaux

Arthur Colombié - Amélioration de la prévision du refroidissement par impact à l'aide d'un modèle de turbulence au second ordre	68
Nicolas Perron - Modélisation de la dégradation thermo-structurale des débris spatiaux durant la rentrée atmosphérique	70

DOMAINE MÉCANIQUE DES FLUIDES ET ÉNERGÉTIQUE

Thématique Acoustique : sources, propagation et impact

Martin Buszyk

Thèse soutenue le 9 décembre 2022 à Châtillon

ED 162 (MEGA) - Mécanique, énergétique, génie civil, acoustique - Lyon

Encadrement

Département Aérodynamique , aéroélasticité, acoustique, ONERA, Châtillon

Encadrants : Cyril Polacsek, ONERA/DAAA

Directeur de thèse : Christophe Bailly, École Centrale, Lyon

Co-encadrant : Raphaël Barrier, ONERA

Jury

Christophe Bailly, Professeur, École Centrale, Lyon

Hélène de Laborderie, Ingénieur, Safran

Gwénaél Gabard, Professeur des universités, LAUM, Université du Maine

Thomas Le Garrec, Ingénieur de recherche, ONERA

Cyril Polacsek, Ingénieur de recherche, ONERA

Marlène Sanjosé , Professeur des universités, Université du Québec

Yves Gervais, Professeur des universités, Université de Poitiers

Xavier Gloerfelt, Professeur des universités, ENSAM

Raphaël Barrier, Ingénieur de recherche, ONERA

Financement

Union européenne

Contact

cyril.polacsek@onera.fr



Études aéroacoustiques de serrations de bord d'attaque pour la réduction du bruit d'interaction turbulence-cascade

Résumé

Dans le domaine de l'aéroacoustique consacré aux avions de transport, le moteur est une source de bruit majeure. Avec l'augmentation du diamètre des moteurs, la contribution de la soufflante au bruit rayonné est devenue dominante. L'interaction des sillages du rotor avec les aubes du stator est le mécanisme principal du bruit tonal et à large bande des soufflantes. La conception de futurs moteurs d'avion silencieux pose deux défis majeurs : une meilleure évaluation des sources à large bande et la conception de traitements efficaces pour la réduction du bruit.

Cette thèse vise à mettre en œuvre des méthodologies dédiées à la prédiction du bruit d'interaction, en particulier pour l'évaluation de dispositifs de réduction de bruit reposant sur des ondulations du bord d'attaque des aubes du stator. Ces approches ont principalement été appliquées sur une géométrie de référence et deux concepts de réduction de bruit proposés par l'ONERA en vue d'une campagne expérimentale sur une cascade d'aubes rectiligne. Trois approches sont considérées.

Premièrement, une solution analytique pour des plaques planes avec des ondulations de bord d'attaque (basse fidélité) qui est étendue à des configurations variables en envergure. Deuxièmement, une approche CFD/CAA (fidélité intermédiaire) pour laquelle une turbulence synthétique 3D par modes de Fourier est développée. Troisièmement, des calculs LBM à deux milliards de points (haute fidélité) simulant l'ensemble du banc d'essai.

La comparaison de toutes ces méthodes sur une même configuration a permis de mieux comprendre comment le niveau de fidélité des approches de prédiction influence le comportement aéroacoustique. En outre, la géométrie avec bord d'attaque ondulé proposée par l'ONERA a démontré une réduction du bruit jusqu'à plusieurs décibels en configuration installée tout en limitant les pénalités aérodynamiques. Enfin, les approches de prédiction du bruit d'interaction et la méthodologie de conception des aubes avec traitement de bord d'attaque sont étendues à des configurations plus réalistes de soufflante .

Mots clés

Aéroacoustique, bruit d'interaction, ondulations de bord d'attaque, aéroacoustique numérique, turbulence synthétique, LBM

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022ECDL0023>

Loris Casadei

Thèse soutenue le 23 mars 2023 à Toulouse

ED 468 (MEGEP) - Mécanique, énergétique, génie civil, procédés - Toulouse

Encadrement

Département Multiphysique pour l'énergétique, ONERA, Toulouse

Encadrants : Hugues Deniau, ONERA/DMPE

Directrice de thèse : Estelle Piot, ONERA/DMPE

Jury

Gwénaél Gabard, Professeure, Université du Maine

Sofiane Khelladi, Professeur des universités, Arts et Métiers ParisTech

Éric Lamballais, Professeur des universités, Institut PPRIME

Damiano Casalino, Professeur, Delft University of Technology

Didier Dragna, Maître de conférences, École centrale de Lyon

Estelle Piot, Directrice de recherche, ONERA

Hugues Deniau, Ingénieur-chercheur, ONERA

Thomas Nodé-Langlois, Expert, Airbus

Cyril Polacsek, Ingénieur-chercheur, ONERA (invité)

Yves Detandt, Directeur technique, Hexagon Manufacturing Intelligence (invité)

Financement

Airbus

Contact

hugues.deniau@onera.fr



Université
de Toulouse



AIRBUS

Time-domain broad band impedance model for computational aeroacoustics: application to shock-wave propagation in lined intakes

Résumé

Rotor shock noise is one of the main noise sources of today's aircraft engines in take-off and climb flight conditions. The control and reduction of this noise source is of paramount importance for aircraft manufacturers for complying international regulations and improve passengers comfort. High fidelity simulation tools are required for its study, with inclusion of all 3D geometric and flow effects as well as the modelling of the acoustic treatments incorporated in the walls of the engine intake. Euler and Navier-Stokes solvers offer solutions to compute the nonlinear propagation of the high amplitude pressure fluctuations of the rotor shocks in the intake. However, modelling acoustic liners in these solvers remains a challenge of current state-of-the-art numerical acoustics, due to their natural belonging to the frequency domain. The present work focuses on the validation and extension of the Time-Domain Impedance Boundary Condition (TDIBC) based on the Oscillo-Diffusive Representation (ODR) and its implementation in an industrial CFD solver. The ODR already proved to be a powerful mathematical tool to translate the impedance (or scattering) operator in the time-domain. A numerical development in a Navier-Stokes Characteristic Boundary Condition (NSCBC) formalism allowed the implementation of this time-domain model in the finite-volume Navier-Stokes solver elsA. Validations of this methodology are carried out against acoustic benchmarks from the literature and industrial experimental measurements. They all demonstrated that the novel TDIBC is correctly implemented in the CFD solver and proved its efficiency in terms of computational time and numerical stability. Finally, an application to the propagation and attenuation of rotor shock waves in an aircraft engine intake is proposed.

Mots clés

Time-domain impedance boundary condition, Oscillo-Diffusive Representation, Aircraft noise, Acoustic liner, Duct acoustics, Nonlinear propagation, Acoustic boundary condition, Buzz-Saw Noise, Computational Fluid Dynamics (CFD), Navier-Stokes Characteristic Boundary Condition (NSCBC).

Victor Lafont

Thèse soutenue le 8 avril 2022 à Toulouse

ED 468 (MEGEP) - Mécanique, énergétique, génie civil, procédés - Toulouse

Encadrement

Département Multiphysique pour l'énergétique, ONERA, Toulouse

Encadrant : Frank Simon, ONERA/DMPE

Directeur de thèse : Frank Simon, ONERA/DMPE

Co-directeur de thèse: Fabien Méry, ONERA/DMPE

Jury

Frank Simon, Directeur de recherche, ONERA

Fabien Méry, Ingénieur-chercheur, ONERA

Matthieu Fenot, Maître de conférences, Institut PPRIME

Emmanuel Perrey-Debain, Professeur des universités, UTC

Charles Cariou, Ingénieur, Airbus

Raymond Panneton, Professeur, Université de Sherbrooke

Financement

ONERA, région Occitanie

Contact

frank.simon@onera.fr



Université
de Toulouse



Étude expérimentale et modélisation multiphysique d'un liner aéroacoustique soumis à des gradients thermiques

Résumé

La réduction des nuisances sonores est un enjeu permanent pour les acteurs du transport aérien, notamment autour des aéroports. En particulier, le bruit de soufflante (fan noise) tient une place importante dans le bruit global de l'avion. Aussi, relativement à la réduction du bruit d'aéronef, sont développés des matériaux dits liners positionnés le long de la nacelle moteur. De par leur position à l'intérieur des nacelles de réacteurs, ces traitements acoustiques sont soumis à de forts niveaux sonores, à un écoulement rasant important, et à des gradients thermiques intenses.

Cette étude a consisté à mettre en place une métrologie multi-physiques permettant de constituer une base de données expérimentales, afin d'améliorer la compréhension des phénomènes physiques en jeu et d'alimenter les modèles de conception de liners pour répondre aux nouveaux enjeux posés par l'implantation des liners dans les nacelles. Compte tenu de la complexité des phénomènes physiques mis en jeu, un effort important a été conduit pour disposer d'outils expérimentaux performants pour caractériser finement le couplage entre l'acoustique, la thermique et la turbulence.

On associe donc des mesures microphoniques classiques permettant de déterminer le comportement acoustique des liners et des mesures par thermographie infrarouge pour caractériser leur réponse aérothermique. Une veine d'essai spécifique permettant d'intégrer ces différentes techniques de mesure a été réalisée, et une nouvelle méthode de détermination d'impédance acoustique a été développée afin de prendre en compte les effets aéroacoustiques. Une modélisation des phénomènes de transfert et de convection thermiques a ensuite permis de lier la réponse aérothermique au comportement acoustique des échantillons de liners sélectionnés pour l'étude.

Mots clés

Liners, matériaux, acoustique, transfert, thermique, multiphysique

Ilyes Moufid

Thèse soutenue le 6 décembre 2022 à Toulouse

ED 467 (AA) - Aéronautique Astronautique - Toulouse

Encadrement

Département Multiphysique pour l'énergétique, ONERA, Toulouse

Encadrant : Rémi Roncen, ONERA/DMPE

Directrice de thèse : Estelle Piot, ONERA/DMPE

Jury

Marie-Annick Galland, Professeure, École Centrale de Lyon

Bruno Lombard, Directeur de recherche CNRS, Marseille

Julien Diaz, Directeur de recherche, INRIA Bordeaux

Gwénaél Gabard, Professeur, Le Mans Université

Estelle Piot, Directrice de recherche, ONERA

Denis Matignon, Professeur, ISAE-SUPAERO

Rémi Roncen, Ingénieur de recherche, ONERA

Financement

Fédération de recherche ENAC ISAE-SUPAERO ONERA

Contact

remi.roncen@onera.fr



Université
de Toulouse



Étude théorique et modélisation numérique du comportement acoustique des milieux poreux rigides en régime temporel

Résumé

L'une des problématiques du domaine aéronautique réside dans la réduction de bruit provenant des nacelles d'avions. Pour pallier ces nuisances sonores, des liners acoustiques sont utilisés et placés dans les parois d'entrée des nacelles. Le comportement acoustique des liners est analytiquement connu à bas niveau sonore et actuellement étudié numériquement et expérimentalement à haut niveau sonore, régime auquel ils sont soumis en conditions réelles de vol. Ces matériaux permettent une réduction de bruit significative sur une bande de fréquences relativement restreintes par rapport à celle balayé par le bruit d'un avion durant son vol. Par conséquent, différentes recherches sont menées, d'une part pour préciser la connaissance de leur comportement à haut niveau sonore, et d'autre part pour obtenir des matériaux permettant une réduction du niveau sonore sur un plus large domaine fréquentiel.

Cette thèse se penche sur ce second aspect en se focalisant sur les milieux poreux, connus pour avoir des propriétés acoustiques favorisant la réduction de bruit environnant sur des gammes de fréquences plus large que celle des liners acoustiques. Cette étude se veut numérique, avec pour principal objectif de savoir déterminer les propriétés acoustiques des milieux poreux soumis à un fort niveau sonore.

Mots clé

Matériaux poreux, propagation du son, modèle de fluide équivalent, dérivée fractionnaire, représentation oscillo-diffusive, approximation multi-pôle, analyse théorique de stabilité, correction de Forchheimer.

Félix Ducaffy

Thèse soutenue le 08 Juillet 2022 à Toulouse

ED 468 (MEGEP) - Mécanique, énergétique, génie civil, procédés - Toulouse

Encadrement

Département Multiphysique pour l'énergétique, ONERA, Toulouse

Encadrant : Maxime Forte, ONERA/DMPE

Directeur de thèse : Estelle Piot, ONERA/DMPE

Jury

Estelle Piot, Directrice de recherche, ONERA

Maxime Forte, Ingénieur de recherche, ONERA

Annie Leroy, Maître de conférences, École de l'air et de l'espace

Sandrine Aubrun, Professeure - Centrale Nantes

Jean-Christophe Robinet, Maître de conférence, ENSAM

Grégoire Casalis, Professeur, ISAE-Supaero

Financement

ONERA

Contact

maxime.forte@onera.fr



Université
de Toulouse



Étude expérimentale de l'influence de la rugosité de surface sur la transition laminaire/turbulent d'une couche limite 2D incompressible

Résumé

L'influence de la rugosité de surface sur la transition laminaire/turbulente d'une couche limite 2D incompressible est examinée de manière expérimentale en soufflerie. En particulier, l'effet de la rugosité sur la réceptivité, et surtout l'amplification des ondes de Tollmien-Schlichting est analysée. Une expérience dont la rugosité de surface peut être partiellement changée est conçue en usinant une plaque plane pour que trois inserts rectangulaires amovibles y soient placés. Ces inserts sont soit lisses soit rugueux, fabriqués par une imprimante 3D à stéréo-lithographie. La plupart des résultats sont obtenus par l'anémométrie à fil chaud. Si les premiers résultats ont permis de mettre en lumière un potentiel effet de la rugosité de surface sur la réceptivité des ondes de Tollmien-Schlichting, l'essentiel de ce manuscrit est consacré à l'étude de la suramplification de ces instabilités en présence de rugosité de surface. L'accent est dans un premier temps mis sur l'étude des phénomènes par lesquels la rugosité de surface suramplifie les ondes T-S. Aucune déformation du profil moyen n'est constatée mis à part une légère inflexion à proximité immédiate de la rugosité, mais les études effectuées montrent la limite de l'anémométrie à fil chaud pour les études dans les régions aussi proches de la paroi. La possibilité que la rugosité de surface génère des stries est étudiée et confirmée, mais dans certains cas seulement. Cette génération de stries semble en effet n'avoir lieu que lorsque la rugosité de surface possède les longueurs d'ondes adaptées, au sens de la théorie des perturbations optimales, pour déclencher ce type d'instabilités. L'avancée de la position de transition est ensuite étudiée de manière quantitative en fonction des paramètres de hauteur moyenne, de position et de longueur de la zone rugueuse. Des positions de transition obtenues dans les cas avec rugosité sont déduites des ΔN , représentant un surcroît d'amplification des ondes T-S. Pour une longueur de rugosité donnée, la hauteur moyenne adimensionnée par l'épaisseur de déplacement (R_a/δ_1) semble être un paramètre majeur et l'évolution ΔN induit par la rugosité en fonction de ce paramètre est proche d'une loi linéaire. Aucune influence de la position le long de la plaque plane n'est observée tant que la réceptivité n'est pas modifiée. La longueur de la zone rugueuse se révèle également être un paramètre fondamental, et donner lieu là encore à une évolution proche d'une loi linéaire de ΔN . Basées sur ces résultats expérimentaux, deux modélisations, dites par ΔN et ΔN réparti inspirées des modèles en ΔN utilisés dans le cadre des rugosités 2D localisées ont été mises au point pour calculer le ΔN induit par une surface rugueuse. La première est une approche globale quand la seconde propose une formulation locale.

Mots clés

Couche limite, transition, rugosité de surface, ondes de Tollmien-Schlichting

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022ESAE0038>

Jaime Vaquero

Thèse soutenue le 14 juin 2022 à Meudon

ED 391 (SMAER) - Sciences mécaniques, acoustique, électronique & robotique -
Sorbonne Université

Encadrement

Département Aérodynamique , aéroélasticité, acoustique, ONERA, Meudon

Encadrants : Nicolas Renard, ONERA/DAAA

Directeur de thèse : Sebastien Deck, ONERA/DAAA

Jury

Jean-Marc Foucaut, Professeur des universités, École Centrale de Lille, LMFL

Éric Lamballais, Professeur des universités, Institut P', Université de Poitiers

Jean-Camille Chassaing, Professeur des universités, Sorbonne Université

Franck Hervy, Docteur ingénieur, DGA

Sébastien Deck, Directeur de recherche, ONERA

Nicolas Renard, Docteur ingénieur, ONERA

Financement

ONERA/DGA

Contact

nicolas.renard@onera.fr



Simulations avancées et analyse physique de turbulence pariétale hors équilibre à grand nombre de Reynolds

Résumé

La communauté scientifique a consacré des efforts importants depuis plusieurs décennies visant à une meilleure compréhension de la turbulence pariétale, principalement sur des configurations d'écoulements cano- niques. Toutefois, la simulation numérique de ces derniers est souvent menée à un nombre de Reynolds limité par le coût de calcul des approches DNS et WRLES, et significativement inférieur aux valeurs typiquement re- trouvées dans les applications industrielles. Cette thèse étudie numériquement des écoulements de couche limite hors équilibre sur des configurations non canoniques à des nombres de Reynolds plus élevés que ceux atteignables à coût abordable par les approches DNS et WRLES, en utilisant une approche WMLES, la ZDES mode 3.

En particulier, des conditions hors équilibre sont obtenues dans un premier cas test par des effets de gradient de pression et de courbure, et dans un deuxième cas test par un décollement mince et recollement de la couche limite. De plus, une étude préalable des effets de sensibilité aux conditions amont des couches limites en gradients de pression est réalisée. La présence de turbulence résolue dans les simulations ZDES mode 3 permet une meilleure prise en compte des effets hors équilibre qui se traduit par une meilleure prévision du champ moyen comparé aux prévisions en approche RANS, donnant une reproduction des données expérimentales particulièrement remarquable en aval du recollement pour le deuxième cas test. Par ailleurs, des analyses approfondies de la turbulence résolue par la ZDES mode 3 ont permis une meilleure caractérisation de la dyna- mique de la turbulence pariétale et de son écart à l'équilibre dans les cas étudiés.

Mots clés

Turbulence pariétale, hors équilibre, grand nombre de Reynolds, analyse spectrale, simulation numérique, ZDES.

Romain Paris

Thèse soutenue le 2 décembre 2022 à Meudon

ED 626 (IPP) - École doctorale de l'Institut Polytechnique de Paris - Palaiseau

Encadrement

Département Aérodynamique , aéroélasticité, acoustique, ONERA, Meudon

Encadrants : Samir Beneddine, ONERA/DAAA

Directeur de thèse : Julien Dandois, ONERA/DAAA

Jury

Laurent Cordier, Directeur de recherche, CNRS - Institut Pprime

Nicolas Thome, Professeur, CNAM

Lionel Mathelin, Chargé de Recherches, CNRS - LISN

Georgios Rigas, Senior Lecturer, Imperial College London

Franck Hervy, Docteur ingénieur, Direction Générale de l'Armement, AID

Julien Dandois, Directeur de recherche, ONERA

Samir Beneddine, Ingénieur de recherche, ONERA

Financement

ONERA, DGA

Contact

samir.beneddine@onera.fr



Potential and challenges of reinforcement learning for flow control

Résumé

This thesis evaluates the potential of novel reinforcement learning methods applied to flow control. While, for fluid mechanics, state-of-the-art control generally relies on strong linear assumptions that often limit the reach of control laws, reinforcement learning associated with deep learning methods propose to break free from these constraints in order to derive effective, energy efficient and robust control policies. Still, numerous challenges, coming from the specificity of flow control, are yet to be overcome in order to enable the development of such methods in experimental and industrial contexts. Contrary to the traditional test-bench environments on which state-of-the-art reinforcement learning methods are evaluated, flow control involves a large dimensionality, a generally non-linear behavior and a partial observability, whether it is in a numerical or experimental context. This study thus aims at identifying these issues and the consequences they yield on training control policies for flow control and to propose novel algorithms built on-top of training methods that help circumvent these problems. Most of these come down to sample cost, i.e. the computational cost of acquiring training data, which is a major decision factor concerning the feasibility and the success of these control methods.

Efforts concerning the reduction of both sensor and actuation layouts as well as the improvement of the state exploration efficiency give rise to proposed modifications of existing training algorithms or entirely novel methods aiming at accelerating training.

Mots clés

Flow Control, Reinforcement Learning, Computational Fluid Dynamics

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/s252604>

Diogo Ferreira Sabino

Thèse soutenue le 7 juin 2022 à Meudon

ED 468 (MEGEP) - Mécanique, énergétique, génie civil, procédés - Toulouse

Encadrement

Département Aérodynamique, aéroélasticité, acoustique, ONERA, Meudon

Encadrant : Olivier Marquet, ONERA/DAAA

Directeur de thèse : David Fabre, INPT, Toulouse

Jury

David Fabre, Maître de conférences, IMFT

Ardeshir Hanifi, Maître de conférences, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm

Jean-Christophe Robinet, Professeur, Arts et Métiers Paris Tech

Rémi Bourguet, Chercheur CNRS, IMFT

Stefania Cherubini, Professeure, Politecnico di Bari

Guilhem Michon, Professeur, ISAE-SUPAERO, Toulouse

Olivier Marquet, Maître de recherche, ONERA

Vincent Mons, Ingénieur-chercheur, ONERA

Financement

ONERA

Contact

olivier.marquet@onera.fr



Université
de Toulouse



Instabilités aéroélastiques d'un profil d'aile à des régimes d'écoulement transitionnels

Résumé

Cette thèse porte sur l'étude de l'instabilité aéroélastique provenant de l'interaction fluide–structure, dans le cas d'une aile rigide montée sur un ressort en torsion. L'étude est centrée sur le phénomène de flottement dû à un décollement laminaire, et plus précisément sur les oscillations auto-entretenues détectées expérimentalement pour un profil NACA0012 à faible incidence, dans la gamme de nombre de Reynolds dits transitionnels, caractérisé par un décollement de la couche limite initialement laminaire, suivi d'une transition et d'un rattachement. L'objectif principal de la thèse est d'expliquer ce phénomène en se basant sur des concepts d'instabilité. Pour ce faire, différentes approches numériques ont été conduites. Ces approches ont en suite servi de base à des analyses de stabilité linéaire (LSA) autour d'un champ moyen ou d'un champ périodique. Le deuxième objectif vise à explorer les différents scénarios non linéaires qui apparaissent dans cette gamme de Reynolds.

La première partie de la thèse est consacrée à la caractérisation de l'écoulement autour de l'aile pour des angles d'incidence fixes. La deuxième partie de la thèse concerne la caractérisation de l'instabilité primaire fluide–structure en utilisant une analyse LSA autour des champs moyen et périodique. Dans une troisième partie, l'émergence de l'oscillation de flottement est étudiée via des simulations aéroélastiques bidimensionnelles. La dernière partie de la thèse essaie d'expliquer la déstabilisation des positions d'équilibre non nulles conduisant à un comportement quasi-périodique à l'aide d'analyses LSA autour des champs moyens et périodiques à incidence fixe. Même si ces analyses sont incapables de prédire un mode propre instable, nous concluons que l'inclusion du terme des contraintes de Reynolds dans la dynamique de perturbation de l'écoulement moyen a un effet important.

Mots clés

Instabilité aéroélastique, nombre de Reynolds transitionnel, flottement dû à un décollement laminaire, stabilité linéaire, analyse de Floquet.

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022TOU30146>

Matthias Averseng

Thèse soutenue le 19 septembre 2022 à Toulouse

ED 468 (MEGEP) - Mécanique, énergétique, génie civil, procédés - Toulouse

Encadrement

Département Multiphysique pour l'énergétique, ONERA, Toulouse

Encadrant : David Zuzio, ONERA/DMPE

Directeur de thèse: Jean-Luc Estivalezes, ONERA/DMPE

Co-encadrant : Olivier Rouzaud, ONERA/DMPE

Jury

Jean-Luc Estivalezes, Directeur de recherche, ONERA

David Le Touzé, Professeur, École Centrale de Nantes

Pierre Trontin, Professeur, Université Claude Bernard Lyon 1

Stéphane Vincent, Professeur, Université Gustave Eiffel

Lisl Weynans, Maîtresse de conférences, Université de Bordeaux

Davide Zuzio, Ingénieur de recherche, ONERA

Financement

ONERA

Contact

david.zuzio@onera.fr



Université
de Toulouse



Contribution à la modélisation de l'atomisation assistée par l'analyse de simulations haute-fidélité

Résumé

L'optimisation du processus de combustion nécessite une fine connaissance du processus d'atomisation qui se déroule dans les chambres de combustions. Ce dernier résulte du cisaillement du carburant (injecté sous forme de jet ou de nappe) par un fort écoulement d'air environnant. La simulation aux grandes échelles (LES) est devenue un outil privilégiée pour la simulation instationnaire des foyers. Cependant, cette méthode n'est pas adaptée à la capture des petites échelles diphasiques apparaissant lors de l'atomisation assistée. Des modèles sous-maille fournissant ces informations deviennent donc nécessaires. Ces modèles étant à ce jour peu traités en littérature, ce travail de thèse se propose de contribuer au développement de modèles LES pour l'atomisation assistée, plus en particulier à la famille de méthodes dites "à densité d'interface".

Pour ce faire, une approche DNS a été choisie pour simuler, comprendre et quantifier l'atomisation assistée sur des configurations simplifiées mais pertinentes. Deux configurations ont été investiguées pour leurs avantages complémentaires. La première, dite nappe "périodique", repose sur de fortes hypothèses mais reproduit les principaux mécanismes de l'atomisation, en étant bien moins coûteuse en maillages et temps CPU. Cette configuration est idéale pour des études paramétriques. La seconde, dite nappe "réaliste" (spatiale), est plus coûteuse mais reproduit fidèlement le banc expérimental SHAPE de l'ONERA. Cette dernière permet de simuler la sortie complète du liquide de l'injecteur jusqu'à son atomisation, permettant une comparaison avec la base de données expérimentale de l'ONERA. En parallèle, un algorithme de détection fut construit pour identifier et recueillir les propriétés topologiques de chacune des structures liquide générées dans ces simulations. Cela, permet de classer ces structures en catégories (gouttes, ligaments, autres, etc) et d'estimer plus précisément les paramètres fondamentaux d'un modèle d'atomisation sous maille de densité d'interface. Des propositions de grandeurs propres à la modélisation, telles que le temps et le nombre de Weber caractéristiques, ont été construites à partir des résultats des nappes périodiques et validées sur les nappes spatiales, cas plus réaliste et applicatif, confirmant la pertinence de la démarche choisie.

Mots clés

Atomisation assistée, simulation numérique directe d'écoulement diphasique, algorithme de détection liquide, modélisation, densité d'interface.

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022ESAE0044>

Marie Loustau

Thèse soutenue le 18 mai 2022 à Toulouse

ED 468 (MEGEP) - Mécanique, énergétique, génie civil, procédés - Toulouse

Encadrement

Département Multiphysique pour l'énergétique, ONERA, Toulouse

Encadrants : Virginel Bodoc, ONERA/DMPE

Directeur de thèse : Pierre Gajan, ONERA/DMPE

Jury

Frédéric Grisch, Professeur, CORIA

Henda Djeridi, Professeur des universités, INP Grenoble

Virginel Bodoc, Ingénieur-chercheur, ONERA

Jean-Paul Couput, Directeur JpcFlowConsult

Fabrice Onofri, Chercheur, Université Aix Marseille

Pierre Gajan, ONERA

Financement

TotalEnergies

Contact

virginel.bodoc@onera.fr



Université
de Toulouse



Analyse du comportement et de l'atomisation d'un film eau/huile en présence d'un cisaillement gazeux. Développement d'une approche simplifiée applicable à la modélisation d'un écoulement annulaire gaz/eau/huile au passage d'un débitmètre multiphasique.

Résumé

Dans l'industrie pétrolière, l'un des enjeux consiste à réduire l'incertitude de mesure sur les débits de chacune des phases extraites des réservoirs naturels souterrains. Lors de l'exploitation de gaz naturel, les conditions de pressions et de température au sein du réservoir sont très élevées comparées à celles rencontrées en surface où sont réalisées les mesures de débits. Cette diminution de pression et température engendre un phénomène de condensation d'eau et d'huile. Le régime d'écoulement ainsi obtenu est généralement de type annulaire dispersé. Sur les sites de production de gaz naturel, le comptage est généralement réalisé à l'aide de débitmètres Venturi. La présence de liquide engendre une augmentation de la pression différentielle au sein de ce dernier, menant ainsi à un phénomène de surcomptage, c'est-à-dire une surestimation des débits des différentes phases. Ce surcomptage doit être impérativement réduit afin d'assurer la meilleure gestion de production du puit. La réduction du surcomptage a fait l'objet de nombreux sujets de recherches. Des corrélations empiriques ont été établies et elles permettent d'apporter des corrections sur les débits, mais ces corrélations ne sont valables que pour certaines conditions de tests.

L'approche suivie par l'ONERA et TOTAL depuis plusieurs années vise à étudier les phénomènes physiques se produisant au sein du débitmètre Venturi et à les modéliser à l'aide du code WegMove afin d'améliorer la mesure des différents fluides s'écoulant dans la conduite. Ce modèle prend en compte les échanges de matière et de quantité de mouvement entre le gaz, le film pariétal et le brouillard de gouttes. Le mélange eau/huile est modélisé sous la forme d'un fluide équivalent dont les propriétés physiques sont calculées à partir des fluides en présence et des conditions d'écoulement. C'est dans ce contexte que cette étude a été réalisée. L'objectif est d'améliorer les corrélations utilisées dans le code Wegmove en se focalisant sur le phénomène d'atomisation du film pariétal observé en sortie de convergent. Pour ce faire, une caractérisation expérimentale de l'atomisation du mélange eau/huile a été réalisée. Les caractéristiques physico-chimiques des fluides et des mélanges eau/huile utilisés ont été étudiées, des visualisations rapides de l'écoulement ont été menées afin de comprendre les mécanismes de formation des gouttes, et enfin la technique PDA (Phase Doppler Anemometry) a été développée et implémentée sur le banc de test afin de caractériser le brouillard de gouttes eau/huile issu de l'atomisation. Les résultats obtenus permettront ensuite d'améliorer les modèles existants sous WegMove afin d'améliorer les performances du code et réduire le surcomptage.

Mots clés

Wet-Gas, venturi, écoulements multiphasiques, atomisation, *Phase Doppler*

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022ESAE0027>

Lola Rousseau

Thèse soutenue le 12 décembre 2022 à Toulouse

ED 468 (MEGEP) - Mécanique, énergétique, génie civil, procédés - Toulouse

Encadrement

Département Multiphysique pour l'énergétique, ONERA, Toulouse

Encadrant : Oliver Rouzaud, ONERA/DMPE

Directeur de thèse : Olivier Simonin, INPT

Co-directeur de thèse : Mikael Orain, ONERA/DMPE

Jury

Marc Bellenoue, Professeur des universités, ISAE-ENSMA

Olivier Simonin, Professeur, INPT

Christine Mounaïm-Rousselle, Professeure, Université d'Orléans

Mikael Orain, Ingénieur de recherche, ONERA

Céline Morin, Chercheuse CNRS, LAMIH

Pierre Doublet, Chercheur, ISAE-SUPAERO

Aymeric Vié, Chercheur, Mathematical Institute, University of Oxford

Christine Lempereur, Ingénieure, ONERA

Jean-Philippe Matas, Professeur LMFA, Université Claude Bernard, Lyon

Olivier Rouzaud, Ingénieur de recherche, ONERA

Financement

ONERA, région Occitanie

Contact

olivier.rouzaud@onera.fr



Université
de Toulouse



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

Résumé

Aujourd'hui, la réduction de l'impact de l'aviation sur l'environnement est un enjeu économique et politique majeur. Afin de veiller à diminuer la consommation de carburant et l'émission des espèces polluantes par les turbomachines, les motoristes continuent d'optimiser les chambres de combustion des moteurs. Dans les turbomachines déployées aujourd'hui sur le marché, le carburant est injecté sous la forme d'un brouillard de gouttes. Par conséquent la chambre de combustion est un milieu où l'on retrouve une phase gazeuse avec l'air et une phase liquide avec le carburant. Or, dans ce cas, le processus de combustion est particulièrement complexe et est encore mal compris puisqu'il implique divers phénomènes physiques qui sont couplés entre eux. C'est pourquoi il est nécessaire de mieux appréhender et de décrire la combustion d'un spray.

L'objectif de cette thèse est d'étudier expérimentalement le comportement d'un écoulement diphasique en évaporation et en combustion afin mieux comprendre les phénomènes d'évaporation et de combustion d'un brouillard de gouttes. Pour cela, des mesures ont été réalisées en conditions non-réactives et réactives sur le banc d'essai LACOM de l'ONERA. Cela a permis de constituer une base de données expérimentales servant à l'étude de l'évaporation et de la combustion d'un spray. Les images de diffusion de Mie acquises lors des essais ont servi à caractériser la distribution spatiale des gouttes à partir de l'estimation de la distance inter-gouttes à la plus proche voisine et de la densité de gouttes dans le spray. De plus, la distribution spatiale obtenue expérimentalement a été comparée à plusieurs distributions théoriques représentatives de la distribution de gouttes dans un spray. Cela a permis de mettre en évidence que la distribution des gouttes s'apparente plutôt à la distribution aléatoire uniforme. Cependant, dans certains cas, la distribution spatiale des gouttes semble être impactée par des effets de ségrégation préférentielle des gouttes. Par la suite, l'acquisition en conditions réactives d'images de fluorescence induite par laser du kérosène a servi à étudier la distribution spatiale de vapeur de kérosène dans le spray. Cette étude a mis en évidence une distribution hétérogène des températures et de la concentration de kérosène vapeur dans l'écoulement. Enfin, une visualisation simultanée de la fluorescence induite par laser du kérosène et du radical OH a permis de d'étudier la position des gouttes par rapport au front de flamme et ainsi observé certains régimes de combustion.

Mots clés

Interactions gouttes, évaporation, combustion, haute température, carburant liquide.

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022ESAE0060>

Lauriane Lefèvre

Thèse soutenue le 8 décembre 2022 à Lille

ED 432 (SMI) - Sciences des métiers de l'ingénieur - Université PSL

Encadrement

Département Aérodynamique, aéroélasticité, acoustique, ONERA, Lille

Encadrant : Vianney Nowinski, ONERA/DAAA

Directeur de thèse : Antoine Dazin, ENSAM

Co-encadrant : Ronan Boisard, ONERA/DAAA

Jury

Antoine Dazin, Professeur des universités, ENSAM

Thomas Leweke, Directeur de recherche CNRS, IRPHE, Aix-Marseille Université

Jean-Marc Foucaut, Professeur LMFL, Centrale Lille

Antoine Dazin, Professeur LMFL, ENSAM

Vianney Nowinski, Docteur, LMFL

Nicolas Gourdain, Professeur ISAE/SUPAERO

Jacques Borée, Professeur PPRIME, ENSMA

Ronan Boisard, Ingénieur-chercheur, ONERA

Sylvain Mouton, Ingénieur-chercheur, ONERA

Financement

ONERA, région Hauts-de-France

Contact

vianney.nowinski@onera.fr



Évaluation expérimentale des interactions aérodynamiques rotor/propulseur pour les hélicoptères grande vitesse

Résumé

Les hélicoptères sont largement utilisés pour des besoins civils et militaires. Les atouts des Appareils à Atterissage et Décollage Vertical sont nombreux. Cependant, parmi d'autres limites, les configurations classiques ont une vitesse limitée à environ 300 km/h. Dans ce cadre, les hélicoptères grande-vitesse ont été créés. Dotés de rotors et/ou d'aile de portance supplémentaires, ces configurations permettent de décharger le rotor et d'augmenter l'efficacité aérodynamique de l'appareil. Cependant la multiplication d'éléments tournants génère une augmentation des interactions qui peuvent mener à une perte de performance, voire à des situations de vol critiques.

Ainsi, cette thèse propose d'étudier expérimentalement les interactions rotor/propulseur en fonction des conditions de vol pour les hélicoptères hybrides, dont l'Eurocopter X3 et l'Airbus Helicopters RACER sont des exemples. A ce jour, des études numériques ont été menées, mais les phénomènes d'interaction complexes ne sont pas entièrement retranscrits. En parallèle, peu de données expérimentales sont disponibles. Des études expérimentales sont menées pour souligner l'influence du paramètre d'avancement, de la vitesse de rotation du propulseur et de sa position sur les performances des rotors. Les essais sont menés sur une maquette à l'échelle 1/7,7 du Dauphin 365N dotée d'un propulseur dont la position est modifiable dans les trois directions. L'ensemble de la campagne est conduit dans la soufflerie de grande dimension L2 de l'ONERA. Des mesures d'efforts et de champs de vitesse ont mis en avant l'absence d'interactions directes rotor/propulseur à grande vitesse. En vol stationnaire, cependant, le propulseur est entièrement immergé dans le sillage rotor, ce qui génère une augmentation de sa traction. A faible vitesse, l'hélice est partiellement immergée dans le sillage rotor. Dans ce cadre, une translation du propulseur vers la queue de l'appareil génère une augmentation des interactions et des performances du propulseur. L'absence de bénéfices observés lors de la translation verticale ou latérale de l'hélice a aussi été soulignée. Enfin, la négligeabilité des interactions du propulseur sur le rotor a été montrée pour l'ensemble des configurations de vol.

Mots clés

Hélicoptère, hélicoptères grande vitesse, interactions aérodynamiques, interactions rotor/rotor, interactions rotor/propulseur

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022HESAE057>

Miguel Torrente Pardo

Thèse soutenue le 1^{er} avril 2022 à Meudon

ED 391 (SMAER) - Sciences mécaniques, acoustique, électronique & robotique -
Sorbonne Université

Encadrement

Département Aérodynamique , aéroélasticité, acoustique, ONERA, Meudon

Encadrants : Ronan Boisard, ONERA/DAAA

Co-encadrants : Damien Desvigne, Airbus Helicopters ;
Caroline Lienard, ONERA/DAAA

Directeur de thèse : Michel Costes, ONERA/DAAA

Jury

Michel Costes, Chercheur, ONERA DAAA

Eric Gonçalves, Professeur, ENSMA

Smaïne Kouidri, Professeur, Arts et Métiers ParisTech

Paola Cinnella, Professeur, Institut d'Alembert

Marilyn Smith, Professor, Georgia Institute of Technology

Caroline Lienard, Ingénieure-chercheuse, ONERA

Damien Desvigne, Airbus Helicopters

Ronan Boisard, Ingénieur-chercheur, ONERA

Financement

Airbus

Contact

ronan.boisard@onera.fr



Compréhension physique et simulation numérique avancée du phénomène hélicoptère *Tail-Shake*

Résumé

Le *Tail-Shake* est un phénomène aéroélastique engendrant des vibrations basse fréquence sur les hélicoptères conventionnels, à cause de l'impact du sillage sur les parties arrières. Le but de ces travaux est de développer une méthodologie numérique permettant la capture des sillages émis par les parties non-tournantes, caractérisés par un contenu spectral large-bande. Deux cas académiques ont servi à valider différentes modélisations de la turbulence: un ellipsoïde allongé et un cylindre sur une plaque plane. Ils ont été choisis car leur écoulement autour présente des similarités à celui autour des parties non-tournantes. Ces études ont permis d'identifier l'approche Scale Adaptive Simulations (SAS) avec le modèle de turbulence DRSM SSG/LRR- ω grâce à la prévision fidèle des décollements rencontrés, et de la convection des sillages soumis à de fortes interactions.

La modélisation permet de résoudre les échelles les plus énergétiques de la turbulence comme d'autres les approches hybrides RANS/LES, mais à moindre coût. De même, l'utilisation du schéma Vorticity Confinement (VC) améliore la convection des structures tourbillonnaires, grâce à la réduction de la dissipation introduite par les schémas numériques. La modélisation DRSM-SAS avec et sans VC a ensuite été appliquée à un cas d'hélicoptère réel, mettant en évidence la complexité des sillages impliqués. D'autre part, ces analyses ont démontré la difficulté à prévoir l'apparition du Tail-Shake à partir de l'étude du contenu spectral aux décollements. Enfin, des simulations ont démontré que les essais en soufflerie à échelle 1:10 ne permettent pas de reproduire les décollements et la convection à l'origine du Tail-Shake.

Mots clés

Hélicoptères, phénomène de *Tail-Shake*, simulations CFD, Turbulence, RANS, HRLES, SAS, *Vorticity Confinement*

Jolan Reynaud

Thèse soutenue le 25 janvier 2022

ED 391 (SMAER) - Sciences mécaniques, acoustique, électronique & robotique -
Sorbonne Université

Encadrement

Département Aérodynamique aéroélasticité acoustique, ONERA, Meudon

Encadrants : Pierre-Élie Weiss, ONERA/DAAA

Directeur de thèse : Sébastien Deck, ONERA/DAAA

Jury

Jérôme Boudet, Maître de conférence, École Centrale de Lyon

Éric Gonçalves, Professeur des universités, Université de Poitiers, ISAE/ENSMA

Régis Marchiano, Professeur des universités, Institut Jean le Rond d'Alembert,
Sorbonne Université

Hadrien Lambare, Docteur-ingénieur, CNES

Sébastien Deck, Directeur de recherche, ONERA

Pierre-Élie Weiss, Docteur-ingénieur, ONERA

Financement

CNES, ONERA

Contact

pierre-elie.weiss@onera.fr

Étude de méthodes de prévision des interactions de jet pour les arrière-corps de lanceurs spatiaux

Résumé

Les interactions entre les jets propulsifs et le sillage d'un lanceur spatial génèrent des contraintes mécaniques et thermiques pouvant compromettre la réalisation des objectifs de vol.

Pour étudier ces écoulements instationnaires, la mise en place de méthodes numériques précises et abordables repose sur la recherche d'un compromis entre le niveau de résolution des échelles turbulentes et la complexité de la modélisation physique des jets.

Pour contribuer à cette recherche, cette thèse est consacrée au développement et à l'évaluation d'une approche numérique permettant de réaliser des simulations ZDES bi-espèces sur des configurations représentatives des lanceurs de nouvelle génération. Les différents outils composant cette approche, dont un schéma hybride permettant une adaptation locale de la dissipation numérique et les versions bi-espèces des trois modes de la ZDES, sont évalués avec succès sur des cas d'études intégrant graduellement les phénomènes fluides pilotant les interactions de jet pour les arrière-corps de lanceurs spatiaux.

L'approche est ensuite employée pour réaliser le 1er calcul RANS/LES de la littérature sur une configuration multi-tuyère de référence. Les apports d'une telle approche par rapport aux modélisations RANS pour l'évaluation quantitative des caractéristiques instantanées, statistiques et spectrales du champ de pression s'exerçant sur les parois sont exposés. Les méthodes numériques développées durant la thèse constituent ainsi des nouveaux outils permettant d'accompagner la conception des lanceurs spatiaux mais également d'autres véhicules soumis à des écoulements compressibles, turbulents et multi-espèces.

Mots clés

ZDES, arrière-corps, jets supersoniques, modélisation de la turbulence, écoulement bi-espèce, RANS, RANS/LES

Beatrice Fragge

Thèse soutenue le 17 mars 2022 à Toulouse

ED 467 (AA) - Aéronautique, astronautique - Toulouse

Encadrement

Département Multi-physique pour l'énergétique, ONERA, Toulouse

Encadrants : Olivier Rouzeaud, ONERA/DMPE

Directeurs de thèse : Jérôme Sokoloff, Université Toulouse, Olivier Rouzeaud, ONERA/DMPE

Jury

Ana Lacoste, Professeure, LPSC/IN2P3, Grenoble

Marc Bellenoue, Professeur, PPRIME, Poitiers

Valérie Vigneras, Professeure, INP Bordeaux

Eric Freys, Directeur de recherche, Université de Bordeaux

Jérôme Sokoloff, Maître de conférences, Université de Toulouse

Olivier Rouzeaud, Maître de recherche, ONERA

Olivier Pascal, Professeur, Université de Toulouse

Mikaël Orain, Maître de recherche, ONERA

Financement

ONERA, Ministère de l'Enseignement supérieur et de la recherche

Prix de thèse 2021 de la fondation Isae-Supaero

Contact olivier.rouzeaud@onera.fr



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

Résumé

Cette thèse présente une nouvelle approche d'allumage des foyers aérobies basée sur le retournement temporel microonde. Dans la première partie on montre les bases de la théorie de combustion diphasique, le système d'allumage classique qu'est la bougie à arc ainsi que l'histoire et le fonctionnement du retournement temporel spécifiquement dans le cadre de cette étude. Le remplacement de la bougie à arc est un sujet largement étudié et on montre l'état de l'art des différentes approches.

La première étape de notre étude est l'étude de la capacité d'un plasma créé par des micro-ondes focalisées pour allumer un carburant liquide. Cette étape est décrite dans la partie II de ce manuscrit, qui traite le premier banc d'essai conçu pendant les travaux de thèse. Cette étude se fait dans une cavité résonante avec des initiateurs et un train de gouttes de carburant. On explique l'intérêt et la démarche adoptée pour la conception de ce banc d'essai avant de montrer les résultats d'allumage des gouttes d'éthanol et de kérosène.

Dans la troisième partie on passe au retournement temporel (RT). Pour l'étude du claquage d'un plasma par RT dans l'air à pression ambiante, on a conçu un deuxième banc d'essai constitué d'une cavité multimodale de grande taille. On présente la conception de la cavité ainsi que les premiers essais RT en basse puissance. Après l'optimisation du RT, on passe aux essais en puissance. On utilise à nouveau des initiateurs (de type SRR) pour augmenter le champ électrique. Les résultats montrent un claquage réussi avec un signal sinusoïdal et un signal RT. On finit cette partie avec des tests d'allumage d'un brouillard de kérosène soit avec une bougie à arc soit les plasmas claqués par signal sinusoïdal ou RT dans les gaps des SRRs. Pendant ces travaux de thèse, deux bancs d'essai ont été conçus à partir de zéro.

Mots clés

Allumage de carburant liquide, plasma micro-onde, retournement temporel

DOMAINE MÉCANIQUE DES FLUIDES ET ÉNERGÉTIQUE

Thématique Matériaux énergétiques, émissions et dispersion atmosphérique

Antoine Berthier

Thèse soutenue le 11 mai 2022 à Villeneuve d'Ascq

ED 104 (SMRE) - Sciences de la matière, du rayonnement et de l'environnement - Lille

Encadrement

Département Multiphysique pour l'énergétique, ONERA - Palaiseau

Encadrants : Ismael Ortega, David Delhaye, ONERA/DMPE

Directeur de thèse : Cristian Focsa, Université de Lille

Jury

Barbara D'Anna, Directrice de recherche, CNRS, LCE, Marseille

Fabrice Foucher, Professeur, Université d'Orléans

Pascale Desgroux, Directrice de recherche CNRS, Villeneuve d'Ascq

Prem Lobo, Research Officer, NRC, Ottawa

Patrick Duchaine, Ingénieur de recherche, SHE, Bordes

Cristian Focsa, Professeur, Université de Lille

David Delhaye, Ingénieur de recherche, ONERA

Ismael K. Ortega, Ingénieur de recherche, ONERA

Financement

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

Contact

ismael.ortega@onera.fr



Impact de la composition du carburant sur les émissions aéronautiques, une approche multi-échelles

Résumé

Le secteur économique lié au transport est responsable de près de 56 % des émissions de gaz à effet de serre en Europe, dont 2 % sont dus au transport aérien. Les moteurs à combustion interne représentent la majorité des sources de propulsion et génèrent des émissions polluantes de gaz et de particules. Ces émissions ont un impact important sur la qualité de l'air, la santé humaine et le bilan radiatif terrestre. De nombreux efforts de réduction des émissions polluantes et de la consommation en carburant ont été concrétisés .

L'objectif principal de ces travaux a été de comprendre le lien entre les émissions de particules et de gaz d'un turboréacteur en fonction de la composition chimique du carburant, de la configuration du moteur et de sa puissance. La caractérisation physique des particules non-volatiles a été réalisée par une ligne de mesure développée selon les recommandations de la SAE et la caractérisation chimique des émissions par l'intermédiaire de prélèvements d'échantillons sur filtres et leur analyse par spectrométrie de masse. Les techniques de caractérisations ont été déployées de l'échelle du laboratoire, sur un brûleur mini-CAST « liquide », à l'échelle de la turbomachine, sur un moteur d'hélicoptère de Safran Helicopter Engines, en passant par l'échelle du banc de combustion, sur les installations M1 et MICADO de l'ONERA. Le brûleur de laboratoire mini-CAST « liquide » et le banc de combustion M1 ont été employés dans le cadre du projet européen JetScreen pour réaliser la combustion de carburants usuels et alternatifs. Une réduction des émissions de particules non-volatiles a pu être mise en évidence sur certains carburants alternatifs, et un lien a été établi avec le taux de composés aromatiques présents dans le carburant. L'analyse par spectrométrie de masse a montré une réduction de la concentration relative des hydrocarbures aromatiques polycycliques à la surface des particules et en phase gazeuse lors de l'utilisation de carburants alternatifs.

La réduction de ces émissions organiques volatiles par un procédé catalytique a été étudiée sur le banc d'essai MICADO de l'ONERA, mettant en évidence la suppression efficace de la couche organique de surface des particules de suie. Finalement, nos études ont visé les émissions d'un moteur d'hélicoptère en différentes configurations de fonctionnement et en fonction de sa puissance. La caractérisation chimique par spectrométrie de masse a permis de mettre en évidence la présence d'HAP, de molécules hydrocarbonées pouvant posséder un ou deux atomes d'oxygène, de composés soufrés et azotés à la surface des particules de suie, ainsi que celle de composés métalliques provenant de l'usure des pièces en rotation dans le moteur. Des corrélations entre des caractéristiques physiques ou chimiques et la puissance du moteur ont été mises en évidence.

Mots clés

Émissions aéronautiques, particules non-volatiles, caractérisation physico-chimique, banc de combustion, turboréacteur.

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022ULILR019>

Rémi Harry

Thèse soutenue le 16 décembre 2022 à Toulouse

ED 468 (MEGEP) - Mécanique, énergétique, génie civil, procédés - Toulouse

Encadrement

Département Multiphysique pour l'énergétique, ONERA, Toulouse

Encadrant : Emmanuel Radenac, ONERA/DMPE

Directeurs de thèse : Philippe Villedieu, ONERA/DMPE

Co-directeur de thèse : Emmanuel Radenac, ONERA/DMPE

Jury

Héloïse Beaugendre, Chercheuse, INRIA Bordeaux

Éric Laurendeau, Professeur, Polytechnique Montréal

Pierre Trontin, Professeur, LMFA, Université Lyon 1

Philippe Villedieu, Directeur de recherche, ONERA

Radenac Emmanuel, Ingénieur-chercheur, ONERA

Ghislain Blanchard, Ingénieur-chercheur, ONERA

Financement

ONERA

Contact

emmanuel.radenac@onera.fr



Université
de Toulouse



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

Résumé

Le givrage en vol des avions est une source de dégradation des performances aérodynamiques voire d'accidents. Le coût et la difficulté des essais en soufflerie et en vol conduisent à faire appel à des outils de simulation numérique pour le développement et la certification d'un avion contre le givrage. Le coût de calcul est un problème important pour les codes de givrage car de nombreuses paramétrisations sont généralement attendues. Le givrage est un phénomène hautement multiphysique nécessitant de coupler différents modules, la majeure partie du coût de calcul étant due au module aérothermique.

Cette thèse s'inscrit dans le cadre de la modélisation 3D de la couche limite thermique, nécessaire à la modélisation 3D de l'accrétion du givre. L'objectif est de disposer d'outils numériques à la fois rapides, robustes et compatibles avec la modélisation des profils d'ailes utilisant des systèmes de protection thermique. L'approche utilisée dans cette thèse est une méthode couplée Euler/ méthode intégrale de couche limite. La modélisation de la couche limite thermique nécessite la prise en compte de son histoire en raison des conditions aux limites de paroi non-uniformes. Une méthode intégrale basée sur une méthode modale a été développée. Elle permet de transporter plus d'informations qu'une méthode basée sur une simple intégration de l'équation d'énergie. La direction normale à la paroi est traitée à l'aide d'une méthode Galerkin tandis qu'une méthode de volumes finis est utilisée dans les autres directions. La méthode développée pour des configurations 3D a été validée sur des configurations 2D pour des conditions thermiques non uniformes. Le code a ensuite été utilisé avec la chaîne de givrage 2D de l'ONERA pour traiter des cas d'application d'accrétion de givre. Ceci a démontré la robustesse de la méthode ainsi que la capacité à modéliser la couche limite thermique pour des cas complexes avec une température de paroi présentant des variations spatiales rapides, alors qu'une méthode intégrale basée directement sur l'intégration de l'équation d'énergie échouait.

Mots clés

Systemes de protection contre le givre, couche limite thermique, paroi chauffée, méthode intégrale, méthode de Galerkin, volumes finis

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022ESAE0065>

Valérien Palanque

Thèse soutenue le 28 novembre 2022 à Toulouse

ED 467 (AA) - Aéronautique, astronautique - Toulouse

Encadrement

Département Multiphysique pour l'énergétique, ONERA, Toulouse

Encadrant : David Delsart, ONERA/DMAS

Directrice de thèse : Valérie Pommier-Budinger, ISAE-SUPAERO

Co-directeur de thèse : Lokman Bennani, ONERA/DMPE

Co-encadrant : Marc Budinger, Institut Clément Ader

Jury

Dr Craig Lawson, Reader in Airframe Systems, Cranfield University

Valérie Pommier-Budinger, ISAE-SUPAERO

Jean-Luc Dion, Professeur des universités, ISAE-SUPMECA

Lokman Bennani, Ingénieur-chercheur, ONERA

Pierre Trontin, Professeur, LMFA, Université Lyon 1

Marc Budinger, Professeur, Institut Clément Ader

Financement

Fédération de recherche ENAC ISAE-SUPAERO & ONERA

Contact

david.delsart@onera.fr



Université
de Toulouse



Conception de systèmes de dégivrage électromécaniques résonants à faible consommation

Résumé

L'accumulation de glace sur les avions est un problème bien identifié depuis le début des années 1900. Les solutions actuellement utilisées en vol offrent une protection efficace mais nécessitent une puissance ou un besoin en maintenance important. De plus, dans le cadre d'avions plus électriques, les systèmes dépendant des moteurs thermiques sont susceptibles de devenir obsolètes. Les systèmes de dégivrage électromécaniques se sont récemment avérés pertinents en termes de consommation d'énergie et de masse embarquée, ce qui explique le travail poursuivi dans cette thèse pour développer ce système.

Cette thèse se concentre sur la conception de systèmes de dégivrage électromécaniques résonants basés sur de nouvelles structures ou architectures d'actionneurs. Le système de dégivrage électromécanique résonant étudié est basé sur des actionneurs piézoélectriques. L'objectif est de développer un prototype qui pourrait démontrer une protection efficace contre le givre pour une faible puissance absorbée. Afin de concevoir un système de dégivrage électromécanique résonnant efficace et peu consommateur, de nombreuses thématiques ont été étudiées. Tout d'abord, des simples échantillons plaques sont utilisés pour faciliter les calculs et les expériences. Les différents mécanismes de fracture de la glace sont identifiés et les conditions de déclenchement définies. Les mécanismes théoriques supposés sont confirmés par des vérifications expérimentales. Sur la base de ces connaissances, une campagne hybride numérique/expérimentale est menée pour mesurer avec précision les propriétés mécaniques de la glace atmosphérique. Enfin, les mécanismes de fissuration identifiés sont améliorés par le développement et l'utilisation d'un outil d'optimisation, modifiant la géométrie du substrat pour maximiser l'efficacité du dégivrage.

Des applications plus réalistes sont ensuite étudiées. Tout d'abord, l'actionnement de la structure est amélioré en minimisant la durée du processus d'identification et d'excitation des modes. Ensuite, afin de faciliter la sélection des modes d'intérêt et l'identification des principales caractéristiques du système, des critères de conception sont définis en fonction de la puissance mécanique, de l'énergie ou de la force à fournir à la structure pour réaliser le dégivrage. En utilisant ces critères, les propriétés de la glace et les connaissances des mécanismes de fracture acquises grâce aux études préliminaires, un prototype NACA réaliste est usiné et instrumenté. Enfin, les performances du prototype sont comparées aux systèmes existant de protection contre le givre. L'impact du système au niveau de l'avion est évalué en quantifiant la puissance requise, la traînée induite et la masse supplémentaire du système et de ses sous-systèmes.

Mots clés

Électromécanique, dégivrage, propriétés mécaniques de la glace, conception

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022ESAE0052>

Arthur Colombié

Thèse soutenue le 9 juin 2022 à Toulouse

ED 468 (MEGEP) - Mécanique, énergétique, génie civil, procédés - Toulouse

Encadrement

Département Multiphysique pour l'énergétique, ONERA, Toulouse

Encadrant : Emmanuel Laroche, ONERA/DMPE

Directeur de thèse : François Chedevert, ONERA/DMPE

Co-directeur de thèse : Rémi Manceau, UPPA

Jury

François Chedevert, Directeur de recherche, ONERA

Azeddine Kourta, Chercheur, PRISME, Université d'Orléans

Éric Lamballais, Professeur, Institut PPRIME, Université de Poitiers

Emmanuel Laroche, Ingénieur-chercheur, ONERA

Rémi Manceau, Directeur de recherche CNRS, Université de Pau

Isabelle Vallet, Chercheur, Institut Jean le Rond d'Alembert

Financement

ONERA

Contact

emmanuel.laroche@onera.fr



Université
de Toulouse



Amélioration de la prévision du refroidissement par impact à l'aide d'un modèle de turbulence au second ordre

Résumé

Le refroidissement par impact constitue une des méthodes les plus efficaces pour extraire de la chaleur d'un matériau. C'est pourquoi l'utilisation de jets impactant une surface est largement répandue dans les systèmes industriels, que ce soit dans les domaines des transports, en électronique ou bien pour la fabrication de certains matériaux. Une bonne modélisation de la turbulence et des échanges de chaleur par impact de jet est donc nécessaire afin de dimensionner au mieux les systèmes. À ce titre, la modélisation au second ordre de la turbulence (RSM) est privilégiée dans cette étude car elle permet de capter la physique complexe de la région d'impact contrairement aux modèles au premier ordre. Toutefois, les mécanismes à l'origine de l'évolution des tensions de Reynolds dans cette zone restent mal connus et les prévisions aérothermiques surestiment largement le niveau de turbulence et les échanges de chaleur pariétaux.

Cette thèse vise à contribuer à l'amélioration de cette prévision. Pour cela, une simulation des grandes échelles de la turbulence est réalisée afin de mettre en lumière les termes dominant le bilan des équations de transport des tensions de Reynolds dans la région d'impact. Il est ainsi montré que le terme de diffusion par la pression est responsable des flux d'énergie cinétique turbulente, en particulier loin de la paroi. Ce résultat nouveau remet notamment en cause les hypothèses classiques de la modélisation des flux diffusifs. Un équilibre entre les termes de pression (redistribution, diffusion par la pression), la convection et la production est également mis en évidence. Une correction simple imposant cet équilibre est alors proposée pour les modèles au second ordre à pondération elliptique. D'autre part, une modélisation de la diffusion par la pression est aussi proposée. Celle-ci est associée à une modification de la redistribution pariétale afin d'absorber le flux d'énergie qui en découle. La prise en compte du terme de diffusion par la pression permet de reproduire plus fidèlement les mécanismes physiques de la région d'impact, et ainsi d'améliorer de manière significative les prévisions aérothermiques.

Mots clés

Jets impactants, turbulence, transferts thermiques, modélisation RANS

Nicolas Perron

Thèse soutenue le 14 avril 2022 à Toulouse

ED 467 (AA) - Aéronautique, astronautique - Toulouse

Encadrement

Département Multiphysique pour l'énergétique, ONERA, Toulouse

Encadrant : Nicolas Dellinger, ONERA/DMPE

Directrices de thèse : Marianne Balat-Pichelin, CNRS-PROMES,
Ysolde Prévereaud, ONERA/DMPE

Co-encadrant : Valentin Biasi, ONERA/DMPE

Jury

Ludovic Hallo, Directeur de recherche, CEA CESTA

Gérard Vignoles, Professeur, LCTS

Thierry Magin, Professeur, VKI

Jean Lachaud, Maître de conférence, I2M

Julien Annaloro, Docteur, CNES

Marianne Balat-Pichelin, Directrice de recherche, PROMES-CNRS

Ysolde Prévereaud, Ingénieure-chercheuse, ONERA

Nicolas Dellinger, Ingénieur-chercheur, ONERA

Financement

CNES/ONERA

Contact

nicolas.dellinger@onera.fr



Université
de Toulouse



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

Résumé

Depuis 1957, on estime que plus de 1600 tonnes de débris spatiaux ont pu parvenir à la surface de la Terre après avoir effectué une rentrée atmosphérique, représentant un risque pour les biens et les personnes au sol. L'estimation du risque à l'impact est devenue un enjeu majeur pour tous les acteurs du spatial, et en particulier pour le CNES depuis le vote en 2008 et la mise en application en 2021 de la Loi sur les Opérations Spatiales (LOS) qui impose des contraintes fortes sur les débris spatiaux. La simulation numérique « haute fidélité » de la rentrée atmosphérique des débris spatiaux tout au long de leur trajectoire ne peut être mise en œuvre du fait d'un coût de calcul trop important et hors de portée des calculateurs actuels. Des modèles analytiques ou modèles réduits sont donc utilisés. Actuellement, le couplage fort entre les phénomènes physiques de l'écoulement et le niveau de dégradation du matériau n'est pas pris en compte dans ces modèles. De plus, l'utilisation de matériaux composites rend complexe les simulations car leurs réactions de dégradation sont multiples et leurs propriétés thermo-physiques ne sont pas totalement caractérisées.

L'objectif de cette thèse est donc de comprendre et modéliser les processus physiques dans les matériaux composites carbone/époxy et à leurs surfaces, pour une rentrée atmosphérique complète, tenant compte de la dégradation thermo-chimique, sur des géométries 3D représentatives des débris spatiaux.

Pour atteindre cet objectif, un modèle de déplacement de maillage 3D des matériaux avec forte déformation a été développé et intégré dans le code matériau MoDeTheC de l'ONERA. Dans le même temps, le matériau composite carbone/époxy M55J/M18 fabriqué par Thales Alenia Space a été caractérisé avec les moyens d'essais de l'ONERA. Un modèle multi-constituants, permettant de rendre compte de l'évolution des propriétés du matériau en fonction de la température et de son niveau de dégradation, a été défini. L'utilisation de ces propriétés dans MoDeTheC, au sein du code de rentrée atmosphérique ARES (code intégrant les solveurs FAST, MUSIC, AtMoS et MoDeTheC), a permis de simuler la dégradation de réservoirs sphériques sur une trajectoire complète de rentrée. Enfin, pour quelques points de vol le long de ces trajectoires, les influences du soufflage et des réactions des gaz de pyrolyse sur le flux de chaleur convecto-diffusif ont été étudiées numériquement, avec le code Navier-Stokes CEDRE de l'ONERA.

Mots clés

Rentrée atmosphérique, écoulement hypersonique continu, matériaux composites, dégradation thermique,

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022ESAE0022>

THÈSES DE DOCTORAT SOUTENUES EN 2022

DOMAINE PHYSIQUE

selon les thématiques scientifiques :

Traitement du signal pour le radar et la guerre électronique

Antoine Collas - <i>Riemannian geometry for statistical estimation and learning: application to remote sensing</i>	74
José Agustin Barrachina - Complex-Valued Neural Networks for Radar Applications.....	76
Julien Gérard - Sélection et reconnaissance de drones par <i>deep learning</i>	78

Simulation de la scène électromagnétique

Xavier Husson - Modélisation temporelle du fouillis forestier radar de dépôts solides dans les carburants.....	80
--	----

Téledétection active et passive

Gabriel Calassou - Téledétection par imagerie hyperspectrale pour la cartographie des émissions de particules d'aérosols dans l'atmosphère.....	82
Yohann Constans - Fusion de données hyperspectrales et panchromatiques dans le domaine réflectif.....	84
Alice Dupiau - Modélisation de la réflectance spectrale et directionnelle des sols en fonction de la teneur en eau.....	86

Maîtrise de la surface d'onde, optique adaptative

Antoine Chen - Confinement laser 3d assisté par optique adaptative en milieu perturbé : application à l'imagerie et la chirurgie rétinienne.....	88
Hugo Jonquière - Étude de la déflectométrie pour la mesure des hautes fréquences spatiales des miroirs asphériques, <i>freeforms</i> et des grands miroirs quasi-plans.....	90
Léa Krafft - Filtrage spatial pour ophtalmoscope plein champ.....	92
Luca Rinaldi - Compensation des effets de la turbulence atmosphérique sur les liens optiques par optique intégrée.....	94

Optoélectronique : photodétection et nanophotonique

Vignesh Arounassalame - Nouvelles architectures de détecteurs infrarouge super-réseaux.....	96
Maxence Dauphin - Photodétecteurs infrarouge par absorption à deux photons.....	98
Denis Langevin - Ingénierie du désordre pour les métasurfaces absorbantes dans l'infrarouge.....	100
Clément Verlhac - Couplages électromagnétiques et thermiques pour la nanophotonique haute température.....	102

Lasers fibrés, lidars et imageurs 3D

Lucas Paulien - Modélisation de signaux lidar résolus en polarisation pour la caractérisation d'agrégats fractals de suie avec prise en compte de la diffusion multiple.....	104
--	-----

Capteurs optiques et imageurs hyperspectraux

Pierre Delullier - Étude et texturation 3D de lames optiques par laser femtoseconde pour des applications infrarouges	106
Louis Duveau - Apport de l'optique freeform pour l'imagerie multi-bandes spectrales compacte	108
Georges Giakoumakis - Imagerie de phase en rayons X haute résolution pour le contrôle non-destructif de matériaux composites	110

Capteurs inertiels à atomes froids

Jeanne Bernard - Développement d'une centrale inertielle hybride à atomes froids.....	112
---	-----

Charge et décharges électrostatiques sur satellite

Quentin Gibaru - Modèle de transport d'électrons basse énergie pour les diélectriques en application spatiale	114
Loanne Monnin - Étude de l'expansion d'un plasma de décharge à la surface des panneaux solaires de satellites.....	116

Effets de l'environnement radiatif aérospatial sur les systèmes embarqués

Gaëtan Cussac - Étude et modélisation des mécanismes de dégradation aux températures cryogéniques des propriétés électriques des circuits de lecture de détecteur infrarouge	118
--	-----

Foudre, plasma et propulseurs électriques

Vincent Andraud - Étude expérimentale du phénomène de balayage de l'arc électrique lors du foudroiement d'un aéronef	120
Federico Boni - Développement d'un diagnostic plasma micro-onde appliqué aux systèmes de propulsion électrique.....	122
Fabrice Paillous - Étude de l'interaction plasma-matériau : application au foudroiement des aéronefs.....	124

Instrumentation et métrologie par spectroscopie laser

Jonas Hamperl - <i>Development of a differential absorption lidar for remote sensing of water vapor and the isotopologue HDO</i>	126
--	-----

Micro/nano-systèmes (MEMS/NEMS) et capteurs inertiels miniatures

Charles Mauc - Développement d'un magnétomètre miniature exploitant un résonateur MEMS et une structure multicouche de matériaux magnétiques	128
Thomas Perrier - Développement d'un micro-magnétomètre vibrant.....	130

Modèles et mesures de l'environnement spatial

Guillaume Bernoux - Apprentissage profond pour la prévision de l'activité géomagnétique.....	132
--	-----

DOMAINE PHYSIQUE

Thématique **Traitement du signal pour le radar
et la guerre électronique**

Antoine Collas

Thèse soutenue le 25 novembre 2022 à Gif-sur-Yvette

ED 580 (STIC) - Sciences et technologies de l'information et de la communication
- Paris-Saclay

Encadrement

Département Électromagnétisme et radar, ONERA, Palaiseau

Encadrant : Jean-Philippe Ovarlez, ONERA/DEMR

Directeur de thèse : Jean-Philippe Ovarlez, ONERA/DEMR

Co-directeur de thèse: Guillaume Ginolhac, Université Savoie

Jury

Nicolas Le Bihan, Directeur de recherche CNRS, Université Grenoble Alpes

Cédric Richard, Professeur, Université Côte d'Azur

Audrey Giremus, Professeure associée, Université de Bordeaux

Nicolas Boumal, Assistant professor, EPFL

Alexandre Gramfort, Research scientist, INRIA Saclay

Jean-Philippe Ovarlez, Directeur de recherche, ONERA, SONDRRA, CentraleSupélec

Guillaume Ginolhac, Professeur, Université Savoie Mont-Blanc

Chengfang Ren, Assistant Professor, SONDRRA, CentraleSupélec

Arnaud Breloy, Professeur associé, Université Paris Nanterre

Florent Bouchard, Chercheur, CNRS, CentraleSupélec

Financement

SONDRRA

Best Student Paper Award de la conférence EUSIPCO 2022, Belgrade

Contact jean-philippe.ovarlez@onera.fr

université
PARIS-SACLAY

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

SONDRRA

Riemannian geometry for statistical estimation and learning : application to remote sensing

Résumé

Remote sensing systems offer an increased opportunity to record multitemporal and multidimensional images of the earth's surface by improving temporal and spatial resolution. This opportunity greatly increases the interest in data processing tools based on multivariate image time series. In this thesis, we propose a clustering classification pipeline to segment these data. To do so, robust statistics are estimated and then clustered or classified to obtain a segmentation of the original multivariate image time series. A large part of the thesis is devoted to the theory of Riemannian geometry and its subfield, the information geometry, which studies Riemannian manifolds whose points are probability distributions. It allows to estimate robust statistics very quickly, even on large scale problems, but also to compute Riemannian centers of mass. Indeed, divergences are developed to measure the proximities between the estimated statistics. Then, groups of statistics are averaged by computing their Riemannian centers of mass associated to these divergences.

Thus, we adapt classical machine learning algorithms such as the K-means++ or the Nearest centroid classifier to Riemannian manifolds.

These algorithms have been implemented for many different combinations of statistics, divergences and Riemannian centers of mass and tested on real datasets such as the Indian Pines image and the large crop type mapping Breizhcrops dataset.

Mots clés

Signal processing, machine learning, Riemannian geometry, optimization, robust statistics, Earth observation.

DOMAINE PHYSIQUE

**Thématique Traitement du signal pour le radar
et la guerre électronique**

José Agustin Barrachina

Thèse soutenue le 06 décembre 2022 à Gif-sur-Yvette

ED 580 (STIC) - Sciences et technologies de l'information et de la communication
- Paris-Saclay

Encadrement

Département Électromagnétisme et radar, ONERA, Palaiseau

Encadrant : Christèle Morisseau, ONERA/DEMR

Directeur de thèse : Jean-Philippe Ovarlez, ONERA/DEMR

Co-encadrants : Gilles Vieillard, ONERA/DEMR

Chenfang Ren, SONDRRA

Jury

Florence Tupin, Professeure, Télécom Paris, INP

Alexandre Benoit, Professeur, LISTIC, Université Savoie Mont-Blanc

Laurent Ferro-Famil, Professeur, ISAE

Mihai Datcu, Directeur de recherche, Politehnica University of Bucharest

Jérémy Fix, Maître de conférence, LORIA, CentraleSupélec

Jean-Philippe Ovarlez, Directeur de recherche, ONERA, SONDRRA, CentraleSupélec

Chengfang Ren, Professeur assistant, SONDRRA, CentraleSupélec

Christèle Morisseau, Ingéneure-chercheuse, ONERA

Gilles Vieillard, Ingénieur-chercheur, ONERA

Financement

ONERA, DGA

Contact

christele.morisseau@onera.fr

université
PARIS-SACLAY

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

DGA

Complex-Valued Neural Networks for Radar Applications

Résumé

Radarsignals and SAR image processing generally require complex-valued representations and operations, e.g., Fourier, wavelet transforms, Wiener, matched filters, etc. However, the vast majority of architectures for deep learning are currently based on real-valued operations, which restrict their ability to learn from complex-valued features. Despite the emergence of Complex-Valued Neural Networks (CVNNs), their application on radar and SAR still lacks study on their relevance and efficiency. And the comparison against an equivalent Real-Valued Neural Network (RVNN) is usually biased.

In this thesis, we propose to investigate the merits of CVNNs for classifying complex-valued data. We show that CVNNs achieve better performance than their real-valued counterpart for classifying non-circular Gaussian data. We also define a criterion of equivalence between feed-forward fully connected and convolutional CVNNs and RVNNs in terms of trainable parameters while keeping a similar architecture. We statistically compare the performance of equivalent Multi-Layer Perceptrons (MLPs), Convolutional Neural Networks (CNNs), and Fully Convolutional Networks (FCNs) for polarimetric SAR image segmentation. SAR image splitting and balancing classes are also studied to avoid learning biases. In parallel, we also proposed an opensource toolbox to facilitate the implementation of CVNNs and the comparison with real-equivalent networks.

Mots clés

Complex-Valued Neural Networks, Polarimetric Synthetic Aperture Radar, Classification, Semantic Segmentation

DOMAINE PHYSIQUE

Thématique Traitement du signal pour le radar et la guerre électronique

Julien Gérard

Thèse soutenue le 16 février 2022 à Gif-sur-Yvette

ED 580 (STIC) - Sciences et technologies de l'information et de la communication
- Paris-Saclay

Encadrement

Département Électromagnétisme et radar, ONERA, Palaiseau

Encadrant : Christèle Morisseau, ONERA/DEMR

Directrice de thèse : Joanna Tomasik - CentraleSupélec

Jury

Tristan Cazenave, Professeur, Université Paris-Dauphine

Laurent Ferro-Famil, Professeur, Université de Rennes 1

Alexandre Benoit, Professeur, Université Savoie Mont-Blanc

Devan Sohier, Professeur associé, UVSQ, Université Paris-Saclay

Mihai Datcu, Directeur de recherche, German Aerospace Center DLR, CNAM

Joanna Tomasik, Professeure, CentraleSupélec, Université Paris-Saclay

Olivier Schwander, LIP6, Université Pierre et Marie Curie

Christèle Morisseau, Maître de conférence, Ingénieure-chercheuse, ONERA

Arpad Rimmel, CentraleSupélec, Université Paris-Saclay

Gilles Vieillard, Ingénieur-chercheur, ONERA

Financement

ONERA

Contact

christele.morisseau@onera.fr



Sélection et reconnaissance de drones par *deep learning*

Résumé

Cette thèse étudie la reconnaissance de signaux radar micro-Doppler de drones par des méthodes d'apprentissage profond (*Deep Learning*). Le phénomène micro-Doppler est un ensemble de modulations de fréquence créé par les mouvements internes de la cible observée. Tout d'abord, nous avons analysé les différentes données existantes : simulations, données collectées accessibles. Nous examinons alors les limites de ces données. Afin de s'en affranchir, nous avons effectué une campagne de mesure adaptée. Une fois les données collectées, nous avons étudié l'impact des différents espaces de représentation afin de proposer à la communauté un format standard pour un usage *Deep Learning*. Nous abordons alors un problème majeur en radar : le manque de données. Nous explorons alors la piste de l'augmentation de données par des GANs.

Nous proposons une mesure de la qualité de ces algorithmes basés sur des critères d'utilités de la génération et non du réalisme de celle-ci. Avec cette mesure, nous avons observé une amélioration statistiquement significative des performances de classification grâce aux signaux générés par GAN. Encouragé par ce résultat, nous implémentons des GANs plus avancés combinant vérité terrain et signaux réels. Nos expériences nous permettent alors d'atteindre les performances précédentes. Actuellement, nous identifions des axes de résolutions, que nous prévoyons de développer, pour les dépasser.

Mots clés

Drones, micro-Doppler, réseaux de neurones, apprentissage profond

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022UPASG002>

Xavier Husson

Thèse soutenue le 11 janvier 2022 à Gif-sur-Yvette

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

Encadrement

Département Électromagnétisme et radar, ONERA, Palaiseau

Encadrant : Thomas Lepetit, ONERA/DEMR

Directeur de thèse : Fabrice Boust, ONERA/DEMR

Jury

Mihai Datcu, Professeur à l'University Politehnica Bucharest

Laurent Ferro-Famil, Professeur, ISAE-SUPAERO,

Hélène Roussel, Professeure au Laboratoire GeePs, Sorbonne Université

Lætitia Thirion-Lefevre, Professeure au Laboratoire SONDRRA, CentraleSupélec

Frank Weinmann, Doctor of Engineering, FHR

Christian Cochin, Ingénieur, DGA-MI

Financement

ONERA

Contact

xavier.husson@onera.fr

Modélisation temporelle du fouillis forestier radar de dépôts solides dans les carburants

Résumé

La végétation est un élément important pour le radar car elle est omniprésente et met en échec de nombreux algorithmes. Cela provient avant tout du mouvement de la végétation, sous l'effet du vent, qui induit un décalage Doppler. Dans cette thèse, nous avons développé un modèle de fouillis de végétation pour l'imagerie SAR.

Pour ce modèle de fouillis, nous avons décidé de travailler sur la base de 3 hypothèses. Premièrement, nous avons choisi une modélisation géotypique au travers d'une approche procédurale de création d'arbres et de leur représentation par des maillages surfaciques. Deuxièmement, nous avons opté pour une modélisation électromagnétique asymptotique compatible des fréquences supérieures à 10 GHz, typiques des systèmes d'acquisition haute résolution. Troisièmement, nous avons retenu une modélisation animée constituée d'un maillage surfacique déformable à même de rendre compte du décalage Doppler.

Pour cela nous avons adapté un simulateur ONERA permettant la génération de données radars brutes. La première amélioration réside dans le choix d'une approche asymptotique en 2 étapes (optique géométrique et physique), détermination de la visibilité des facettes du maillage et évaluation du champ rétrodiffusé correspondant. La deuxième amélioration réside dans le développement d'une méthode d'interpolation afin de limiter le nombre de calculs de visibilité, point crucial pour l'imagerie SAR haute résolution.

La formation d'images SAR pour différentes intensités de vents nous a permis d'observer la défocalisation due aux mouvements des arbres au cours d'une acquisition. Une analyse de la densité spectrale de puissance, par comparaison avec le modèle de Billingsley, confirme la capacité de notre modèle à restituer le décalage Doppler.

Mots clés

Végétation, fouillis radar, simulation de grandes scènes.

Gabriel Calassou

Thèse soutenue le 02 décembre à Toulouse

ED 173 (SDU2E) - Science de l'Univers, de l'environnement et de l'espace - Toulouse

Encadrement

Département optique et techniques associées, ONERA, Toulouse

Encadrant : Pierre-Yves Foucher, ONERA/DOA

Directeur de thèse : Jean-François Léon, Université Toulouse III

Co-directeur de thèse : Pierre-Yves Foucher, ONERA/DOA

Jury

Jean-François Léon, Chercheur associé, CNRS, Univ. Toulouse III, LAERO

Nadège Martiny, Maitresse de conférence, Univ. de Bourgogne, Centre de Recherches de Climatologie

Rodolphe Marion, CEA

Malik Chami, Univ. de la Sorbonne, LATMOS

Dominique Serca, Univ. Paul Sabatier Toulouse III, Laboratoire d'Aérodynamique

Hervé Delbarre, Univ. du Littoral Côte d'Opale

Pierre-Yves Foucher, ONERA

Xavier Briottet, ONERA

Camille Desjardins, CNES

Financement

ONERA /CNES

Contact

Pierre-Yves.Foucher@onera.fr



Université
de Toulouse



Téledétection par imagerie hyperspectrale pour la cartographie des émissions de particules d'aérosols dans l'atmosphère

Résumé

La dégradation de la qualité de l'air en raison de l'émission de particules fines dans l'atmosphère est un problème environnemental et sanitaire majeur. Les sources d'émission d'aérosols sont nombreuses et diversifiées et les mécanismes de dispersion et de modification physico-chimique de ces particules restent complexes à représenter dans les modèles de prévision de la qualité de l'air. L'évolution spatio-temporelle des émissions de panaches industriels reste encore mal appréhendée, mais sa connaissance demeure primordiale pour le suivi de la qualité de l'air dans le voisinage des sources. La collecte d'observations est donc essentielle pour améliorer nos connaissances sur ces émissions et de leurs impacts. Les mesures in situ n'offrent pas une spatialisaton géographique adéquate autour des sites d'émission. Plusieurs travaux menés en partie par l'ONERA ont permis de montrer la sensibilité l'imagerie hyperspectrale aéroportée dans le domaine réflectif pour la caractérisation des propriétés des particules émises par la source. L'objectif de cette thèse est alors d'évaluer la sensibilité de l'imagerie hyperspectral satellitaire pour la détection et la caractérisation des propriétés physico-chimique des aérosols industriels nécessaire à la réalisation d'un bilan de masse pour les fines particules. Cela nécessite d'être capable de modéliser les interactions entre les aérosols d'un panache avec le flux solaire. Une connaissance de l'information spectrale des sols en dessous du panache est nécessaire pour modéliser le signal des aérosols du panache. Ce signal ou réflectance de surface est modélisé par une méthode de fusion s'appuyant sur l'utilisation d'une donnée exogène provenant généralement d'une donnée multispectrale dont le temps de revisite est de quelques jours. Une caractérisation des propriétés des aérosols est ensuite réalisée par l'intermédiaire d'un algorithme d'optimisation utilisant le formalisme Bayésien. Cela permet de restituer conjointement des paramètres dont les signatures spectrales peuvent être partiellement similaires et d'analyser les incertitudes statistiques associées aux restitutions. Ensuite, un bilan de masse, puis une estimation du flux et de son incertitude est réalisé. Pour mener à bien cette étude, une première application de ce processus d'inversion a été réalisée sur une image hyperspectrale aéroportée d'un site sidérurgique, puis une seconde sur des images PRISMA sur différents sites industriels. Les images satellitaires PRISMA ont une résolution spatiale de 30 m et une résolution spectrale de 10 nm. Une telle approche a permis de montrer la sensibilité de la donnée hyperspectrale satellite à différents types d'aérosols tout en adaptant notre modélisation aux différentes géométries d'émissions rencontrées. Enfin, cela nous a permis de restituer des débits de particules pour le mode d'accumulation variant entre 131 et 394 g.s⁻¹ pour des rayons médians moyens variant entre 0.10 et 0.12 μm pour les sites étudiés à partir des données PRISMA .

Mots clés

Aérosols, téledétection, hyperspectral

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022ESAE0054>

Yohann Constans

Thèse soutenue le 19 avril 2022 à Toulouse

ED 467 (AA) - Aéronautique, astronautique - Toulouse

Encadrement

Département Optique et techniques associées, ONERA, Toulouse

Encadrant : Sophie Fabre, ONERA/DOTA

Directeur de thèse : Xavier Briottet, ONERA/DOTA

Co-directeur de thèse : Yannick Deville UPS,CNRS, OMP, CNES

Jury

Xavier Briottet, Directeur de recherche, ONERA

Yannick Deville, Professeur des universités, UPS-CNRS-OMP-CNES/IRAP

Sophie Fabre, Ingénieure-chercheuse, ONERA

David Brie, Professeur, CRAN-CNRS/UMR

Thomas Corepetti, Chercheur, Université de Rennes2-CNRS/UMR/LETG

Ali Mansour, Professeur, ENSTA Bretagne

Benjamin Szymanski, Ingénieur de recherche, DGA

Arnaud Le Bris, Chercheur, LaSTIG

Financement

ONERA /AIRBUS

Contact

sophie.fabre@onera.fr



Fusion de données hyperspectrales et panchromatiques dans le domaine réflectif

Résumé

Les méthodes de fusion HS+PAN combinent des images hyperspectrales (HS) à haute résolution spectrale et panchromatiques (PAN) à haute résolution spatiale afin d'aboutir à une nouvelle image hautement résolue spatialement et spectralement. Elles sont cependant limitées par la gestion des pixels mixtes, très présents en milieu urbain.

L'objectif est de développer et valider une nouvelle méthode HS+PAN dans le domaine $[0,4 - 2,5 \mu\text{m}]$, optimisant la reconstruction des pixels mixtes.

Deux pistes sont investiguées. La première concerne l'amélioration d'une méthode de la littérature pour l'adapter à des milieux spatialement complexes, et a abouti à la méthode Combinatorial Optimisation for 2D ORganisation (CONDOR).

La seconde porte sur la conception instrumentale, avec l'introduction d'une seconde voie PAN dans le domaine SWIR II pour réduire les erreurs de fusion. Cela a donné lieu à la méthode CONDOR-2P, obtenant les meilleurs résultats parmi les autres méthodes développées et de la littérature.

Mots clés

Fusion d'images, *pansharpening*, panchromatique, hyperspectral, domaine réflectif, pixels mixtes, urbain, réorganisation spatiale, analyse combinatoire, optimisation.

Alice Dupiau

Thèse soutenue le 19 avril 2022 à Toulouse

ED 560 (STEP'UP) - Sciences de la Terre et physique de l'Univers - IPGP

Encadrement

Département Optique et techniques associées, ONERA, Toulouse

Encadrant : Xavier Briottet, ONERA/DOTA

Directeur de thèse : Stéphane Jacquemoud, Université Paris Cité

Co-directeur de thèse : Xavier Briottet, ONERA/DOTA

Jury

Emmanuelle Vaudour, Directrice de recherche, INRAE Agro ParisTech

Lionel Simonot, Maître de conférences, Institut P'

Sabine Chabrilat, Professeure, Leibniz University, Hannover

Cécile Ferrari, Professeure, Université Paris Cité

Rodolphe Marion, Ingénieur-chercheur, CEA

Stéphane Jacquemoud, Professeur, Université Paris Cité

Xavier Briottet, Directeur de recherche, ONERA

Financement

ONERA, IPGP

Contact

Xavier.Briottet@onera.fr



Modélisation de la réflectance spectrale et directionnelle des sols en fonction de la teneur en eau

Résumé

La teneur en eau des sols est une variable clé à la surface de la Terre. Depuis les années 1970, la télédétection aéroportée ou satellitaire s'est imposée comme un outil efficace pour cartographier la teneur en eau des sols sur des zones étendues. L'eau peut être détectée à différentes profondeurs selon le domaine de longueurs d'onde. Le domaine solaire, qui fait l'objet de ce travail, donne accès à l'humidité de surface car la profondeur de pénétration de la lumière dans le sol n'excède pas un à deux millimètres. L'objectif principal de cette thèse est de développer un modèle physique, prenant en compte les effets spectraux et directionnels, validé sur une grande diversité de sols, qui permette de relier la réflectance du sol dans le domaine solaire à son humidité.

Une nouvelle version du modèle MARMIT appelée MARMIT-2 a été développée. Celle-ci représente un sol humide comme un sol sec surmonté d'une fine couche d'un mélange d'eau et de particules minérales, ce mélange constituant une spécificité majeure de MARMIT-2. La réflectance spectrale du sol humide s'exprime en fonction de la réflectance du sol sec et de trois paramètres d'entrée : l'épaisseur de la lame d'eau, la fraction de couverture de la lame d'eau et la fraction volumique de particules de sol dans la lame d'eau. MARMIT-2 a été testé sur une base de données de 225 échantillons de sol dont les spectres de réflectance ont été mesurés en laboratoire à plusieurs niveaux d'humidité. La prédiction des spectres de réflectance des sols humides a été améliorée, avec un RMSE passant de 2.2 % pour MARMIT à 0.9 % pour MARMIT-2.

Considérant que ces échantillons « lisses » ne sont pas représentatifs des sols naturels, beaucoup plus complexes, et dans le but d'adapter MARMIT-2 aux images hyperspectrales aéroportées ou satellitaires, nous avons étudié les effets directionnels de la rugosité du sol sur la réflectance en effectuant des simulations de BRF de sols rugueux et humides à l'aide du logiciel de lancer de rayons DART-Lux développé au CESBIO. Nous considérons des MNT de terrains artificiels et réels découpés en micro-facettes. Les propriétés optiques des facettes sont représentées par des modèles isotropes ou anisotropes, et la variation des paramètres de ces modèles permet de simuler la BRF des sols à différents niveaux d'humidité.

Un couplage entre les effets spectraux et directionnels est proposé pour simuler des spectres de réflectance d'un sol rugueux à différents niveaux d'humidité et dans différentes conditions d'illumination et d'observation. Après avoir étudié le lien entre les paramètres de MARMIT-2 et le SMC pour les échantillons de sols de la base de données, le SMC a pu être estimé avec une erreur quadratique moyenne de 3.6%.

Mots clés

Modèle de transfert radiatif, humidité de surface des sols, télédétection, domaine solaire, BRF, hyperspectral, MARMIT, DART-Lux spatiale, analyse combinatoire, optimisation.

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/s230594>

Antoine Chen

Thèse soutenue le 4 février 2022 à Châtillon

ED 394 (P2T) - Physiologie, physiopathologie et thérapeutique - Sorbonne Université

Encadrement

Département Optique et Techniques Associée, ONERA, Palaiseau

Encadrant : Cyril Petit, ONERA/DOTA

Directeur de thèse : Michel Pâques, CHNO Quinze-Vingt

Co-directeur de thèse : Serge Meimon, ONERA/DOTA

Jury

Claude Boccara, Professeur, Institut Langevin

Karsten Plamann, Professeur, ENSTA, Paris

Philippe Chaumet-Riffaud Professeur des universités, CHNO des 15-20, Paris

Caroline Kulcsár, Professeure, LCF, Palaiseau

Michel Pâques, Professeur des universités, CHNO des 15-20, Paris

Serge Meimon, Directeur de recherche, ONERA

Cyril Petit, Ingénieur-chercheur, ONERA

David Pureur, Chercheur, CTO Quantel Medical

Financement

Quantel Medical

Contact

cyril.petit@onera.fr

Confinement laser 3d assisté par optique adaptative en milieu perturbé : application à l'imagerie et la chirurgie rétinienne

Résumé

L'œdème maculaire est l'une des premières causes de malvoyance et de cécité chez les jeunes adultes en Occident. L'un des principaux traitements actuels de l'œdème maculaire est la photo-coagulation laser visant à focaliser un laser afin de coaguler des structures ciblées, appelés micro-anévrysmes. Cependant, les systèmes de photo-coagulation laser actuels présentent encore des limitations critiques, qui conduisent à un certain degré de lésion des tissus sains adjacents dans la région maculaire. Ces limitations liées au manque de contrôle et de confinement de la focalisation laser sur la rétine sont notamment dues aux mouvements et aberrations oculaires.

L'Optique Adaptative (OA) est une technologie utilisée depuis 1997 qui permet une mesure et une correction en temps réel des aberrations optiques induites par l'oeil, et fournit des images de la rétine avec une résolution au micromètre. L'utilisation et l'intérêt de l'OA pour le diagnostic pourraient être portés aux instruments chirurgicaux de photo-coagulation laser, afin de contrôler le confinement 3D du laser thérapeutique tout en proposant des images rétinienne haute résolution pour le suivi. Toutefois, un certain effort doit encore être réalisé pour satisfaire aux exigences d'une opération laser.

Cette thèse vise à mettre en oeuvre un système de photo-coagulation laser garantissant une focalisation laser confinée, stabilisée, efficace et maîtrisée pour la sûreté du sujet en toutes circonstances. Pour cela, j'ai effectué l'intégration et la caractérisation d'un tel prototype de photo-coagulation compact, en optimisant ses performances en conditions maîtrisées sur œil artificiel. J'ai par la suite porté le système sur de l'imagerie rétinienne in vivo, dont le fonctionnement et les performances ne sont pas garanties en tout instant du fait des conditions d'acquisition dégradées. Pour cela, j'ai proposé et mis en œuvre différentes méthodes algorithmiques permettant d'améliorer la précision de mesure et correction des systèmes d'analyse de surface d'onde et de stabilisation afin de garantir un fonctionnement stable en différentes conditions.

Enfin, j'ai développé un modèle holistique de photo-coagulation laser, incluant les composantes optiques, thermiques et de nécrose intervenant dans l'effet de photo-coagulation. Ce modèle permet de mieux appréhender les phénomènes impliqués et j'ai proposé des stratégies de mise en forme du faisceau laser afin d'améliorer son efficacité et les marges de sécurité associées à la photo-coagulation.

Mots clés

Optique adaptative, photo-coagulation laser, œdème maculaire diabétique.

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/s267313>

Hugo Jonquière

Thèse soutenue le 17mai 2022 à Meudon

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

Encadrement

Département Optique et techniques associées, ONERA, Châtillon

Encadrant : Vincent Michau, ONERA/DSG

Directeur de thèse : Laurent Mugnier, ONERA/DOTA

Jury

Yvan Sortais, Professeur des universités, Institut d'Optique Graduate School

Élise Vernet, Ingénieur, European Southern Observatory

Coralie Neiner, Directeur de recherche, LESIA, Observatoire de Paris

Loïc Denis, Maître de conférences, Université de Saint-Etienne

Renaud Mercier-Ythier, Ingénieur, Safran Reosc

Vincent Michau, Directeur de recherche, ONERA

Laurent Mugnier, Directeur de recherche, ONERA, Université Paris-Saclay

Financement

SAFRAN

Contact

vincent.michau@onera.fr

Étude de la déflectométrie pour la mesure des hautes fréquences spatiales des miroirs asphériques, *freeform* et des grands miroirs quasi-plans

Résumé

La fabrication optique requiert une métrologie de précision afin d'identifier l'amplitude, la position et la fréquence spatiale des défauts de forme à polir. Du fait de la grande dynamique des défauts de forme en termes d'amplitude et de fréquences spatiales, les procédés de fabrication optique reposent sur l'utilisation de diverses méthodes de mesures de forme. La déflectométrie est un moyen métrologique prometteur du fait de son faible coût et sa facilité de mise en œuvre expérimentale. En particulier, l'utilisation de la déflectométrie pour la mesure des hautes fréquences spatiales constitue un moyen rapide de comparaison à un autre instrument et de suivi d'un procédé de polissage. Cependant, la propagation de biais et bruits à travers la chaîne de traitement des données d'un montage déflectométrique limite la précision de mesure des hautes fréquences spatiales d'une pièce optique par cet instrument. Mon travail de thèse a consisté à identifier les facteurs limitant la mesure des hautes fréquences par déflectométrie, à modéliser la propagation de ces erreurs à travers la chaîne de traitement des données, et à concevoir des méthodes algorithmiques et des bancs de mesure déflectométriques permettant la mesure des hautes fréquences spatiales de surfaces optiques free-form, asphériques, et des grands miroirs quasi-plans.

Mon approche au cours de cette thèse a été de modéliser systématiquement la propagation des différents biais et bruits à travers la complexe chaîne de traitement des données déflectométriques. En particulier, j'ai exhibé des algorithmes de phase shift bien choisis, et conçu des méthodes de reconstruction de forme auto-étalonnées robustes aux erreurs dominant la mesure des hautes fréquences spatiales dans un montage déflectométrique. En me basant sur les modèles de propagation d'erreur développés au cours de cette thèse, j'ai ensuite démontré via des simulations que les méthodes proposées permettaient la mesure des hautes fréquences spatiales d'une pièce optique avec une précision comparable à celle d'un autre moyen métrologique de référence – l'interférométrie. J'ai mis en œuvre ces méthodes de traitement des données sur des bancs déflectométriques classiques, mais également sur des bancs originaux co-conçus au cours de cette thèse pour la mesure des grands miroirs plans. Les méthodes développées au cours de cette thèse, couplées à des procédures d'étalonnage des défauts de déformation de l'écran, ont permis la démonstration de performances équivalentes à celle d'un banc de mesure utilisant un caplabelle Ribet-Mohamedr teur Shack-Hartmann sur la mesure d'un segment du miroir primaire de l'Extremely Large Telescope.

Mots clés

Déflectométrie, *phase shift*, fabrication optique, métrologie, affichage non-linéaire, métrologie des pentes, *Extremely Large Telescope*, reconstruction de forme, inférence bayésienne, synthèse de pupilles

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022UPSLO001>

Léa Krafft

Thèse soutenue le 20 octobre 2022 à Paris

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

Encadrement

Département Optique et techniques associées, ONERA, Palaiseau

Encadrant : Serge Meimon, ONERA/DOTA

Directeur de thèse: Serge Meimon, ONERA/DOTA

Jury

Sophie Brasselet, Institut Fresnel CNRS, Marseille

Jérôme Mertz Department of Biomedical Engineering, Boston University

Serge Meimon, ONERA, Châtillon

Alexandra Fragola, Université Paris Saclay, Gif sur Yvette

Ethan Rossi, University of Pittsburgh, Pittsburgh

Michel Pâques, Hôpital des Quinze-Vingt,

Olivier Thouvenin, Institut Langevin CNRS, Paris

Financement

ANR

Contact

Serge.Meimon@onera.fr

Filtrage spatial pour ophtalmoscope plein champ

Résumé

L'oeil est le seul organe du corps humain permettant d'accéder directement au système nerveux central et au système vasculaire. Sa transparence permet d'observer la rétine de manière non-invasive par des moyens optiques. C'est pourquoi le développement de dispositifs d'imagerie rétinienne présente un fort intérêt clinique, pour le diagnostic précoce de maladies rétiniennes (dégénérescence maculaire liée à l'âge ou DMLA, rétinopathie diabétique, glaucome...) et neurodégénératives (Alzheimer, Parkinson...).

Malgré leur capacité à atteindre la résolution cellulaire (micrométrique) avec l'optique adaptative, les ophtalmoscopes actuels sont soumis aux mouvements oculaires, qui peuvent induire des effets de distorsion et à la diffusion multiple, qui altère le contraste des structures rétiniennes.

Cette thèse s'intéresse à étudier les effets de diffusion dans la rétine afin d'optimiser le contraste d'imagerie des ophtalmoscopes plein champ, aussi appelés « flood illumination ophtalmoscopes ». En exploitant la haute cadence d'imagerie de ces systèmes, notre démarche consiste à adapter les conditions d'illumination et de filtrage spatial du signal rétrodiffusé par la rétine aux propriétés optiques des structures observées. Ces travaux, associant expérimentations et simulations (Monte Carlo) de la diffusion et la réfraction dans la rétine, ont conduit au développement d'un nouveau dispositif d'imagerie, nommé Minsky. Ce module optique permet d'une part, d'obtenir un contraste d'imagerie élevé des structures les plus réfléchissantes de la rétine, comme les photorécepteurs grâce à sa rapidité d'acquisition et à son procédé de filtrage spatial. D'autre part, il propose un mode d'imagerie supplémentaire permettant d'observer les structures habituellement invisibles en microscopie en champ clair (observation directe de la région illuminée), tel que les parois des vaisseaux sanguins, les capillaires ou les érythrocytes.

Mots clés

Microscopie optique, imagerie, milieux diffus, ophtalmologie, rétine, optique adaptative

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022UPASP094>

Luca Rinaldi

Thèse soutenue le 3 février 2022 à Palaiseau

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

Encadrement

Département Optique et techniques Associée, ONERA, Palaiseau

Encadrant : Vincent Michau, ONERA/DSG

Directeurs de thèse : Vincent Michau, ONERA/DSG ;
Guillermo Martin, IPAG

Jury

Antonella D'Orazio, Professor, Politecnico di Bari

Jean-Philippe Berger, Astronome, IPAG

Antonella Bogoni, Professor, Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa

Marc Ollivier, Astronome, IAS, Orsay

Vincent Michau, Directeur de recherche, ONERA

Guillermo Martin, Maître de conférences, IPAG

Nadège Courjal, Maîtresse de conférence, FEMTO-ST

Mathieu Boutillier, Ingénieur, CNES

Financement

CNES, ONERA

Contact

vincent.michau@onera.fr

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

Résumé

La croissance des liaisons optiques en espace libre conduit à des systèmes dont les débits de données atteignent des dizaines de gigabits/s. Pour atteindre de tels débits, une des approches les plus fréquemment envisagées est de coupler le signal reçu dans une fibre optique monomode, ou Single-Mode Fiber et ainsi bénéficier des technologies développées pour les liaisons par fibre. Cependant, en raison des effets de la turbulence atmosphérique, une dégradation de l'efficacité du couplage est présente lorsque le faisceau se propage en espace libre. Bien que les techniques d'atténuation des turbulences, telles que l'optique adaptative soient largement utilisées à des angles d'élévation élevés, les liaisons satellite-sol en orbite basse doivent faire face à des angles d'élévation faibles et à une distance de propagation plus longue dans l'atmosphère. Cette propagation plus longue induit des fluctuations d'intensité qui rendent la mesure du front d'onde plus complexe. Dans ce contexte, une nouvelle alternative prometteuse aux miroirs déformables consiste à décomposer l'onde perturbée en un ensemble de modes de propagation associés à différents guides d'ondes, puis à combiner de manière cohérente ces modes guidés. La décomposition des modes est réalisée par un dispositif de multiplexage spatial, ou Space-Division Multiplexing device . Une fois que le faisceau reçu est décomposé en un ensemble de modes, ils sont recombinaés par un circuit photonique intégré, ou Photonic Integrated Circuit . Les avantages de cette méthode sont l'absence de pièces mobiles, sa compacité et sa moindre sensibilité aux effets de scintillation. Ce travail est dédié au développement d'un tel dispositif. Dans la première partie, une approche analytique est développée afin de décrire les effets moyens de la turbulence atmosphérique lorsqu'un faisceau est couplé à un ensemble de modes de propagation. Sur la base de cette analyse, la deuxième partie de cette thèse est consacrée à la combinaison cohérente de différents modes guidés sur un PIC. Dans le choix des matériaux pour les PICs, il y a un compromis entre la bande passante, la facilité de fabrication et le nombre de canaux. Les performances de ce dispositif en termes de marge de puissance globale, ainsi que son comportement statistique et temporel sont étudiés à travers des simulations end-to-end. Deux matériaux différents ont été étudiés: le nitrure de silicium et le niobate de lithium. En particulier, la conception et la fabrication d'un PIC à 8 canaux à base de LiNbO₃ sont analysées. Un PIC à base de SiN a également été caractérisé en termes de réponse temporelle et d'effets de couplage. Malgré ses principaux avantages, le dispositif présente toujours des pertes élevées. Pour remédier à ces pertes, nous proposons dans la dernière partie de ce manuscrit l'utilisation d'un dispositif SDM dans une approche d'OA dite Sensorless. Contrairement aux approches d'OA Sensorless classiques, qui n'utilisent qu'une seule SMF, les multi-sorties du SDM sont utilisées pour améliorer le temps de convergence de l'algorithme d'optimisation

Mots clés

Turbulence atmosphérique, liaison optique, espace libre, optique adaptative, multiplexeur spatial, optique intégrée

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022UPASP013>

Vignesh Arounassalame

Thèse soutenue le 18 février 2022 à Palaiseau

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

Encadrement

Département Optique et techniques associées, ONERA, Palaiseau

Encadrant : Isabelle Ribet, ONERA/DOTA

Directrice de thèse : Isabelle Ribet, ONERA/DOTA

Jury

Olivier Gravrand, Ingénieur de recherche, CEA/LETI, Grenoble

Stefano Barbieri, Directeur de recherche, CNRS/IEMN, Lille

François Julien, Directeur de recherche, CNRS/C2N, Palaiseau

Yvan Sortais, Professeur, IOGS, Palaiseau

Francesca Carosella, Maître de conférences, LPENS, Paris

Marie Delmasr, Recherche et développement, Irnova, Kista (Suède)

Jean-Christophe Peyrard, Ingénieur, DGA, Paris

Philippe Christol, Professeur, IES, Montpellier

Isabelle Ribet-Mohamed, Ingénieure de recherche, ONERA

Financement*

ONERA /DGA

Contact

isabelle.ribet@onera.fr

Nouvelles architectures de détecteurs infrarouge super-réseaux

Résumé

Cette thèse effectuée au sein de l'équipe DOTA de l'ONERA Palaiseau, en collaboration étroite avec l'IES de l'Université de Montpellier, porte sur l'étude et la caractérisation électro-optique de détecteurs infrarouge à super-réseaux (SR).

L'objectif était d'améliorer la compréhension du fonctionnement de l'architecture à « bariode » qui permet de réduire le courant d'obscurité du photodétecteur comparée à l'architecture classique PIN. Mes travaux se sont d'abord portés sur la viabilité de la filière pour le fonctionnement à haute température, par l'évaluation de deux critères essentiels sur un détecteur SR commercial refroidi à 80K : les pixels clignotants et leur impact sur la stabilité temporelle. L'étude montre un faible nombre de pixels clignotants et un impact limité.

J'ai ensuite développé un banc cryogénique de caractérisation électro-optique pour des mono-éléments SR InAs/GaSb LWIR 80K et SR InAs/InAsSb MWIR 150K. L'étude des mono-éléments LWIR a montré des performances encourageantes, mais l'évaluation de son rendement quantique a été rendue difficile à cause d'une gravure particulière (dite *shallow-etch*) qui nécessite de prendre en compte une surface supplémentaire due à la diffusion latérale des porteurs photogénérés. C'est pourquoi, une démarche plus fine a été mise en place pour l'étude du SR InAs/InAsSb. Cette démarche m'a ensuite permis d'extraire les longueurs de diffusion des porteurs et d'en déduire les mobilités associées. Les valeurs extraites montrent que le transport par mini-bande, caractéristique fondamentale des SR, ne se fait pas à cause de mécanismes de diffusion élastiques.

L'ensemble des résultats nous a permis d'établir une méthodologie standard d'étude et d'optimisation des bariodes SR et de confirmer la potentialité de la filière à haute température.

Mots clés

Détecteur infrarouge, super-réseaux, pixels clignotants, rendement quantique, courant d'obscurité, bariodes

Maxence Dauphin

Thèse soutenue le 2 juin à Palaiseau

ED 626 (IPP) - Institut Polytechnique de Paris - Palaiseau

Encadrement

Département Optique et techniques associées, ONERA, Palaiseau

Encadrant : Julien Jaeck, ONERA/DOTA

Directeur de thèse : Riad Haidar, ONERA/DOTA

Jury

Angela Vasanelli, Professeure, Université Paris Diderot

Yann Boucher, Maître de conférences, ENIB, Brest

Delphine Marris-Morini, Professeure, C2N, Université Paris-Saclay

Thierry Grosjean, Directeur de recherche, CNRS, FEMTO-ST Institute

Baptiste Fix, Ingénieur de recherche, ONERA

Sylvie Paolacci-Riera, Ingénieur de recherche, ONERA

Julien Jaeck, Maître de recherche, ONERA

Riad Haidar, Directeur de recherche, ONERA, École polytechnique

Financement

ONERA, DGA

Contact

julien.jaeck@onera.fr



Photodétecteurs infrarouge par absorption à deux photons

Résumé

Au cœur des problématiques liées à la température de fonctionnement des détecteurs infrarouge, ce manuscrit introduit une nouvelle jeune filière technologique : les photodétecteurs employant l'absorption à deux photons. L'objectif est de proposer une rupture visant à réaliser de la détection infrarouge à température ambiante. L'enjeu est de réduire le bruit d'obscurité par l'utilisation de matériaux à grande énergie de gap plutôt que par cryogénie. Cette évolution introduit de nouvelles problématiques, car l'efficacité du mécanisme d'absorption à deux photons est trop faible pour générer seule un photocourant détectable. De plus, elle présente le risque d'être concurrencée par d'autres mécanismes d'absorption d'énergie inférieure au gap. C'est pourquoi nous proposons l'utilisation de nanostructures afin d'y remédier : il s'agit de structures sub-longueur d'onde, capables de confiner et concentrer la lumière dans un matériau. Ainsi, l'intensité lumineuse est exaltée sur plusieurs ordres de grandeurs, introduisant par conséquent un gain sur le photocourant généré. L'objectif de cette thèse est d'établir le potentiel de cette jeune filière pour la détection infrarouge, discussion divisée en quatre sections.

Au croisement de plusieurs thématiques telles que la détection infrarouge, l'optique non linéaire, et les nanostructures, un premier chapitre d'introduction générale permet d'en concilier l'ensemble. Les problématiques liées à l'absorption à deux photons y sont présentées, amenant finalement à employer les nanostructures comme solution. Je propose une méthodologie de conception au cours du second chapitre qui permet d'optimiser une structure pour l'absorption à deux photons. Versatile et accordable, elle est ensuite mise en œuvre sur plusieurs configurations de détection. Le troisième chapitre présente les caractérisations des photodiodes réalisées. J'y détaille les difficultés expérimentales rencontrées au cours des mesures, nécessitant l'emploi d'un banc spécifique. Les résultats obtenus sur les échantillons ont amené beaucoup de discussions, inspirant la création

d'une dernière génération. Dans une dernière section, je discute d'une perspective de transition des photodiodes vers des puits quantiques. En effet, il a récemment été montré que le coefficient d'absorption à deux photons non-dégénéré gagne un voire deux ordres de grandeurs en comparaison du semiconducteur massif. Ce gain uniquement lié au matériau, et compatible avec les nanostructures, a motivé l'écriture d'un chapitre théorique discutant des enjeux d'une telle transition.

Mots clés

Nanophotonique, optoélectronique, infrarouge, nanostructure, absorption à deux photons

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022IPPAX030>

Denis Langevin

Thèse soutenue le 21 octobre 2022 à Palaiseau

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

Encadrement

Département Optique et techniques associées, ONERA, Palaiseau

Encadrant : Julien Jaeck, ONERA/DOTA

Directeur de thèse : Riad Haidar, ONERA/DOTA

Co-directeur de thèse : Patrick Bouchon, ONERA/DOTA

Jury

Agnès Maître, Professeure, INSP, Paris

Antoine Moreau, Maître de conférences, Institut Pascal, Clermont-Ferrand

Rémi Carminati, Professeur, IOGS

Femius Koenderink, Professor, AMOLF, Amsterdam

Rose-Marie Sauvage, Innovation manager, DGA/AID

Patrick Bouchon, Directeur de recherche, ONERA

Riad Haïdar, Directeur de recherche, ONERA

Julien Jaeck, Maître de recherche, ONERA

Financement

ONERA, DGA

Contact

julien.jaeck@onera.fr

Ingénierie du désordre pour les métasurfaces absorbantes dans l'infrarouge

Résumé

Les résonateurs Métal-Isolant-Métal (MIM) sont le siège de résonances Fabry-Perot dont la longueur d'onde dépend de leurs dimensions géométriques, permettant un contrôle des propriétés spectrales de la lumière réfléchie ou transmise. L'ingénierie du désordre corrélé pour les ensembles de résonateurs se sert des positions des résonateurs comme degrés de liberté permettant de contrôler les propriétés spatiales de la lumière. Cette thèse se place à l'intersection de ces deux domaines, par l'étude de l'incidence du désordre sur la réponse de métasurfaces constituées de résonateurs MIM.

Je montre que les dimensions des résonateurs, mais aussi la densité de leur distribution et le type de désordre utilisé entraînent une répartition différente de l'énergie entre réflexion, absorption, diffusion et diffraction. Pour ce faire, les outils numériques et les méthodes expérimentales nécessaires à l'étude de structures désordonnées sont présentées. D'une part, une méthode analytique de simulation rapide de la réponse optique de réseaux de MIM sillons désordonnés a été implémentée. Grâce à elle, je teste la robustesse au désordre de l'effet de transmission optique extraordinaire, et montre la possibilité d'ingénierie de spectres complexes en combinant des réseaux périodiques et des réseaux désordonnés.

D'autre part, ce manuscrit présente un protocole expérimental de conception et de caractérisation de grands ensembles de résonateurs 2D désordonnés permettant la mesure des sections efficaces (d'absorption, de diffusion et d'extinction) des résonateurs uniques. Cette méthode permet de s'affranchir des techniques de mesure très précises et sensibles habituellement nécessaires pour accéder aux comportements de résonateurs uniques. La compréhension des interactions entre contrôle spectral et contrôle spatial de la lumière par une métasurface métallique désordonnée peut être exploitée pour dimensionner des structures aux fonctions optiques précises, par exemple pour optimiser l'intensité diffusée ou absorbée à des gammes de longueurs d'onde d'intérêts.

Mots clés

Métasurfaces, infrarouge, désordre

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/s252205>

Clément Verlhac

Thèse soutenue le 09 septembre 2022 à Palaiseau

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

Encadrement

Département Optique et techniques associée, ONERA, Palaiseau

Encadrant : Patrick Bouchon, ONERA/DOTA

Directeur de thèse : Jérôme Primot, ONERA/DOTA

Co-directeur de thèse : Patrick Bouchon, ONERA/DOTA

Jury

Pierre-Olivier Chapuis, CETHIL, CNRS

Anne-Laure Fehremhach, Institut Fresnel, Université de Provence

Henri Benisty, IOGS, Université Paris-Saclay

Inès Massiot, LAAS-CNRS, Université de Toulouse

Yannick de Wilde, Institut Langevin, CNRS-ESPCI, Université PSL

Patrick Bouchon, ONERA, Université Paris-Saclay

Jérôme Primot, ONERA, Université Paris-Saclay

Financement

Ministère de la l'Enseignement supérieur et de la recherche

Contact

patrick.bouchon@onera.fr

Couplages électromagnétiques et thermiques pour la nanophotonique haute température

Résumé

Absorption et émission thermique de lumière sont deux phénomènes liés. Un corps absorbant fortement la chaleur transmise par la lumière va également rayonner un flux thermique sous forme lumineuse lorsqu'il est lui-même chaud. En structurant une surface à petite échelle, il est possible de contrôler la manière dont elle absorbe la lumière ainsi que les caractéristiques du rayonnement thermique qu'elle émet. Cette maîtrise bilatérale du couplage entre chaleur et lumière offre des perspectives dans de nombreux champs applicatifs tels que l'imagerie non destructive ou la réalisation de sources lumineuses efficaces; applications qui demandent souvent des températures de fonctionnement élevées.

Concevoir et comprendre le fonctionnement à haute température de tels systèmes nanophotoniques nécessite ainsi une compréhension fine des couplages entre lumière et chaleur au sein des résonateurs qui les composent. Ce besoin fait alors apparaître trois enjeux qui constituent les principaux axes de recherche explorés au cours de ma thèse.

Au cours de cette soutenance, j'introduirai la démarche que j'ai mise en place pour mesurer l'évolution en température des propriétés des matériaux pressentis pour ces applications. Je présenterai également la caractérisation et la modélisation du comportement couplé électromagnétique-thermique des systèmes complets. Enfin j'aborderai les études menées sur les mécanismes de couplages à l'œuvre dans les résonateurs dans l'optique d'optimiser ces comportements électromagnétique-thermiques.

Mots clés

Électromagnétisme, thermique, nanophotonique, émissivité, matériaux, couplages

Lucas Paulien

Thèse soutenue le 2 mai 2022 à Toulouse

ED 579 (SMéMaG) - Sciences mécaniques et énergétiques, matériaux et géosciences - Paris-Saclay

Encadrement

Département Optique et techniques associées, ONERA, Toulouse

Encadrant : Romain Ceolato, ONERA/DOTA

Directeur de thèse : Anouar Soufiani, Université Paris-Saclay

Co-directeur de thèse : Romain Ceolato, ONERA/DOTA

Co-encadrant : Laurent Soucasse, CentraleSupélec

Jury

Anouar Soufiani, Directeur de recherche, Université Paris-Saclay

Romain Ceolato, Ingénieur-chercheur, ONERA

Franck Enguehard, Professeur, Université de Poitiers

Laurent Soucasse, Professeur associé, Université Paris-Saclay

Alexis Coppalle, Professeur, Université de Rouen

Michael Kahnert, Adjunct professor, Chalmers University

Pascale Desgroux, Directrice de recherche CNRS, Université de Lille

Séverine Barbosa, Maîtresse de conférences, Université Aix-Marseille

Rodolphe Vaillon, Directeur de recherche CNRS, Université Montpellier 2

Financement

ONERA, ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche

Contact

romain.ceolato@onera.fr

Modélisation de signaux lidar résolus en polarisation pour la caractérisation d'agrégats fractals de suie avec prise en compte de la diffusion multiple

Résumé

Afin d'évaluer l'impact des particules de suie sur le climat et sur la qualité de l'air, leurs émissions doivent être surveillées. Les instruments lidar peuvent permettre d'apporter les mesures nécessaires. Néanmoins, l'analyse de signaux lidar requiert la connaissance des propriétés radiatives des particules et cette analyse peut être sujette à des erreurs liées à la diffusion multiple. De plus, ces propriétés radiatives dépendent des caractéristiques microphysiques des particules, telles que leurs formes ou leurs tailles.

L'objectif de cette thèse est de simuler des signaux lidar résolu en polarisation, acquis sur des particules de suie et prenant en compte la contribution de la diffusion multiple. Cela nécessite la modélisation de la morphologie et des propriétés radiatives des particules de suies, ainsi que le développement d'une méthode permettant de simuler les signaux lidar. Ainsi, plusieurs modèles morphologiques sont utilisés afin de simuler des particules de suie. La méthode de Superposition de T-Matrice et la théorie de Rayleigh-Debye-Gans pour les agrégats fractals sont ensuite utilisées afin de modéliser les propriétés radiatives de ces particules. L'impact des paramètres morphologiques sur ces propriétés radiatives est étudié. Une évaluation expérimentale du ratio de dépolarisation des particules de suie dans l'air ambiant est également présentée. Cela permet d'identifier quels paramètres morphologiques et indices optiques permettent de reproduire les résultats expérimentaux. De plus, les limites des méthodes numériques utilisées peuvent également être identifiées. Un modèle numérique de simulation de signaux lidar résolu en polarisation est développé en utilisant la méthode Monte-Carlo. Des simulations numériques sont entreprises afin d'évaluer l'impact de la diffusion multiple sur des signaux lidar résolus en polarisation acquis sur des particules de suie. Ce modèle numérique est également utilisé afin d'analyser un signal expérimental. Ceci permet d'évaluer la contribution de la diffusion multiple dans ce signal.

Mots clés

Lidar, suie, modélisation, polarisation, diffusion multiple

Pierre Delullier

Thèse soutenue le 2 décembre 2022 à Palaiseau

ED 571 (2MIB) - Sciences chimiques : molécules, matériaux, instrumentation et biosystèmes, UPS

Encadrement

Département Optique et techniques associées, ONERA, Palaiseau

Encadrant : Florence De La Barrière, ONERA/DOTA

Directeur de thèse : Matthieu Lancry, ICMMO, UPS

Co-directeur de thèse : Guillaume Druart, ONERA/DOTA

Jury

Kévin Heggarty, Professeur, IMT-Atlantique

Yannick Petit, Maître de conférences, ICMCB, Université de Bordeaux

Xianghua Zhang, ISCR, Directeur de recherche, Université de Rennes 1

Gaëlle Lucas-Leclin, Maîtresse de conférences, IOGS, Université Paris-Saclay

Sylvie Paolacci-Riera, Responsable innovation, AID, DGA

Matthieu Lancry, Professeur, ICMMO, Université Paris-Saclay

Guillaume Druart, Directeur de recherche, ONERA, Université Paris-Saclay

Florence De La Barrière, ingénieure-chercheuse, ONERA, Université Paris-Saclay

Financement

ONERA, DGA

Contact

florence.de_la_barriere@onera.fr

Étude et texturation 3D de lames optiques par laser femtoseconde pour des applications infrarouges

Résumé

De nombreuses recherches sont aujourd'hui menées afin de miniaturiser et simplifier les caméras infrarouges dans le but de les intégrer à de petits porteurs tels que des micro drones. L'objectif est de fonctionnaliser des composants habituellement inutilisables en conception optique tels que les filtres ainsi que de mieux corriger les aberrations optiques. Dans ce cadre, la texturation par laser femtoseconde permet de créer des gradients d'indice de réfraction à l'intérieur de la matière.

La flexibilité de la technique pourrait permettre la fabrication de composants optiques non-conventionnels.

Dans ce contexte, nous avons étudié la méthode de la texturation par laser femtoseconde afin de créer des lentilles à gradient d'indice dans quatre matériaux spécifiques et dans le but de simplifier des caméras infrarouges. Trois types de lentilles à gradient d'indice ont été modélisées : une lentille boule à gradient d'indice sphérique permettant de corriger les aberrations optiques, une lentille plate à gradient d'indice de petit diamètre permettant de simplifier une caméra dans le LWIR et une lentille de Fresnel plate à gradient d'indice permettant de simplifier une caméra cryogénique dans le MWIR. Les lentilles plates ont ensuite été fabriquées et partiellement caractérisées. Cette étude a ainsi permis de montrer la capacité de la texturation par laser femtoseconde à fabriquer des optiques à gradient d'indice.

Mots clés

Gradient d'indice, texturation laser, imagerie infrarouge

Louis Duveau

Thèse soutenue le 4 juillet 2022 à Saint-Étienne

ED 488 (SIS) - Sciences, Ingénierie, Santé - Saint-Étienne

Encadrement

Département Optique et techniques associées, ONERA, Palaiseau

Encadrant : Guillaume Druart, ONERA/DOTA

Directeur de thèse: Thierry Lepine, Institut d'Optique

Co-directeur de thèse: Guillaume Druart, ONERA/DOTA

Jury

Yvan Sortais Professeur, Institut Optique

Vincent Nourrit, Maître de conférence, IMT

Sylvie Paolacci-Riera, Responsable innovation, Agence de l'innovation Défense

Marc Ferrari, Astronome, LAM

Christophe Buisset, Ingénieur de recherche, ESA

Thierry Lépine, Maître de conférences, Institut Optique

Guillaume Druart, Directeur de recherche, ONERA

Financement

ONERA /DGA

Contact

Guillaume.Druart@onera.fr



Apport de l'optique *freeform* pour l'imagerie multi bandes spectrales compacte

Résumé

Les récents développements dans la recherche aérospatiale visent à réduire le volume alloué aux instruments optiques ainsi que leur masse. Cette étude se focalise sur l'utilisation de surfaces *freeform*, qui sont des surfaces sans symétrie de révolution, pour concevoir des imageurs multi bandes spectrales basées sur des systèmes optiques catoptriques compacts. Les concepts réflectifs ont l'avantage d'être légers, achromatiques et potentiellement peu coûteux en raison de l'utilisation de matériaux moins chers. Cependant ils ont habituellement un champ de vue et une ouverture limités.

L'utilisation de surfaces *freeform* permet d'augmenter ces paramètres d'ouverture et de champ de vue pour des systèmes décentrés avec l'inconvénient d'être plus complexes à calculer, fabriquer et aligner. Une méthode pour concevoir ces systèmes tout en prenant en compte ces difficultés à été développée et utilisée avec succès pour générer un système classique à trois miroirs pour de l'imagerie nanosatellitaire. Enfin, la même méthode à été utilisée pour optimiser un concept breveté basé sur une configuration innovante appelée alpha-Z compatible avec les spécifications de systèmes optiques pour boules optroniques gyrostabilisées. Ce concept à été fabriqué et testé à la fois dans le spectre visible et infrarouge thermique. Ces résultats démontrent la faisabilité de systèmes catoptriques à large ouverture et large champ de vue grâce à l'utilisation de surfaces *freeform*.

Mots clés

Infrarouge, multispectral, *freeform*, nanosatellite, optronique

Georges Giakoumakis

Thèse soutenue le 17 juin 2022 à Gif-sur-Yvette

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

Encadrement

Département Optique et techniques associées, ONERA, Palaiseau

Encadrant : Adrien Stolidi, CEA

Directeur de thèse: Jérôme Primot, ONERA/DOTA

Jury

Valérie Kaftandjian, Professeure, Université de Lyon, INSA Lyon

Pascal Picart Professeur, Le Mans Université, LAUM

Franck Delmotte, Professeur, Université Paris-Saclay, IOGS

Amélie Ferré, Maître de conférence, Aix Marseille Université, LP3

Adrien Stolidi, Ingénieur-chercheur, Université Paris Saclay, CEA, LIST

Jérôme Primot, Directeur de recherche, Université Paris-Saclay, ONERA

Financement

ONERA, CEA

Contact

Jerome.Primot@onera.fr

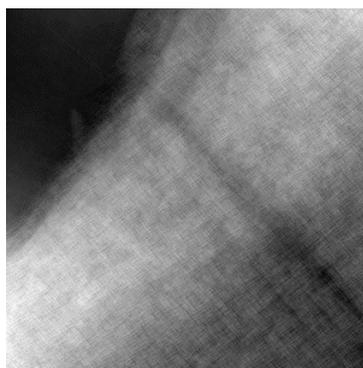
Imagerie de phase en rayons X haute résolution pour le contrôle non-destructif de matériaux composites

Résumé

L'imagerie par rayons X est fortement développée dans de nombreux domaines de notre société, notamment dans les milieux industriels, médicaux ou sécuritaires. Classiquement son utilisation repose sur la mesure d'atténuation des rayons X, bien adaptée pour imager des matériaux denses (métaux, os, armes...) car fortement atténuants et amenant du contraste à l'image. Toutefois, il existe un large panel de matériaux d'intérêt peu atténuants (composites, fibres carbonées, tissus mous, explosifs...) et difficiles à imager par les techniques classiques.

Les rayons X, en plus de leur atténuation, subissent un déphasage qui est d'autant plus important que le matériau traversé est peu atténuant. La mesure de ce déphasage, notamment à travers l'ajout d'un réseau de diffraction sur le trajet du faisceau, permet de remonter à la géométrie de l'objet observé. L'imagerie associée à cette mesure est appelée imagerie de phase par interférométrie à décalage multi-latéral (IDML). Par ailleurs, la mesure de phase n'est pas directe à la mesure et nécessite des algorithmes spécifiques d'extraction pouvant amener des erreurs d'estimation.

Mon travail de thèse a ainsi consisté à corriger ces erreurs d'estimation à travers le développement de plusieurs méthodes de traitement d'image. La première méthode s'applique aux erreurs liées au sous-échantillonnage du signal par l'IDML ; la deuxième méthode cherche à minimiser le bruit de mesure par l'exploitation de la redondance des données accessibles. Ces deux approches complémentaires ont permis d'améliorer significativement la qualité des images de phase produites, avec une application sur des matériaux composites.



Mots clés

Instrumentation par rayons X, contrôle non-destructif, traitement image, interférométrie, démodulation du signal

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022UPASP053>

Jeanne Bernard

Thèse soutenue le 01 décembre à Paris

ED 432 (SMI) - Sciences des métiers de l'ingénieur - Hesam Université

Encadrement

Département Physique, instrumentation, environnement, espace, ONERA, Palaiseau

Encadrant : Yannick Bidel, ONERA/DPHY

Directeur de thèse: Malo Cadoret, CNAM

Jury

Baptiste Battelier, Ingénieur de recherche, Institut d'Optique d'Aquitaine

Mathilde Hugbart, Directrice de recherche, Institut de Physique de Nice

Pierre Desbiolles, Inspecteur général de l'éducation, du sport et de la recherche

Marc Himbert, Professeur des universités, CNAM

Franck Pereira Dos Santos, Directeur de recherche, SYRTE

Hélène Perrin, Directrice de recherche, LPL

Malo Cadoret, Maître de conférences, CNAM

Yannick Bidel, Directeur de recherche, DPHY/SML, ONERA

Financement

ENS

Lauréate du prix des doctorants ONERA Physique 2022

Best Student Paper à la conférence IEEE Inertial, Avignon

Contact yannick.bidel@onera.fr

Développement d'une centrale inertielle hybride à atomes froids

Résumé

Une centrale inertielle hybride à atomes froids permettrait d'améliorer les performances des centrales inertielles embarquées aujourd'hui, composées de capteurs inertiels classiques souffrant d'une dérive de biais induisant une erreur de positionnement après quelques heures de navigation.

Les objectifs de cette thèse sont d'adresser deux points bloquants qui empêchent aujourd'hui de construire une centrale inertielle atomique embarquable : la mesure d'accélération horizontale par interférométrie atomique, et la plage de fonctionnement faible en rotation des capteurs atomiques. Pour cela, nous utilisons un dispositif expérimental de laboratoire qui génère un nuage d'atomes froids de ^{87}Rb , afin d'effectuer des séquences d'interférométrie atomique avec des transitions Raman stimulées. Les faisceaux Raman sont rétro-réfléchis par un miroir sur lequel est fixé un accéléromètre classique destiné à être hybridé avec le capteur atomique. Pour s'affranchir du problème de dégénérescence des transitions Raman $\pm k_{\text{eff}}$ en régime de faible vitesse, nous avons développé deux méthodes de mesure de l'accélération horizontale par interférométrie atomique. La première méthode consiste à appliquer une rampe de fréquence sur les faisceaux Raman horizontaux, pour retrouver l'analogie d'un effet Doppler dans la direction de mesure horizontale. Grâce à cette méthode, nous avons construit un capteur atomique de type Mach-Zehnder, hybridé avec un accéléromètre classique, dont la sensibilité court terme vaut $3.2 \times 10^{-5} \text{ m.s}^{-2}/\sqrt{\text{Hz}}$. La seconde technique repose sur une transition Raman entre les états hyperfins $|F=1, m_F=+1\rangle$ et $|F=2, m_F=+1\rangle$ avec des faisceaux Raman polarisés $\sigma_+ - \sigma_-$. Grâce aux règles de sélection en polarisation, cette configuration n'autorise qu'une seule transition contra-propageante, malgré l'absence d'effet Doppler. En implémentant cette méthode, nous avons construit un capteur hybridé ayant une sensibilité court terme de $22 \times 10^{-5} \text{ m.s}^{-2}/\sqrt{\text{Hz}}$. Les effets systématiques associés à chacune des deux méthodes ont été étudiés théoriquement et expérimentalement. Le dernier chapitre, de nature théorique, présente une nouvelle méthode interférométrique permettant d'étendre la plage de fonctionnement en rotation des capteurs inertiels atomiques. Il est jusqu'à ce jour tenu au secret par la Direction Générale de l'Armement.

Mots clés

Interférométrie atomique, capteur inertielle, navigation inertielle, atomes froids, ondes de matière, transitions Raman stimulées, accéléromètre horizontal, hybridation

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022HESAC012>

Quentin Gibaru

Thèse soutenue le 22 novembre 2022 à Toulouse

ED 323 (GEET) - Génie électrique, électronique, télécommunications - Toulouse

Encadrement

Département Physique, instrumentation, espace, environnement, ONERA

Encadrant : Mélanie Raine, CTD, CEA

Directeur de thèse : Christophe Inguibert, ONERA/DPHY

Jury

Laurent Garrigue, Directeur de Recherche CNRS, Université de Toulouse

Isabel Montero, Profesora de Investigación, Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid

Mauro Taborelli, Directeur de recherche CERN

Giovanni Santin, Chercheur, ESA

Denis Payan, Expert, CNES

Mélanie Raine, Ingénieure-chercheuse, Laboratoire Circuits et Technologies Durcis (CTD), CEA

Christophe Inguibert, Ingénieur-chercheur, ONERA Toulouse

Financement

CNES, CEA

Contact

christophe.inguibert@onera.fr



Université
de Toulouse



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

Résumé

Dans l'espace, les satellites sont soumis à des flux continus de particules de basses et hautes énergies (protons, électrons, ions principalement) qui peuvent pénétrer dans les composants électroniques et les endommager. Les particules de hautes énergies impactant l'extérieur du satellite vont notamment déclencher une cascade d'électrons de plus basse énergie qui va à son tour atteindre l'intérieur des composants électroniques et les irradier. La prise en compte de ces effets nécessite l'utilisation de codes de transport des radiations Monte-Carlo, pouvant modéliser le transport des électrons jusqu'à quelques eVs.

Dans ce contexte, le CNES, l'ONERA et le CEA ont développé des outils de simulation Monte-Carlo dédiés au transport des électrons de basse énergie et à la modélisation de l'émission secondaire (SEY) : le code OSMOSEE (ONERA/CNES), et le module MicroElec (CEA) du logiciel GEANT4, qui est utilisé dans cette thèse. Le principal objectif de la thèse est d'étendre MicroElec à d'autres matériaux, et plus particulièrement aux matériaux diélectriques pour lesquels de nouveaux phénomènes interviennent. En effet, un champ électrique est généré à l'intérieur du matériau lorsque des trous sont créés par les interactions inélastiques et que des électrons sont piégés, formant ainsi une distribution de charges. Celle-ci génère un potentiel à la surface du matériau, qui va modifier l'énergie des électrons incidents dans le vide et la probabilité d'échappement des électrons de faible énergie, et donc le SEY pour une énergie donnée. Cependant les trous et électrons piégés dérivent à l'intérieur du matériau selon le champ électrique, ce qui a pour effet de modifier la distribution de charges. Cette distribution est également modifiée lorsque de nouveaux électrons et trous sont implantés au cours de l'irradiation.

Au cours de la thèse, nous avons développé un modèle Monte-Carlo incluant ces effets, et réalisé des mesures expérimentales sur des échantillons de couches minces de SiO₂. Cela nous a permis d'expliquer l'évolution temporelle du SEY en fonction des effets de charges internes, jusque-là mal comprise. Nous avons également pu mettre en évidence et expliquer un artefact expérimental survenant lors des mesures sur des matériaux diélectriques, ainsi qu'étudier l'effet de la température sur le SEY.

Loanne Monnin

Thèse soutenue le 3 mars 2022 à Toulouse

ED 323 (GEET) - Génie électrique, électronique, télécommunications - Toulouse

Encadrement

Département Physique, instrumentation, environnement, espace, ONERA, Toulouse

Encadrant : Sébastien Hess, ONERA/DPHY

Directeur de thèse : Sébastien Hess, ONERA/DPHY

Jury

Pascal André, Professeur, Laboratoire de Physique de Clermont Ferrand

Tatiana Itina, Directeur de recherche CNRS, Université de Saint-Etienne

Carsten Baur, Solar Cell, Engineer, ESA, Noordwijk

Anne Bourdon, Directeur de recherche CNRS, Laboratoire de Physique des Plasmas, École polytechnique

Guilhem Chanteperdrix, Team Leader, Airbus Defence and Space, Toulouse

Laurent Garrigues, Directeur de Recherche CNRS, Laplace, Toulouse

Sébastien Hess, Ingénieur-chercheur, ONERA

Denis Payan, Expert, CNES

Jean-François Roussel, Directeur de Recherche, ONERA

Financement

ONERA, CNES

Contact

sebastien.hess@onera.fr



Université
de Toulouse



Étude de l'expansion d'un plasma de décharge à la surface des panneaux solaires de satellites

Résumé

Les décharges électrostatiques (ESD) sont dues aux interactions entre le panneau solaire et l'environnement spatial. Majoritairement bénignes pour le satellite, elles peuvent cependant mener à la création d'un arc secondaire qui court-circuite une partie du générateur solaire. L'arc secondaire se déclenche dans un plasma de décharge appelé *flash-over* créé par l'ESD. En effet, le flash-over constitue le milieu conducteur idéal à l'apparition d'un arc. Cette thèse présente un modèle physique de la génération et de la propagation du *flash-over*. Ce modèle doit permettre d'identifier les situations propices au passage à l'arc. L'étude de la propagation du *flash-over* se fait en deux parties.

Dans un premier temps, un modèle de spot cathodique est construit. Il s'agit du point d'émission du plasma, le modèle fournit les caractéristiques physiques du *flash-over* (température, densité, etc.). Il est adapté pour correspondre parfaitement à l'étude du *flash-over*, notamment en ce qui concerne la géométrie du système et l'influence de l'environnement spatial.

La deuxième partie de l'étude porte sur le couplage entre le modèle de spot et un modèle d'expansion d'un plasma dans le vide. Le modèle ainsi obtenu prédit l'évolution du flash-over à la surface d'un panneau solaire. Il fournit notamment une durée maximale de la décharge et la température du plasma. Les résultats obtenus sont comparés avec des mesures expérimentales effectuées sur des panneaux entiers. Le modèle présenté dans ce manuscrit est un socle robuste, validé expérimentalement, qui permet d'expliquer le phénomène de flash-over et sa propagation à la surface du panneau solaire. Des premières pistes d'améliorations ont été étudiées et sont présentées afin de rendre compte des possibilités offertes par le modèle.

Mots clés

Plasma, décharges électrostatiques, *flash-over*, panneaux solaires

DOMAINE PHYSIQUE

**Thématique Effets de l'environnement radiatif aérospatial
sur les systèmes embarqués**

Gaëtan Cussac

Thèse soutenue le 14 décembre 2022 à Toulouse

ED 323 (GEET) - Génie électrique, électronique, télécommunications - Toulouse

Encadrement

Département Physique, instrumentation, environnement, ONERA, Toulouse

Encadrant : Laurent Artola, ONERA/DPHY

Directeur de thèse : Laurent Artola, ONERA/DPHY

Jury

Karine Coulié, IM2NP, Université Aix Marseille

Philippe Paillet, CEA-DAM

Patrick Austin, LAAS

Frédéric Saigné, IES, Université de Montpellier

Olivier Gilard, CNES

Laurent Artola, ONERA

Financement

ONERA, Lynred

Contact

laurent.artola@onera.fr



Étude et modélisation des mécanismes de dégradation aux températures cryogéniques des propriétés électriques des circuits de lecture de détecteur infrarouge

Résumé

L'essor des télécommunications ou l'étude du changement climatique implique un besoin croissant de systèmes électroniques embarqués sur satellite. L'entreprise Lynred développe des imageurs infrarouges, dont une branche est dédiée aux applications spatiales d'observation terrestre. Pour réduire le rapport signal sur bruit, et ainsi atteindre un haut niveau de performance, les imageurs infrarouges se doivent d'être refroidis aux températures cryogéniques (Par ailleurs, les imageurs infrarouges se basent sur l'utilisation de transistors de type *Complementary Metal Oxide Semiconductor*).

Les transistors CMOS sont utilisés à l'interface entre le circuit de détection et le circuit de lecture. Ainsi, ils fonctionnent aussi aux températures cryogéniques. En outre, l'environnement spatial est un milieu radiatif naturel particulièrement actif, marqué par la présence de particules énergétiques d'origine cosmique ou solaire. Ces radiations perturbent les systèmes électroniques embarqués, jusqu'à leur défaillance totale. Les radiations se traduisent par une accumulation de charges dans les oxydes. Ce sont les effets de la dose ionisante, ou TID pour *Total Ionizing Dose*, sur lesquels mes travaux se penchent. Du fait des enjeux commerciaux critiques d'un satellite, ainsi que de l'aspect cumulatif et donc prévisible des dégradations, il est primordial pour Lynred de s'assurer du fonctionnement correct des imageurs embarqués durant toute la durée de vie du satellite. Les températures cryogéniques auxquelles fonctionnent les transistors influent sur la performance de l'électronique d'une part. D'autre part, les mécanismes physiques conduisant aux dégradations des performances électroniques sont modifiés par les températures cryogéniques.

La problématique qui en découle est l'identification et la modélisation des mécanismes physiques aboutissant aux dégradations électriques des transistors CMOS fonctionnant aux températures cryogéniques sous rayonnement ionisant. Pour y répondre, des campagnes d'irradiation ont été menées à l'ONERA à des températures de 105, 150 et 300 K. Afin d'analyser les caractéristiques électriques obtenues, un inventaire des méthodes d'extraction des paramètres électriques est dressé. Il a été démontré que celles classiquement utilisées échouent dans l'obtention de métriques électriques à température cryogénique, et qu'il était nécessaire de les adapter à notre problème. Grâce aux méthodes d'extraction valides, nous avons démontré et expliqué pourquoi les dégradations électriques étaient plus prononcées pour les températures cryogéniques. Ensuite, un régime de dégradation spécifique aux températures cryogéniques a été mis en évidence expérimentalement. La compréhension de son origine a été confirmée par des simulations performées sur l'outil numérique Sentaurus TCAD. Les bases d'un modèle analytique physique simulant ce régime spécifique ont été posées pour finir.

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022ESAE0063>

Vincent Andraud

Thèse soutenue le 9 mars 2022 à Gif-sur-Yvette

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

Encadrement

Département Physique, instrumentation, environnement, espace, ONERA, Palaiseau

Encadrant : Rafael Sousa Martins, ONERA/DPHY

Directeur de thèse : Philippe Testé, CentraleSupélec

Jury

Dunpin Hong, Professeur, GREMI, Université d'Orléans

Laurent Pecastaing, Professeur, SIAME, Université de Pau et des Pays de l'Adour

Philippe Delmote, Ingénieur de recherche, Institut franco-allemand Saint Louis

Philippe Dessante, Professeur, GeePs, CentraleSupélec

Audrey Bigand, Ingénieur expert foudre, Airbus

Laurent Chemartin, Ingénieur de recherche, SuperGrid Institute, Landfried

Romaric Enseignant, Chercheur, GeePs, CentraleSupélec

Rafael Sousa Martins, Ingénieur de recherche, ONERA

Philippe Testé, Chargé de recherche, GeePs, CNRS

Financement

ONERA

Contact

rafael.sousa_martins@onera.fr

Étude expérimentale du phénomène de balayage de l'arc électrique lors du foudroiement d'un aéronef

Résumé

Le foudroiement des aéronefs est un phénomène imprévisible et inévitable. Le retour d'expérience montre que la majorité des foudroiements se produit lors des phases de décollage et d'atterrissage lorsque l'aéronef vole à une vitesse avoisinant 100 m/s et une altitude de 1500 m. L'éclair étant fixe et l'aéronef se déplaçant, le point d'attachement de l'éclair se déplace sur la surface de l'avion. Ce phénomène, appelé balayage, est encore mal compris et a fait l'objet de peu d'études expérimentales jusqu'ici.

L'objectif de cette thèse est de construire une expérience en laboratoire permettant d'étudier le phénomène de balayage pour des vitesses représentatives d'un atterrissage ou décollage. Dans une première étape, un générateur électrique haute puissance de type Buck capable de reproduire des arcs électriques respectant la norme de foudre aéronautique est développé et caractérisé. Des arcs de 1,5 m de long alimentés par un courant allant de 200 à 600 A pendant 100 ms sont produits. Dans une seconde étape, un lanceur électromagnétique de type *Railgun* permettant de propulser des plaques aéronautiques à des vitesses de plusieurs dizaines de m/s est développé. Ce lanceur est composé d'un banc de super-condensateurs produisant un courant maximal de 25 kA pendant 50 ms dans les rails. Les forces de Laplace accélèrent le projectile en 2 m pour lui faire atteindre la vitesse souhaitée. Enfin, ces deux systèmes sont couplés pour mener une étude expérimentale sur le phénomène de balayage.

Les mesures électriques et les diagnostics optiques nous permettent de remonter aux grandeurs électriques, hydrodynamiques et thermiques de la colonne d'arc en mouvement ainsi que de caractériser le déplacement du point d'impact sur le matériau aéronautique. La même étude est réalisée avec une soufflerie sur un échantillon fixe pour analyser l'impact sur le balayage du dispositif expérimental : mise en mouvement de l'arc (soufflerie) ou de l'échantillon (*Railgun*).

Mots clés

Arc électrique, foudre, générateur haute puissance, *railgun*, diagnostics électriques et optiques.

Federico Boni

Thèse soutenue le 24 novembre 2022 à Palaiseau

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

Encadrement

Département Physique, instrumentation, environnement, ONERA, Palaiseau

Encadrant : Julien Jarrige, ONERA/DPHY

Directeur de thèse : Tiberiu Minea, LPGP, UPS

Co-encadrant de thèse : Victor Désangles, ONERA/DPHY

Jury

Ralf Peter Brinkmann, Prof. Dr., Ruhr-Universität Bochum

Sedina Tsikata, Chargée de recherche, CNRS-ICARE, Université d'Orléans

Jean-Paul Booth, Directeur de recherche, CNRS-LPP, IPP

Gabi-Daniel Stancu, Professeur des universités, CentraleSupélec, Université Paris-Saclay

Trevor Lafleur, Principal Engineer, ThrustMe, Australie

Tiberiu Minea, Professeur des universités, LPGP, UPS

Julien Jarrige, Ingénieur de recherche, ONERA

Victor Désangles, Ingénieur de recherche, ONERA

Financement

ONERA, Lynred

Contact

julien.jarrige@onera.fr

Développement d'un diagnostic plasma micro-onde appliqué aux systèmes de propulsion électrique

Résumé

Dans le contexte du *New Space*, un nombre croissant de petits satellites embarque des systèmes de propulsion électrique miniaturisés. Ces propulseurs permettent une réduction de la masse au lancement, une augmentation de l'impulsion totale des missions et un positionnement précis des satellites. Cependant, certaines technologies sont relativement nouvelles et des études sont nécessaires. La première partie de ce travail consiste à développer une sonde résonante micro-onde de type *curling probe*, un diagnostic permettant la mesure de la densité électronique dans les plasmas magnétisés à basse pression. Les caractéristiques de cette sonde la rendent pertinente pour l'étude des propulseurs électriques. La sonde CP est étudiée à l'aide de simulations numériques et de mesures expérimentales. La fréquence de résonance de la sonde est exprimée en fonction de ses paramètres géométriques. Cette relation permet de résoudre la question de la nature du résonateur qui restait ouverte dans la littérature. Le développement d'une méthode de calibration absolue, utilisant des étalons solides de permittivité électrique connue, permet de calculer précisément la valeur de la densité électronique d'un plasma. La fréquence de travail de la sonde détermine la précision de la mesure, la sensibilité, et la densité maximum mesurable. L'utilisation de la seconde harmonique permet d'effectuer des mesures sur une large gamme de densité, tout en gardant une très bonne précision aux faibles valeurs. Une méthode de correction prenant en compte les effets de gaine se formant à la surface de la sonde est développée. La validité de ces méthodes de calibration et de correction des effets de gaine est évaluée expérimentalement dans le plasma produit par un propulseur à résonance cyclotronique électronique et dans une source plasma à couplage inductif. Les densités mesurées par la sonde CP sont en bon accord avec d'autres diagnostics bien connus. La seconde partie propose la caractérisation d'un propulseur ECR à l'aide de la sonde CP ainsi que d'autres diagnostics. La mesure directe des poussées permet d'étudier les mécanismes de production de poussée. La poussée magnétique représente la contribution plus importante à la poussée totale quand l'efficacité du propulseur est élevée. La majeure partie de la poussée magnétique est produite par le volume du plasma dans la source du propulseur. Une combinaison de différents diagnostics permet d'estimer l'anisotropie de la température des électrons. Dans la source du propulseur, la composante perpendiculaire de la température des électrons est jusqu'à six fois supérieure à la composante parallèle. Le long de l'axe de symétrie du propulseur, le profil de la densité électronique peut être approché par un modèle isotherme, tandis que la densité décroît plus vite en s'éloignant de l'axe. Le refroidissement observé des électrons dans le panache peut être décrit par une expansion polytropique. Enfin, une méthode permettant des mesures résolues temporellement avec la sonde CP est développée.

Mots clés

Diagnostic plasma, sonde résonante micro-onde, densité électronique, propulseur plasma ECR, tuyère magnétique

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022UPASP131>

Fabrice Paillous

Thèse soutenue le 29 mars 2022 à Gif-sur-Yvette

ED 579 (SMéMaG) - Sciences mécaniques et énergétiques, matériaux et géosciences - Paris-Saclay

Encadrement

Département Physique, instrumentation, environnement, ONERA, Palaiseau

Encadrant : Clément Zaepffel, ONERA/DPHY

Directeur de thèse : Anouar Soufiani, CentraleSupélec

Jury

Jean-Marc Bauchire, Professeur des universités, Université d'Orléans

Philippe Teulet, Professeur des universités, Université Toulouse III

Christine Espinosa, Professeure des universités, ISAE-SUPAERO

Gabi Daniel Stancu, Professeur des universités, CentraleSupélec

Frédéric Champagnat, Ingénieur de recherche, ONERA

Anouar Soufiani, Directeur de recherche, CentraleSupélec

Clément Zaepffel, Ingénieur de recherche, ONERA

Financement

ONERA

Contact

clément.zaepffel@onera.fr

Étude de l'interaction plasma-matériau : application au foudroiement des avions

Résumé

Les dernières générations d'avions comportent une part croissante de matériaux de fibre de carbone afin de réduire le poids des appareils. Cependant, ces matériaux, moins bons conducteurs que le métal, sont plus vulnérables face au risque foudre. De ce fait, des études sont effectuées pendant la phase de conception de l'avion pour garantir qu'un appareil puisse terminer son vol en toute sécurité après un foudroiement. Le développement et l'intégration de systèmes de protection foudre des matériaux composites reposent sur des méthodes essentiellement empiriques, coûteuses en temps et en argent. Pour réduire le coût d'intégration de ces matériaux, des modèles numériques sont développés afin de prévoir l'endommagement d'un matériau composite lors d'un foudroiement. La validation de ces outils de simulations s'effectue par comparaison à des mesures expérimentales. Malheureusement, à ce jour, la littérature fournit peu de mesures expérimentales au niveau du point d'impact foudre, concernant l'interaction entre le plasma et le matériau.

L'objectif de ces travaux est la réalisation d'une base de données expérimentales dans des configurations maîtrisées, c'est-à-dire en respectant les standards de la norme de certification et en utilisant des échantillons dont la conception est parfaitement reproductible. Ces données peuvent servir à la fois à la compréhension de la phénoménologie de l'endommagement et comme référence pour la validation d'outils de simulation. Ces travaux de thèse sont découpés en trois parties. La première présente le développement des échantillons utilisés pour l'étude du foudroiement. Ces échantillons sont conçus pour être reproductibles, pour découpler les phénomènes se déroulant au point de foudroiement et pour être cohérents avec les échantillons aéronautiques. La seconde partie aborde l'étude du plasma au niveau du point d'impact foudre. Elle est effectuée par le suivi de l'extension de l'arc, des ondes de choc, des propriétés thermodynamiques locales et de la diffusion de Al^+ . La troisième partie traite de l'étude de l'endommagement du matériau. Elle est réalisée par le suivi de la contrainte thermique appliquée à des protections métalliques et par le suivi de la contrainte mécanique appliquée aux échantillons.

Mots clés

Arc électrique, foudre, plasma, diagnostic optique, méthode inverse

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022UPAST033>

Jonas Hamperl

Thèse soutenue le 14 décembre 2022 à Paris

ED 129 (SEIF) - Sciences de l'Environnement d'Ile de France—Paris-Saclay

Encadrement

Département Physique, instrumentation, environnement, espace, ONERA

Encadrant : Jean-Baptiste Dherbecourt, ONERA

Directeur de thèse : Cyrille Flamant, LATMOS

Co-encadrant : Myriam Raybaut, ONERA

Jury

Patricia Segonds, Professeure, Université Grenoble Alpes

Patrick Rairoux, Professeur, Université Lyon 1

François Ravetta, Professeur, Sorbonne Université, LATMOS

Caroline Bes, Responsable du service sondage de l'atmosphère, CNES

Jean-Baptiste Dherbecourt, Ingénieur de recherche, ONERA

Cyrille Flament, Directeur de recherche CNRS, LATMOS

Financement

ONERA

Contact

jean-baptiste.dherbecourt@onera.fr

Development of a differential absorption lidar for remote sensing of water vapor and the isotopologue HDO

Résumé

Observations of stable water isotopologues in the lower troposphere provide valuable insights into the condensation and evaporation history of water vapor. The provision of such data with sufficient vertical resolution in the lower troposphere (0–3 km) helps to improve our understanding of basic processes like cloud formation, moist convection and mixing and it offers the potential to increase the accuracy in the predictions made by atmospheric general circulation models. Despite the progress in remote sensing from the ground and from space, retrievals from passive sensors are prone to biases and lack the vertical resolution required for water cycle studies in the lower troposphere.

The aim of this thesis is to investigate an active remote sensing approach based on the differential absorption lidar (DIAL) method to measure both the water vapor main isotopologue H₂¹⁶O and the semi-heavy water isotopologue HD¹⁶O. The expected performance of such an instrument in terms of random and systematic errors was first analyzed using simulations accounting for instrumental and atmospheric parameters. The theoretical analysis showed that the spectral range around 1.98 μm is suitable for DIAL profiling of H₂¹⁶O and HD¹⁶O and that range-resolved measurements require a tunable laser in that wavelength range with pulse energies of tens of mJ. To fulfill this requirement, a parametric laser source based on a nested-cavity optical parametric oscillator and an optical parametric amplification stage using state-of-the-art high-aperture periodically poled potassium titanyl phosphate (PPKTP) crystals was implemented. It delivers widely tunable (1.95–2.30 μm) single-frequency radiation with energies up to 9 mJ for 12 ns pulses at a repetition rate of 150 Hz. Using the developed laser source, DIAL measurements of H₂¹⁶O and HD¹⁶O in the atmospheric boundary layer were conducted in direct-detection mode in the frame of several measurement campaigns. It was shown that with the developed lidar setup, isotopologue measurements with meaningful precision are limited to the first few hundred meters above the ground. To achieve measurements with range resolution and precision suitable for water cycle studies within the entire boundary layer, further instrumental improvements in terms of laser energy and reduced detection noise are necessary. For this purpose, a further step is proposed for the design and pre-development of a lidar setup capable of achieving a higher sensitivity thanks to an optimized double-stage amplification scheme for the laser transmitter that should allow to reach output energies >40 mJ

Mots clés

Stable water isotopologues, remote sensing, differential absorption lidar, parametric laser, nonlinear materials

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022SORUS477>

DOMAINE PHYSIQUE

**Thématique Micro/nano-systèmes (MEMS/NEMS)
et capteurs inertiels miniatures**

Charles Mauc

Thèse soutenue le 9 décembre 2022 à Palaiseau

ED 575 (EOBE) - Electrical, optical, bio-physics and engineering - Paris-Saclay

Encadrement

Département Physique, instrumentation, environnement, espace, ONERA, Châtillon

Encadrant : Thomas Perrier, ONERA/DPHY

Directeur de thèse : Johan Moulin, Paris-Saclay

Co-encadrant : Patrick Kayser, ONERA/DPHY

Jury

Nora Dempsey, Directrice de recherche, CNRS/Institut Néel, Grenoble

Bernard Legrand, Directeur de recherche, CNRS/LAAS, Toulouse

Gaëlle Lissorgues, Professeure des universités, ESIEE, Université Gustave Eiffel,
Noisy-Le-Grand

Frédéric Mazaleyrat, Professeur des universités, ENS Paris-Saclay, Gif-sur-Yvette

Financement

ONERA, DGA

Contact

patrick.kayser@onera.fr

université
PARIS-SACLAY

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

DGA

Développement d'un magnétomètre miniature exploitant un résonateur MEMS et une structure multicouche de matériaux magnétiques

Résumé

Les outils de navigation modernes utilisant des satellites s'avèrent très efficaces mais ne sont pas toujours . Il est alors nécessaire de pouvoir naviguer de manière autonome. Pour ce faire, des cellules inertielles compactes composées de d'accéléromètres et de gyromètres sont utilisées. Cependant, du fait des intégrations successives pour remonter à la position ainsi qu'au cap, des biais et dérives de biais de mesures sont introduits, rendant erronés les mesures sur le long terme. Pour corriger ces biais, il est possible d'associer aux accéléromètres et aux gyromètres des magnétomètres permettant l'estimation de la vitesse par la mesure du gradient local du champ magnétique terrestre ou bien permettant l'identification du nord magnétique terrestre pour recalibrer le cap périodiquement.

Les travaux réalisés dans cette thèse ont pour but de concevoir et caractériser un magnétomètre se basant sur un résonateur MEMS en quartz et une structure multicouche de matériaux magnétiques permettant d'adresser les applications de la navigation magnéto-inertielle. Dans le deuxième chapitre, grâce à des simulations numériques exploitant la méthode des éléments finis, nous avons conçu un design de magnétomètre exploitant le couple magnétostatique induit par l'interaction entre le champ d'induction magnétique extérieur et le moment magnétique unidirectionnel des matériaux magnétiques. Ce couple entraîne l'apparition de deux forces égales en norme mais opposées en sens sur deux poutres résonants en flexion. Nous avons optimisé le design de la structure pour trouver le meilleur compromis entre grande sensibilité au champ magnétique et faible sensibilité à l'accélération et à la vitesse de rotation. Dans les simulations numériques, nous avons fait l'hypothèse d'un grand moment magnétique unidirectionnel des matériaux magnétiques utilisés. Dans le troisième chapitre, nous avons élaboré une structure multicouche composée d'une alternance de matériaux ferromagnétique et antiferromagnétique qui, traitée thermiquement sous champ magnétique, acquiert une anisotropie d'échange unidirectionnelle. La valeur, la direction et la stabilité du moment magnétique de cette structure multicouche affectent directement la sensibilité du magnétomètre au champ magnétique. Dans le dernier chapitre, nous avons fabriqué le résonateur en quartz dimensionné au chapitre 2, déposé les matériaux magnétiques sur les emplacements adéquats et nous l'avons intégré avec son électronique de proximité. Après avoir validé son principe de fonctionnement, nous avons mesuré sa résolution, ses sensibilités à la température et à l'accélération. Ces caractérisations nous ont permis de mettre en évidence un phénomène limitant, non prévu initialement, qui dégrade les performances du capteur, en particulier sa résolution.

Mots clés

Magnétomètre, MEMS, résonateur, couches minces, modélisation, magnétisme.

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022UPAST165>

DOMAINE PHYSIQUE

**Thématique Micro/nano-systèmes (MEMS/NEMS)
et capteurs inertiels miniatures**

Thomas Perrier

Thèse soutenue le 17 mars 2022 à Châtillon

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

Encadrement

Département Physique, instrumentation, environnement, espace, ONERA, Châtillon

Encadrant : Raphaël Levy, ONERA/DPHY

Directeur de thèse : Johan Moulin, Université Paris-Saclay

Co-encadrant : Béatrice Bourgeteau, ONERA/DPHY

Jury

Nora Dempsey, Directrice de recherche, Inst. Néel, CNRS

Bernard Legrand, Directeur de recherche, LAAS, CNRS

Alain Bosseboeuf, Directeur de recherche, C2N, Paris-Saclay

Olivier Le Traon, Directeur de département, ONERA

Emmanuelle Algre, Enseignante-chercheuse, ESIEE, G. Eiffel

Johan Moulin, Maître de conférence, C2N, Paris-Saclay

Financement

ONERA/ DGA

Contact

raphael.levy@onera.fr

université
PARIS-SACLAY

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

DGA

Développement d'un micro-magnétomètre vibrant

Résumé

Au cours de la dernière décennie, de nouvelles applications sont apparues avec un besoin en magnétomètres à la fois résolus et économes en énergie. Il s'agit, par exemple, de la navigation magnéto-inertielle ou bien des réseaux de capteurs autonomes pour la surveillance de zones. Pour répondre à ces besoins, un nouveau type de magnétomètre est apparu, fondé sur l'interaction entre des couches minces aimantées et des résonateurs piézoélectriques. Les travaux réalisés au cours de cette thèse ont pour but de modéliser et développer cette technologie. Une première étude a ainsi permis d'identifier et de caractériser les matériaux ferromagnétiques les plus pertinents. Dans un deuxième temps, l'interaction entre une couche mince aimantée et un résonateur piézoélectrique a été modélisée et validée numériquement. Enfin, sur la base des modèles développés, des résonateurs optimisés pour obtenir la meilleure résolution possible ont été réalisés et caractérisés.

Les mesures expérimentales sont en bon accord avec les modèles. Les phénomènes limitant la résolution des capteurs ont été identifiés. Il s'agit, d'une part, du facteur de qualité qui est fortement dégradé par l'amortissement viscoélastique au sein des électrodes et des matériaux magnétiques. D'autre part, la grande sensibilité à la température de la fréquence des résonateurs masque l'instabilité de biais théoriquement atteignable. Des études complémentaires sont nécessaires pour tirer le plein potentiel de cette technologie : compréhension des mécanismes de dissipation viscoélastique, révision de la conception de la cellule pour limiter les contraintes dans les matériaux déposés, réaliser un prototype à deux résonateurs pour une utilisation en mode différentiel ce qui réduira l'impact des variations de température.

Mots clés

Magnétomètre, MEMS, résonateur, couches minces

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022UPAST044>

Guillaume Bernoux

Thèse soutenue le 06 juillet 2022 à Toulouse

ED 173 (SDU2E) - Science de l'univers, de l'environnement et de l'espace - Toulouse

Encadrement

Département Physique, instrumentation, environnement, espace, ONERA, Toulouse

Encadrant: Antoine Brunet, ONERA/DPHY

Directrice de thèse : Angélica Sicard, ONERA/DPHY

Co-directrice de thèse : Miho Janvier, IAS

Jury

Dominique Fontaine, Directrice de recherche, Laboratoire de Physique des Plasmas

Benoît Lavraud, Directeur de recherche, Laboratoire d'Astrophysique de Bordeaux

Carine Briand, Astronome, LESIA

Angélica Sicard, Ingénieure de recherche, ONERA

Miho Janvier, Astronome adjointe, IAS

Antoine Bruno, Ingénieur de recherche, ONERA

Olivier Pannekoucke, Enseignant-chercheur, INPT, ENM, CNRM, CERFACS

M. Éric Buchlin, Chargé de recherche, IAS

Financement

ONERA, Région Occitanie

Contact

antoine.brunet@onera.fr



Apprentissage profond pour la prévision de l'activité géomagnétique

Résumé

L'étude des interactions Soleil–Terre, en particulier par le biais du couplage entre le vent solaire et la magnétosphère, est au cœur des enjeux liés à la météorologie de l'espace. Nous nous intéressons à la question de la prédiction à quelques jours d'indices géomagnétiques, qui peuvent servir à piloter les modèles de ceintures de radiations terrestres. Au cours de la dernière décennie, de nombreuses études ont montré que les réseaux de neurones artificiels permettaient de prédire ces indices de manière particulièrement performante, à partir des mesures du vent solaire proche de la Terre.

Au cours de nos travaux nous proposons d'abord un nouveau modèle de prédiction de l'indice géomagnétique Dst, composé d'un réseau de neurones possédant des couches récurrentes. Ce nouveau modèle produit des prédictions probabilistes plus performantes que l'état de l'art actuel pour des horizons de prédiction inférieurs à 6 heures. Afin de rendre notre modèle plus utile opérationnellement, nous l'adaptions pour la prédiction du nouvel indice géomagnétique Ca, conçu pour mieux rendre compte de la géoefficacité des événements géomagnétiques du point de vue des ceintures de radiations électroniques.

En menant une évaluation complète de notre modèle, nous montrons qu'il perd de son utilité dans un contexte opérationnel pour les horizons de prédiction supérieurs à quelques heures. Partant de ce constat, et face aux limites montrées par les modèles physiques de propagation du vent solaire actuels, nous étudions l'utilisation d'imagerie solaire pour prédire directement l'indice géomagnétique Kp de 2 à 7 jours en avance. Pour cela, nous construisons SERENADE, le premier modèle de prédiction d'un indice géomagnétique alimenté uniquement par des images du Soleil. Ce modèle est un réseau de neurones à l'architecture complexe combinant des couches de différentes natures. Nous montrons que notre modèle présente des performances au moins égalant celles des modèles empiriques simples (et pourtant actuellement les plus performants) de prédiction du maximum journalier de Kp. Nous mettons en évidence que celui-ci, bien qu'encore immature pour une utilisation en contexte opérationnel, est capable de rendre compte de la géoefficacité de certains événements solaires directement à partir de la seule imagerie solaire.

En identifiant les limites de notre modèle et leurs causes, nos résultats ouvrent la voie à une modélisation par les données des interactions Soleil–Terre complétant les modèles physiques actuels.

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022ESAE0037>

THÈSES DE DOCTORAT SOUTENUES EN 2022

DOMAINE SIMULATION NUMÉRIQUE AVANCÉE

Selon les thématiques scientifiques :

Mathématiques appliquées et calcul scientifique

Philip Edel - Méthode base réduite pour des problèmes linéaires dépendants de paramètres. Application aux problèmes harmoniques en électromagnétisme et en aéroacoustique.....	136
Clément Rudel - Équations <i>one-way</i> pour la propagation d'ondes en écoulements complexes	138
Margot Surdey - Méthode itérative de Trefftz pour la simulation d'ondes électromagnétiques en trois dimensions	140

Méthodes numériques

Francesca Basile - Instabilités aéroélastiques d'un profil d'aile à des régimes d'écoulement transitionnelles	142
Javier Garcia Bautista - Adaptation hp par ondelettes p pour les méthodes Galerkin discontinues	144

DOMAINE SIMULATION NUMÉRIQUE AVANCÉE

Thématique Mathématiques appliquées et calcul scientifique

Philip Edel

Thèse soutenue le 24 octobre 2022 à Paris

ED 386 - Sciences Mathématiques - Sorbonne Université

Encadrement

Département du traitement de l'information et systèmes, ONERA - Palaiseau

Encadrant : François-Xavier Roux, ONERA/DTIS

Directeur de thèse : Yvon Maday, Sorbonne Université

Jury

Yvon Maday, Sorbonne Université

Ludovic Chamoin, ENS Paris Saclay

Virginie Ehrlicher, École des Ponts ParisTech

Bruno Després, Sorbonne Université

Gianluigi Rozza, Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati (SISSA)

Anne-Sophie Bonnet-Ben Dhia, ENSTA Paris

Anthony Patera, Massachusetts Institute of Technology (MIT)

François-Xavier Roux ONERA

Financement

ONERA

Contact

francois-xavier.roux@onera.fr



Méthode base réduite pour des problèmes linéaires dépendants de paramètres. Application aux problèmes harmoniques en électromagnétisme et en aéroacoustique

Résumé

De nombreuses applications en sciences appliquées nécessitent la résolution successive d'une équation aux dérivées partielles (EDP) pour un vaste ensemble de valeurs de paramètres. Malgré la mise en œuvre de méthodes numériques et d'algorithmes efficaces pour résoudre l'EDP, les coûts de calcul associés à de nombreuses résolutions successives pour des paramètres différents peuvent être prohibitifs. Dans cette thèse, nous considérons la méthode de base réduite pour accélérer les campagnes de résolution paramétrique des EDPs linéaires. Dans la première partie de la thèse, nous nous focalisons sur la problématique d'estimation d'erreur. Nous proposons une méthode heuristique d'estimation d'erreur facile à implémenter et pertinente pour des problèmes caractérisés par une constante de stabilité infsup régulière et peu dépendante des paramètres. Pour les problèmes potentiellement résonants, nous introduisons un estimateur d'erreur rigoureux, basé sur la norme naturelle duale du résidu. Nous généralisons l'estimation d'erreur au cas des problèmes multi-sources et dérivons une version block de la méthode de base réduite. Dans la deuxième partie de la thèse, nous nous intéressons aux applications de la méthode aux équations de Maxwell harmoniques en contexte multi-fréquences et aux équations d'Euler linéarisées harmoniques en contexte multi-impédance. Pour les problèmes multi-fréquences en diffraction électromagnétique résolus par des équations intégrales de surface discrétisées par la méthode des éléments de frontière, nous proposons une version non-intrusive originale de la méthode de base réduite. Des exemples numériques illustrent l'intérêt de la méthode, en particulier pour des problèmes de taille industrielle.

Mots-clés

Méthode base réduite, Réduction d'ordre, Réduction de modèle, Elements finis, électromagnétisme, aéroacoustique

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022SORUS270>

Clément Rudel

Thèse soutenue le 9 septembre 2022 à Toulouse

ED 467 (AA) - Aéronautique, astronautique - Toulouse

Encadrement

Département Traitement de l'information et systèmes , ONERA, Toulouse

Encadrant : Sébastien Pernet, ONERA/DTIS

Directeur de thèse : Jean-Philippe Brazier, ONERA/DMPE

Co-directeur de thèse : Sébastien Pernet, ONERA/DTIS

Jury

Christophe Airiau, Professeur, IMFT

Hélène Barucq, Directrice de recherche, INRIA

Stéphane Bordas, Professeur, Université du Luxembourg

Jean-Philippe Brazier, Ingénieur-chercheur, ONERA

Guilherme Coelho Cunha, Docteur-ingénieur, Airbus

Gwénaél Gabard, Professeure, LAUM

Sébastien Pernet, Ingénieur-chercheur, ONERA

Financement

ONERA, ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche

Contact

sebastien.pernet@onera.fr



Université
de Toulouse



**MINISTÈRE
DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Équations *one-way* pour la propagation d'ondes en écoulements complexes

Résumé

Dans une optique de réduction du bruit engendré par les avions, de nombreux phénomènes restent encore à mieux comprendre et de nombreuses configurations sont à étudier. Un besoin en outils de simulation précis et efficaces se fait donc ressentir pour répondre à ces problématiques de propagation d'ondes. Une approche envisageable est celle des équations *one-way*. En effet, cette méthode permet de décomposer la résolution des équations en fonction du sens de propagation des ondes le long d'un axe. Ainsi, au sein d'un écoulement, cet axe est naturellement celui de l'écoulement principal. Cependant, l'application des équations *one-way* dans le cadre de la mécanique des fluides souffre d'une limitation majeure. La complexité des équations résolues (équations d'Euler ou de Navier-Stokes) impose une hypothèse d'écoulement faiblement variable, limitant de ce fait le domaine d'application d'une telle méthode.

Le premier objectif a donc été de développer une reformulation de ces équations *one-way*, dans le but de pouvoir appliquer certaines méthodes permettant la levée d'une telle hypothèse. Pour cela, l'exploitation de deux conditions aux limites non-réfléchissantes a permis la construction d'une factorisation purement numérique de l'opérateur de propagation. À partir de cette méthode, il est ensuite possible d'appliquer des formalismes comme les équations *one-way* true amplitude ou les séries de Bremmer, permettant de prendre en compte les ondes réfractées et/ou réfléchies. Le second objectif a été de mettre à l'épreuve ces méthodes sur différentes applications. Ces dernières sont constituées d'écoulements variant le long de l'axe de propagation, de conduits à section variable ou partiellement traités acoustiquement (liners acoustiques) ou encore d'un jet chaud subsonique. Dans tous ces cas, les résultats fournis par les approches *one-way* montrent un bon accord avec les données expérimentales et avec différentes méthodes numériques plus coûteuses.

Mots clés

Aéroacoustique, équations *one-way*, équations d'Euler, propagation d'ondes, conduits, jets.

Margot Sirdey

Thèse soutenue le 19 décembre 2022 à Pau

ED 211 - Sciences exactes et leurs applications - Pau

Encadrement

Département Traitement de l'information et systèmes , ONERA, Toulouse

Encadrant : Sébastien Pernet, ONERA/DTIS

Directeur de thèse : Sébastien Todeux, INRIA

Co-directeur de thèse : Sébastien Pernet, ONERA/DTIS

Jury

Bruno Després, Professeur, Sorbonne Université

Stéphane Lanteri, Chercheur, INRIA

Hélène Barucq, Directrice de recherche, INRIA

Luc Giraud, Chercheur, INRIA

Lise-Marie Imbert-Gérard, Université d'Arizona

Sébastien Tordeux, Maître de conférences, UPPA, INRIA Bordeaux

Sébastien Pernet, Ingénieur-chercheur, ONERA

Financement

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

Contact

sebastien.pernet@onera.fr



Méthode itérative de Trefftz pour la simulation d'ondes électromagnétiques en trois dimensions

Résumé

La simulation d'ondes électromagnétiques en trois dimensions intervient dans de nombreuses applications civiles et militaires et met très souvent en jeu la résolution de très grands systèmes linéaires. La mémoire nécessaire pour la factorisation LU de la matrice croît très rapidement avec la taille du domaine de calcul de telles sortes que les méthodes de type EF ou GD classiques sont inutilisables. Cela conduit naturellement à employer une méthode itérative. Dans cette thèse, nous développons GoTEM3, un solveur Trefftz itératif HPC basé sur des espaces de Krylov.

Les méthodes de Trefftz peuvent être interprétées comme des méthodes de Galerkin Discontinues dont les fonctions de base sont des solutions locales des équations aux dérivées partielles étudiées. Les formulations variationnelles Trefftz sont présentées sous le point de vue de formes consistantes ou de traces numériques. Ces dernières sont obtenues alternativement, pour les milieux homogènes, par un solveur de Riemann, et dans le cas général des milieux hétérogènes, par un problème de Cessenat-Després ou upwind. Elles conduisent toutes à des formulations équivalentes et coercives. Un algorithme itératif reposant sur l'UWVF de Cessenat-Després mène à un problème de point fixe dont la matrice est contractante. Toutefois, cette propriété n'est parfois plus vérifiée numériquement à cause des erreurs d'arrondis. Nous mettons alors en place un solveur GMRES et un solveur de type Krylov Galerkin dans GoTEM3. Les fonctions de base employées sont des ondes planes et peuvent devenir linéairement dépendantes numériquement. Un nouveau préconditionneur global, au sens où il implique les trois dimensions du domaine, permet d'obtenir une solution numérique précise avec nettement moins d'itérations qu'un préconditionneur de Cessenat-Després. L'amélioration du conditionnement passe aussi par une stratégie de réduction de la base d'ondes planes, conduisant à des diminutions du temps d'exécution et du coût mémoire. Ce dernier aspect est particulièrement optimisé avec un désassemblage de la matrice, rendu possible grâce au caractère cartésien du maillage. Ainsi, GoTEM3 simule les ondes électromagnétiques sur des domaines contenant plus d'un milliard de degrés de liberté.

Mots clés

Équations de Maxwell, haute fréquence, méthode de Trefftz, méthode itérative, ondes planes, espace de Krylov, GMRES, préconditionnement, réduction de base, désassemblage

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/s342614>

Francesca Basile

Thèse soutenue le 23 septembre 2022 à Paris

ED 386 - Sciences mathématiques - Sorbonne Université

Encadrement

Département Aérodynamique, aéroélasticité, acoustique, ONERA, Châtillon

Encadrants : Jean-Baptiste Chapelier, ONERA/DAAA

Directeur de thèse : Pascal Frey, Sorbonne Université

Jury

Pascal Frey, Sorbonne Université SIM

Michel Visonneau, École Centrale de Nantes

Paola Cinnela, Institut Jean le Rond d'Alembert, Université Pierre et Marie Curie

Héloïse Beaugendre, Université de Bordeaux

Luca Bonaventura, Politecnico di Milano

Jean-Baptiste Chapelier, ONERA

Romain Laraufie, Airbus Commercial Aircraft

Financement

Airbus

Contact

jean-baptiste.chapelier@onera.fr

Instabilités aéroélastiques d'un profil d'aile à des régimes d'écoulement transitionnelles

Résumé

Dans cette thèse, de nouvelles stratégies adaptatives h et hp pour la formulation Galerkin discontinue des équations de Navier-Stokes compressibles sont établies dans le cadre du projet collaboratif européen CODA. Les nouvelles stratégies adaptatives visent la simulation de configurations laminaires stationnaires turbulentes moyennées et turbulentes avec résolution des grandes échelles. Une méthode de remaillage non structurée basée sur un champ de métrique a été développée. La définition du champ de tailles caractéristiques des éléments (h) et de la distribution des degrés polynomiaux (p) est pilotée par un estimateur d'erreur a posteriori. Ce dernier combine la mesure de l'énergie associée aux modes d'ordre supérieur et les sauts entre les éléments. Le choix du raffinement en h ou en p est guidé par un indicateur de régularité basé sur la décroissance des modes polynomiaux dans chaque élément. La performance des algorithmes adaptatifs h et hp est premièrement évaluée pour des écoulements laminaires en 2D et 3D. Un gain de précision significatif des simulations adaptatives par rapport aux simulations uniformément raffinées est ainsi obtenu. La stratégie adaptative hp est ensuite étendue pour la prise en compte de couches limites, nécessitant des éléments anisotropes, afin de satisfaire les besoins de résolution des modélisations RANS et ZDES. En particulier, les prismes situés dans les couches limites sont enrichis en p , alors que les tétraèdres de la région extérieure sont à la fois soumis à un enrichissement en p et à un raffinement en h . Puis, l'algorithme adaptatif hp est étendu aux écoulements instationnaires et appliqué au jet turbulent 3D d'une tuyère, via une modélisation RANS et ZDES. Les simulations sont validées par des comparaisons avec les expériences et les résultats numériques de la littérature. Les simulations ZDES instationnaires permettent l'analyse aéroacoustique de l'écoulement en utilisant la méthode de Fowcs Williams-Hawkings. Les résultats de la dynamique de l'écoulement fluide et de son champ acoustique montrent un bon accord avec les références pour un nombre réduit de degrés de liberté. La dernière partie de ce travail se concentre sur l'extension de la stratégie d'adaptation h aux écoulements transsoniques considérant des géométries complexes. La méthode d'adaptation est améliorée en ajoutant au processus la projection du maillage de surface adapté sur la CAD. L'algorithme développé est finalement évalué pour la simulation non visqueuse d'une aile isolée et d'une configuration d'avion aile-fuselage.

Mots clés

Adaptation hp , méthode de Galerkin discontinue, estimation d'erreur a posteriori, simulations hybrides RANS/LES, écoulements compressibles

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022SORUS306>

Javier Garcia Bautista

Thèse soutenue le 7 novembre 2022 à Châtillon

ED 602 (SPI) - Sciences pour l'Ingénieur - Centrale Nantes

Encadrement

Département Aérodynamique, aéroélasticité, acoustique, ONERA - Châtillon

Encadrants : Vincent Couaillier, ONERA/DAAA

Directeur de thèse : Michel Visonneau, École Centrale de Nantes

Co-directeur de thèse : Kai Schneider Aix-Marseille Université

Jury

Michel Visonneau, Directeur de recherche, École Centrale de Nantes

Kai Schneider, Professeur, Aix-Marseille Université

Frédéric Alauzet, Directeur de recherche, INRIA

Paola Cinnella, Professeure, Sorbonne Université

Marta de la Llave Plata, Ingénieure-chercheuse, ONERA

Georg May, Associate Professor, Von Karman Institute for Fluid Dynamics

Siegfried Müller, Professor, Rheinisch-Westfälische Tech. Hochschule Aachen

Esteban Ferrer, Professor, Universidad Politécnica de Madrid

Financement

UE

Contact

vincent.couaillier@onera.fr

Adaptation hp par ondelettes pour les méthodes Galerkin discontinues

Résumé

L'objectif principal de cette thèse est de développer une méthode hp-adaptative efficace en termes de coût et précision pour les schémas Galerkin discontinus appliqués aux équations de Navier-Stokes, en combinant flexibilité de l'adaptation a posteriori et précision de l'adaptation multi-résolution. Les performances de l'algorithme d'adaptation hp sont illustrées sur plusieurs cas d'écoulements stationnaires en une et deux dimensions. La première direction de recherche emploie une nouvelle méthodologie basée sur les multiondelettes pour estimer l'erreur de discrétisation de la solution numérique dans le contexte de simulations avec adaptation h. Les résultats démontrent clairement la viabilité de cette méthode pour atteindre un gain de calcul significatif par rapport à un raffinement de maillage uniforme. La deuxième voie de recherche aborde l'analyse et le développement d'une nouvelle stratégie d'adaptation hp basée sur la décroissance du spectre des multi-ondelettes comme critère adaptation hp. Cette stratégie permet de discriminer avec succès les régions caractérisées par une grande régularité de celles contenant des phénomènes discontinus. De manière remarquable, l'algorithme d'adaptation hp est capable d'atteindre une haute précision caractéristique des solutions numériques d'ordre élevé tout en évitant les oscillations indésirables en adoptant des approximations d'ordre réduit à proximité des singularités.

Mots clés

Mécanique des fluides, Navier-Stokes, méthodes numériques, méthodes adaptatives, ondelettes

THÈSES DE DOCTORAT SOUTENUES EN 2022

DOMAINE TRAITEMENT DE L'INFORMATION ET SYSTÈMES

selon les thématiques scientifiques :

Identification et commande des systèmes

Étienne Bertin - Contrôle optimal robuste aux incertitudes pour le guidage de véhicules autonomes	148
Julius Ibenthal - <i>Multi-target tracking by non-linear set-membership methods</i>	150
Sofiane Kraiem - <i>Development of steering law for On Orbit Servicing operation</i>	152
Antonello Venturino - <i>Constrained distributed state estimation for surveillance missions using multi-sensor multi-robot systems</i>	154

Perception et traitement de l'information

Benjamin Buat - Caméra active 3D par DFD pour l'inspection de surface : algorithmie, modèle de performance et réalisation expérimentale	156
Laurane Charrier - Estimation et fusion de vitesses d'écoulement de surface de glaciers multi-temporelles, multi-capteurs	158
Simon Erdmann - Imagerie de speckle dynamique haute cadence appliquée à la vascularisation cutanée et sous-cutanée	160
Gaston Lenczner - Segmentation sémantique interactive d'images aériennes avec des réseaux de neurones profonds	162
Javiera Castillo Navarro - <i>Semi-supervised learning for large scale Earth observation data understanding</i>	164

Intelligence artificielle et décision

Adrien Metge - Opérateurs et systèmes intelligents : se comprendre pour décider. Application à la supervision de drones	166
---	-----

Ingénierie des systèmes et des logiciels

Pierre-Julien Chaîne - Adaptabilité de <i>Time Sensitive Networking</i> aux exigences de l'industrie aérospatiale	168
Alfonso Mascarenas Gonzalez - <i>DDR SDRAM Interference Minimization via Task and Memory Mapping in a Multi-objective Optimization context on Heterogeneous MPSoCs</i>	170
Quentin Peyras - Propriété du domaine borné pour la logique temporelle linéaire du premier ordre et applications à la vérification de systèmes à états infinis	172
Lucien Rakotomalala - Formalisation en Coq du calcul réseau	174

Robotique et autonomie

Guillaume Hardouin - <i>A centralized and distributed multi-robot system for 3D surface reconstruction of unknown environments</i>	176
---	-----

Sûreté et sécurité des systèmes cyber-physiques

Maxime El Masri - Échantillonnage préférentiel en grande dimension via des projections dans un sous-espace de petite dimension	178
---	-----

Conception et optimisation des systèmes

Gaspard Berthelin - Optimisation multidisciplinaire et réduction d'ordre de modèle	180
Marvin Stanczak - Optimisation du routage de guides d'ondes pour un satellite de télécommunications.....	182

Étienne Bertin

Thèse soutenue le 15 décembre 2022 à Palaiseau

ED 626 (IPP) - Institut Polytechnique de Paris—Palaiseau

Encadrement

Département Traitement de l'information et systèmes, ONERA - Palaiseau

Encadrant : Bruno Hérissé, ONERA/DTIS

Directeur de thèse : Alexandre Chapoutot, ENSTA

Jury

Nacim Ramdani, laboratoire PRISME, Université d'Orléans

Jean-Baptiste Caillau, CNRS, Inria, Université Côte d'Azur

Nicolas Delanoue, Université d'Angers

Carine Jaunert, Université Toulouse III – Paul Sabatier

Goran Frehse, laboratoire U2IS, ENSTA Paris

Bruno Hérissé, ONERA DTIS

Alexandre Chapoutot, laboratoire U2IS, ENSTA Paris

Julien Alexandre Dit Sandretto, laboratoire U2IS, ENSTA Paris

Financement

ONERA, ENSTA

Contact

bruno.herisse@onera.fr



Contrôle optimal robuste aux incertitudes pour le guidage de véhicules autonomes

Résumé

Les lancements de fusée coûtent extrêmement cher, donc on souhaite garantir à l'avance qu'elle ne va pas s'écraser et qu'elle va utiliser le moins de carburant possible. Pour connaître la trajectoire qu'une fusée doit suivre pour aller d'un point A à un point B en utilisant le moins de carburant possible, on résout un problème mathématique de contrôle optimal. Cependant la modélisation mathématique de la fusée ne correspond pas exactement à la fusée réelle, notamment parce que les paramètres (les coefficients aérodynamiques, la poussée du moteur...) sont soumis à des incertitudes de mesure. Ces incertitudes vont entraîner un écart potentiellement dangereux entre la trajectoire réelle de la fusée et la trajectoire prévue.

Le but de cette thèse est de développer une méthode pour encadrer la trajectoire réelle de la fusée afin de s'assurer qu'elle arrivera à bon port malgré les incertitudes du modèle. On commence par écrire les équations permettant de calculer la trajectoire en utilisant la théorie du contrôle optimal. Ensuite on crée un algorithme pour encadrer cette trajectoire en utilisant les méthodes ensemblistes. Au lieu de définir la position de la fusée comme un point, on dit maintenant qu'elle est à l'intérieur d'une boîte, et la trajectoire de la fusée est encadrée par une suite de boîtes qui se dilatent au cours du temps en raison de l'accumulation d'erreurs.

Pour réduire ces erreurs nous développons alors des méthodes pour remplacer les boîtes par des ensembles plus précis appelés zonotopes contraints. Nous évaluons alors notre méthode sur une série de problèmes d'aérospatial.

Mots clés

Contrôle optimal, simulation garantie, intervalles, zonotopes

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/s234819>

DOMAINE TRAITEMENT DE L'INFORMATION ET SYSTÈMES

Thématique Identification et Commande des systèmes

Julius Ibenthal

Thèse soutenue le 19 octobre 2022 à Gif-sur-Yvette

ED 580 (STIC) - Sciences et technologies de l'information et de la communication - Paris-Saclay

Encadrement

Département Traitement de l'information et systèmes, ONERA - Palaiseau

Encadrant : Luc Meyer, ONERA/DTIS

Directrice de thèse : Hélène Piet-Lahanier, ONERA/DTIS

Co-directeur de thèse : Michel Kieffer, Université Paris-Saclay

Jury

Matthias Gertds, Professeur, Universität der Bundeswehr München

Isaac Kaminer, Professeur, Naval Postgraduate School Monterey

Eric Goubault, Professeur, École Polytechnique

Erik-Jan van Kampen, Professeur associé, Delft Univ. of Technology

Cristina Stoica Maniu, Professeure, Université Paris-Saclay

Hélène Piet-Lahanier, Directrice de recherche, ONERA, Université Paris-Saclay

Michel Kieffer, Professeur, Université Paris-Saclay

Luc Meyer, Ingénieur de recherche, ONERA

Christophe Guilmart, Ingénieur en chef, AID

Financement

ONERA, DGA

Lauréat du prix des doctorants ONERA Traitement de l'information et systèmes 2022

Contact luc.meyer@onera.fr



Multi-target tracking by non-linear set-membership methods

Résumé

Searching and tracking mobile targets remains a challenging task among the various applications for robots. This thesis considers the search and track of an unknown number of targets moving in a bounded area by a fleet of cooperative Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). Distributed estimation and control schemes are presented. The estimation schemes rely on the assumption that state perturbations and measurement noises are bounded. Robust distributed set-membership estimators are used to evaluate set estimates that are guaranteed to contain the target states. The set estimates are updated by each UAV using information collected from its sensors and from the neighboring UAVs. The trajectories of the UAVs are designed using model predictive control approaches. The control is designed to decrease the estimation uncertainty of the unknown, not yet detected targets and known, tracked targets.

The developed estimation and control schemes rely on new detailed models of deterministic identification and detection conditions of the targets. These conditions account for UAV and target states, sensor constraints, and environmental obstacles. The developed estimators utilize measurements of identified and unidentified targets and are robust to the presence of potential decoys, which may be confused with the targets. Furthermore, the new deterministic detection model allows the evaluation of guaranteed set estimates of target locations in unknown structured environments, where it is challenging to demonstrate the absence of a target at a given location. To estimate the target locations, neither having nor building a map of the environment is necessary.

Various simulations illustrate the ability of the proposed approaches to efficiently search and track an unknown number of moving targets within some delimited search area. Additionally, preliminary experimental studies are carried out.

Mots clés

Multi-agent systems, Set-membership state estimation, Cooperative distributed control, Multi-agent systems, Multi-target tracking

Sofiane Kraiem

Thèse soutenue le 16 mai 2022 à Toulouse

ED 309 (EDSYS) - Systèmes - Toulouse

Encadrement

Département Traitement de l'information et systèmes, ONERA - Toulouse

Encadrant : Mathieu Rognant, ONERA/DTIS

Directeur de thèse : Mathieu Rognant, ONERA/DTIS

Co-directeur de thèse : Yves Brière, ISAE SupAero

Jury

Benoit Clément, Professeur, ENSTA Bretagne

David Henry, Professeur, Université de Bordeaux

Paolo Gasbarri, Professor, University of Rome La Sapienza

Hélène Evain, Ingénieure, CNES

Vincent Dubanchet, R&D Engineer, Thales Aliena Space

Jurek Sasiadek, Professeur, Carleton University

Mathieu Rognant, Ingénieur-chercheur, ONERA

Yves Brière, Maître de conférence, ISAE-SupAero

Financement

ONERA, ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche

Contact

mathieur.rognant@onera.fr



Development of steering law for On Orbit Servicing operation

Résumé

Space manipulators allow to respond to a variety of problems in future space exploitation and exploration such as on-orbit deployment, active debris removal or servicing operations. However, a difficulty to autonomously control space manipulator systems arise with large and light structures presenting flexible behavior. Flexible dynamics remain a challenging topic as its modeling may present a first difficulty while the different coupling with the manipulator may deteriorate the control quality.

This thesis addresses design and control problems related to autonomous space manipulator equipped with kinetic moment exchange devices for spacecraft rotation control when dealing with system internal disturbances, model uncertainties and measurement errors. The modeling of rigid-flexible dynamics of a multi-body system remains a challenging task, and a first contribution of this work is a generic modeling tool to derive kinematic and dynamic of a rotation-free-floating Space Manipulator System (SMS) with flexible appendages.

This analysis led to the main contribution of this thesis, namely the implementation and the design of such control scheme for On-Orbit Servicing operations. Thanks to the model, proposed control include the non-measurable states (i.e flexibility) in the system decoupling and linearization, and the steering laws established are based on Nonlinear Dynamic Inversion (NDI) framework where observers are introduced to improve the quality of linearization. In a first implementation an Extended State Observer (ESO) have been involved to estimate flexible dynamics. Then, in a second time, the modeling uncertainties and measurement errors have been handled by the addition of a Nonlinear Disturbance Observer (NDO).

Inter-dependencies between observers and control dynamics have motivated a simultaneous computation of their gains to improve system stability and control performances. This point has been achieved by the resolution of Linear Matrix Inequalities (LMI) to guarantee stability with an appropriate Lyapunov function. In order to highlight the interest of the proposed scheme and validate our approach in a realistic environment, extensive tests of an on-orbit space telescope assembly use-case have been performed on a high-fidelity simulator.

Mots clés

Robotics, Space manipulator, Extended state observer, Nonlinear Dynamic Inversion, Disturbance compensation, Linear Matrix Inequality

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022ESAE0025>

Antonello Venturino

Thèse soutenue le 22 septembre 2022 à Gif-sur-Yvette

ED 580 (STIC) - Sciences et technologies de l'information et de la communication
- Paris-Saclay

Encadrement

Département Traitement de l'information et systèmes, ONERA - Palaiseau

Encadrant : Sylvain Bertrand, ONERA/DTIS

Directeur de thèse : Cristina Stoica Maniu, Université Paris-Saclay

Co-encadrant de thèse : Teodoro Alamo, Universidad de Sevilla, Espagne

Jury

John Jairo Martinez Molina, Professeur, INP Grenoble

Vicenç Puig, Professeur, Universitat Politècnica de Catalunya, Espagne

Dan Seli Stenau, Professeur, Universitatea Craiova, Roumanie

Mohammed Chadli, Professeur, Université d'Évry-Val-d'Essonne UPS

Estelle Courtial, Maître de Conférence, Université d'Orléans

Cristina Stoica Maniu, Professeur, CentraleSupélec, UPS

Sylvain Bertrand, Maître de recherche, ONERA, UPS

Teodoro Alamo, Professeur, Universidad de Sevilla, Espagne

Eduardo F. Camacho, Professeur, Universidad de Sevilla, Espagne

Financement

ONERA, ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche

Prix du meilleur article à la conférence ICSTCC 2020, Sinaia, Romania

Contact sylvain.bertrand@onera.fr

Constrained distributed state estimation for surveillance missions using multi-sensor multi-robot systems

Résumé

Distributed algorithms have pervaded many aspects of control engineering with applications for multi-robot systems, sensor networks, covering topics such as control, state estimation, fault detection, cyber-attack detection and mitigation on cyber-physical systems, etc. Indeed, distributed schemes face problems like scalability and communication between agents. In multi-agent systems applications it is now common to design state estimation algorithms in a distributed way so that the agents can accomplish their tasks based on some shared information within their neighborhoods. In surveillance missions, a low-cost static Sensor Network could be deployed to localize in a distributed way intruders in a given area. In this context, the main objective of this work is to design distributed observers to estimate the state of a dynamic system that efficiently handle constraints and uncertainties but with reduced computation load.

This PhD thesis proposes new Distributed Moving Horizon Estimation (DMHE) algorithms with a Luenberger pre-estimation in the formulation of the local problem solved by each sensor, resulting in a significant reduction of the computation time, while preserving the estimation accuracy. Moreover, this manuscript proposes a consensus strategy to enhance the convergence time of the estimates among sensors while dealing with weak unobservability conditions. Another contribution concerns the improvement of the convergence of the estimation error by mitigating unobservability issues by using a 1-step neighborhood information spreading mechanism. The proposed distributed estimation is designed for realistic large-scale systems scenarios involving sporadic measurements (i.e. available at time instants a priori unknown). To this aim, constraints on measurements (e.g. camera field of view) are embodied using time-varying binary parameters in the optimization problem. Both realistic simulations within the Robot Operating System (ROS) framework and Gazebo environment, as well as experimental validation of the proposed DMHE localization technique of a Multi-Vehicle System (MVS) with ground mobile robots are performed, using a static Sensor Network composed of low-cost cameras which provide measurements on the positions of the robots of the MVS.

The proposed algorithms are compared to previous results from the literature, considering several metrics such as computation time and accuracy of the estimates.

Mots clés

Distributed state estimation, Constrained state estimation, Distributed Moving Horizon Estimation, Sensor Networks.

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022UPAST118>

Benjamin Buat

Thèse soutenue le 24 juin 2022 à Palaiseau

ED 580 (STIC) - Sciences et technologies de l'information et de la communication -
Paris-Saclay

Encadrement

Département traitement de l'information et systèmes, ONERA - Palaiseau

Encadrant : Pauline Trouvé-Peloux, ONERA/DTIS

Directeur de thèse : Guy Le Besnerais, ONERA/DTIS

Co-encadrant : Frédéric Champagnat, ONERA/DTIS

Jury

Corinne Fournier, Maître de conférences, Université Jean Monnet Saint-Etienne

Olivier Aubreton, Maître de conférences, Université de Bourgogne

Djemel Ziou, Professeur, Université de Sherbrook

Éric Thiébaud, Astronome, Université de Lyon 1

François Goudail, Professeur, IOGS

Pauline Trouvé-Peloux, Ingénieure de recherche, ONERA

Frédéric Champagnat, Directeur de recherche, ONERA

Guy Le Besnerais, Directeur de recherche, ONERA

Thierry Simon, Maître de conférences, Université de Toulouse Jean Jaurès

Financement

ONERA

Contact

pauline.trouve-peloux@onera.fr

Caméra active 3D par DFD pour l'inspection de surface : algorithmie, modèle de performance et réalisation expérimentale

Résumé

Cette thèse traite de la conception d'une caméra 3D capable de produire la carte de profondeur complète d'une scène dans le cadre de l'inspection de surface. Ce domaine d'application implique généralement des objets peu texturés et un cahier des charges strict concernant la compacité du système d'inspection et la précision requise.

Dans cette thèse, nous proposons d'utiliser une caméra associée à un projecteur permettant d'ajouter une texture artificielle à la scène. L'extraction de 3D repose sur le principe de « Depth-From-Defocus » (DFD) qui consiste à estimer la profondeur en exploitant le flou de défocalisation. Nous avons développé dans un premier temps un algorithme mono-image d'estimation locale de profondeur basé sur l'apprentissage de la scène et du flou. Cet algorithme fonctionne pour tout type de système DFD mais il est particulièrement adapté pour le DFD actif pour lequel on maîtrise la scène qui est une texture projetée. Puis nous avons mis en oeuvre un prototype expérimental de DFD actif pour un cadre d'inspection de surface. Il est composé d'une caméra dont l'objectif présente des aberrations chromatiques longitudinales permettant d'étendre la plage de profondeur estimable et la précision d'estimation, et d'un projecteur spécialisé dont la forme et l'échelle du motif ont été particulièrement optimisés par simulation. Nous avons également mené une validation expérimentale du prototype qui atteint une précision de 0.45 mm sur une plage de travail de 310 à 340 mm. Nous avons ensuite développé un modèle de performance qui permet de prédire la précision de n'importe quel système de DFD actif en fonction des paramètres des optiques, du capteur, du projecteur et des traitements. Ce modèle ouvre la voie à une étude de conception conjointe optique/traitement d'une caméra 3D active par DFD.

Mots clés

Caméra 3D, flou de défocalisation, modèle de performance, inspection de surface, illumination structurée.

Laurane Charrier

Thèse soutenue le 24 novembre 2022 à Annecy

ED 489 (SISEO) - Sciences et ingénierie des systèmes de l'environnement et des organisations - Université Grenoble Alpes

Encadrement

Département Traitement de l'information et systèmes, ONERA - Palaiseau

Encadrant : Élise Colin, ONERA/DTIS

Directeur de thèse : Emmanuel Trouvé, LISTIC

Co-directeur de thèse : Élise Colin, ONERA/DTIS

Jury

Marie-Odile Berger, Directrice de recherche, Université de Lorraine

Etienne Berthier, Directeur de recherche, Université Paul Sabatier

Jérôme Mars, Professeur des universités, Université Grenoble Alpes,

Marie-Pierre Doin, Directrice de recherche, Université Grenoble Alpes,

Bas Altena, Chercheur, Utrecht University,

Emmanuel Trouvé, Professeur des Universités, Université Savoie Mont-Blanc

Élise Colin, Ingénieure de recherche, ONERA

Yajing Yan, Maîtresse de conférences, Université Savoie Mont-Blanc

Financement

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

Contact

elise.colin@onera.fr

Estimation et fusion de vitesses d'écoulement de surface de glaciers multi-temporelles, multi-capteurs

Résumé

De nombreuses mesures de vitesse d'écoulement de surface de glaciers sont, aujourd'hui, disponibles en ligne. Cependant, les variations intra-annuelles de la vitesse restent peu étudiées à large échelle, pour plusieurs raisons: ces variations sont parfois inférieures aux incertitudes des mesures ; les mesures fournies peuvent présenter des données manquantes ; enfin, elles sont complexes à analyser puisqu'elles sont multi-temporelles (mesurées sur différents intervalles de temps), multi-capteurs (mesurées sur des images acquises par différents capteurs) voire même multi-géométries (ortho-rectifiées ou non). Elles peuvent aussi avoir été calculées par différentes chaînes de traitement.

Dans ce contexte, cette thèse discute, tout d'abord, des alternatives aux méthodes d'estimation de vitesse actuelles, en considérant un algorithme de flot optique et un algorithme de réseau de neurones. Elle aborde ensuite une vision globale de la fusion de l'ensemble des mesures de vitesse de glaciers disponibles. La fusion est réalisée par une inversion basée sur la fermeture temporelle du réseau de déplacements.

Plusieurs solutions méthodologiques sont proposées afin de prendre en compte, d'une part, le manque de fiabilité des indicateurs de confiance fournis avec les mesures de vitesse, et d'autre part, l'augmentation de l'incertitude des vitesses estimées en fonction de l'échantillonnage temporel. L'utilisation de combinaisons de déplacements permet de fusionner le plus de mesures possible pour estimer des séries temporelles de vitesse sur un échantillonnage temporel optimal. La méthode est, ensuite, étendue à des mesures multicapteurs, pour lesquelles certaines données sont manquantes. Les mesures disponibles pouvant être différentes en chaque pixel, deux approches sont discutées pour que l'échantillonnage des séries temporelles estimées soit homogène d'un pixel à l'autre.

Enfin, une méthode plus prospective est proposée pour estimer des vitesses en trois dimensions à partir de mesures de vitesse multi-géométries, pouvant provenir de différentes chaînes de traitement. Ces travaux ouvrent des perspectives quant à l'étude des variations intra-annuelles de l'écoulement de surface des glaciers.

Mots clés

Fusion multi-temporelle multi-capteur, estimation de déplacement, vitesses d'écoulement de surface, glaciers, série temporelle

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/s245688>

Simon Erdmann

Thèse soutenue le 15 février 2022 à Toulouse

ED 323 (GEET) - Génie électrique, électronique, télécommunications - Toulouse

Encadrement

Département Traitement de l'information et systèmes, ONERA - Palaiseau

Encadrant : Xavier Orlik, ONERA/DOTA

Directeurs de thèse : Orlik Xavier ONERA/DOTA ; Élise Colin, ONERA/DTIS

Co-encadrant : Flora Weissgerber, ONERA/DTIS

Jury

Anne Sentenac, Directrice de recherche CNRS, Institut Fresnel, Marseille

Olivier Haeberlé, Professeur des universités, IRIMAS, Université de Haute-Alsace

François Goudail, Professeur, IOGS

Angelo Pierangelo, Ingénieur de recherche, École polytechnique

Élise Colin, Directrice de recherche, ONERA

Flora Weissgerber, Ingénieure-chercheuse, ONERA

Financement

Région Occitanie, ONERA

Contact

xavier.orlik@onera.fr



Université
de Toulouse



Imagerie de speckle dynamique haute cadence appliquée à la vascularisation cutanée et sous-cutanée

Résumé

Supposons qu'on image en transmission ou en rétrodiffusion un milieu éclairé en lumière cohérente. Supposons également que ce milieu est tel que la phase du champ rétrodiffusé apparaît en tout point comme aléatoire. On obtient alors un motif également aléatoire constitué de grains : du speckle. Si, de plus, le milieu varie au cours du temps, le signal de speckle fluctue également. Imager certaines statistiques temporelles du signal peut alors permettre d'imager le mouvement : c'est l'objet de l'imagerie de speckle dynamique. Cependant, il a longtemps été impossible d'accéder directement à l'autocorrélation temporelle des signaux rencontrés expérimentalement. L'accès aux caractéristiques du mouvement n'était donc possible que via des méthodes indirectes, comme le contraste, assez imprécises et qualitatives. Toutefois, la diffusion de plus en plus large de caméras haute cadence a changé la donne. La voie s'est ainsi ouverte à un raffinement considérable des modèles et à des gains importants en précision et en rapidité de traitement. Une telle caméra a été utilisée dans le cadre de ces travaux de thèse. Elle a permis d'imager la vascularisation sous-cutanée sur des zones variées du corps humain. On a ainsi pu évaluer la pertinence de plusieurs paramètres pour imager qualitativement le mouvement. Dans le même temps, on a aussi pu constater certaines limites du speckle dynamique que la très haute cadence ne permettait pas de lever. Ainsi, au-delà d'un certain seuil, augmenter la cadence n'apporte plus d'information, tandis que l'hypothèse de stationnarité du signal est ébranlée par les effets de la pulsation cardiaque. Ces limites ne remettent pas en question l'apport considérable de la haute cadence, mais illustrent à quel point il s'agit d'un changement de paradigme. Pour en prendre la pleine mesure et exploiter au maximum le gain en résolution temporelle permis par les caméras rapides, il est nécessaire, en parallèle des études expérimentales, d'affiner les modèles existants. C'est dans cette optique qu'un travail de modélisation et de simulation du système d'imagerie a été mené. Notre but était de relier le plus précisément possible un type de dynamique du milieu aux statistiques du signal obtenu. Ainsi, il a été possible de redémontrer rigoureusement et de nuancer des résultats tenus pour phénoménologiques dans la littérature, tels que certains modèles d'autocorrélation temporelle. Ces résultats fondent la possibilité, à terme, de remonter à des grandeurs physiques fiables à partir d'un signal de speckle dynamique. Enfin, comme les modèles inverses de speckle dynamique s'appuient sur des statistiques parfois complexes sur les signaux, il convient de s'assurer que celles-ci ne sont pas altérées par des traitements tiers. En particulier, beaucoup d'opérations de traitement du signal, notamment de ré-échantillonnage sont effectuées sans conscience des effets considérables qu'elles peuvent avoir sur les statistiques du signal. Un troisième axe de ces travaux a donc consisté à caractériser ces effets en fonction des méthodes utilisées. Le même type de résultat a été établi avec les méthodes d'interpolation.

Mots clés

Speckle, imagerie médicale

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022ESAE0006>

Gaston Lenczner

Thèse soutenue le 20 septembre 2022 à Palaiseau

ED 580 (STIC) - Sciences et technologies de l'information et de la communication -
Paris-Saclay

Encadrement

Département Traitement de l'information et systèmes, ONERA - Palaiseau

Encadrant : Alexandre Boulch, ONERA/DTIS

Directeur de thèse : Guy Le Besnerais, ONERA/DTIS

Co-encadrant : Bertrand Le Saux, ESA/ESRIN

Jury

Guy Le Besnerais, Directeur de recherche, ONERA

David Picard, Senior Research Scientist, École des Ponts ParisTech

Begüm Demir, Technische Universität Berlin

Charlotte Pelletier, Professeure assistante, Université Bretagne Sud

Devis Tuia, Professeur associé, École Polytechnique Fédérale de Lausanne

Céline Hudelot, Professeur, CentraleSupélec

Bertrand Le Saux, Senior Scientist, ESA/ESRIN

Adrien Chan-Hon-Tong, Ingénieur-chercheur, ONERA

Nicola Luminari, Head of Data Science, Altea

Financement

DELAIR

Best paper award au workshop MACLEAN congrès ECML/PKDD 2020, Virtual

Contact adrien.chan-hon-tong@onera.fr



Segmentation sémantique interactive d'images aériennes avec des réseaux de neurones profonds

Résumé

Une question clé pour la compréhension de scènes est la modélisation sémantique qui consiste, par exemple, à détecter des objets dans l'image ou à classer des zones de l'image. Plus spécifiquement, la segmentation sémantique vise à une classification automatique de l'image au niveau des pixels. C'est un problème actuellement abordé avec des réseaux de neurones profonds. Cependant, ces réseaux peuvent faire des erreurs.

Nous proposons dans cette thèse de mettre en place une collaboration entre un réseau de neurones profonds et un utilisateur pour corriger et collecter rapidement des cartes de segmentation sémantiques précises d'images de télédétection. En bref, l'utilisateur interagit de manière itérative avec le réseau pour corriger ses prédictions initialement erronées. Concrètement, ces interactions sont des annotations représentant les labels sémantiques.

Mots clés

Apprentissage profond, segmentation sémantique, apprentissage interactif.

Javiera Castillo Navarro

Thèse soutenue le 23 mars 2022 à Paris

ED 601 (MathSTIC) - Mathématiques et Sciences et Technologies de l'information
et de la communication - Rennes

Encadrement

Département Traitement de l'information et systèmes, ONERA - Palaiseau

Encadrant : Bertrand Le Saux, ONERA/DTIS

Directeur de thèse : Sébastien Lefèvre, IRISA

Jury

Nicolas Thome, Professeur, CNAM

Xiao Xiang Zhu, Professeur, Technical University of Munich

Marie Chabert, Professeur, Institut National Polytechnique de Toulouse

Felipe Tobar, Associate Professor, Universidad de Chile

Devis Tuia, Associate Professor, École Polytechnique Fédérale de Lausanne

Sébastien Lefèvre, Professeur, Université Bretagne Sud

Alexandre Boulch, Chercheur, Valeo

Bertrand Le Saux, Chercheur, ESA

Stéphane May, Ingénieur, CNES

Financement

ONERA, CNES

Contact

adrien.chan_hon_tong@onera.fr



Semi-supervised learning for large scale Earth observation data understanding

Résumé

Earth observation (EO) plays a significant role in the way we understand our planet and its dynamics. While plenty of data are available, they cannot be processed by humans only, so artificial intelligence has emerged as a solution to achieve automatic analysis of EO imagery. Still, most data are not exploited because they are unlabeled. Hence, algorithms beyond supervised learning are needed to get complete insight.

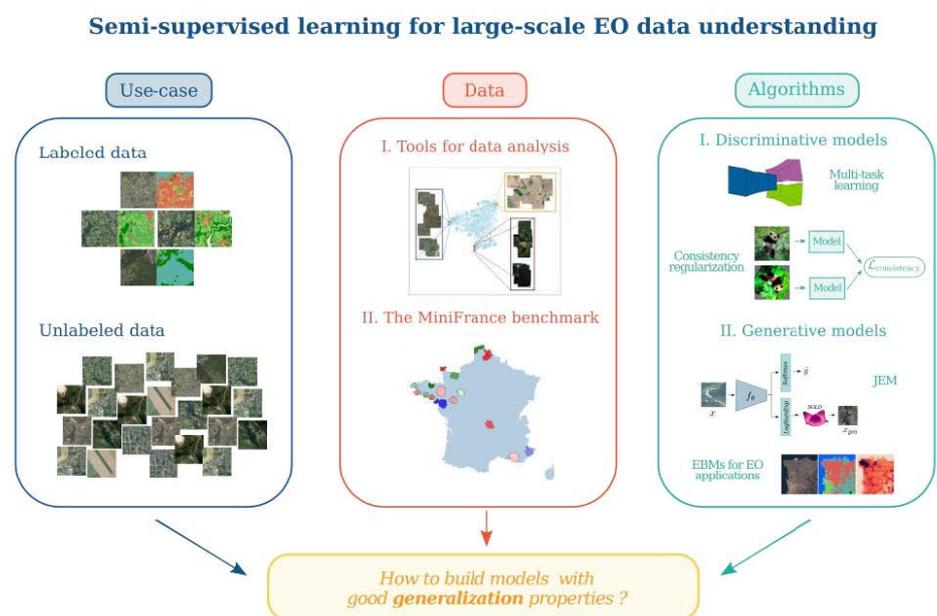
This thesis investigates deep semi-supervised learning (SSL) for classification and segmentation in order to achieve EO data understanding at a large scale. First, we explore the potential of unlabeled data and propose tools for analyzing data representativeness for multi-location datasets. Then, we explore two ways of approaching the SSL problem. By discriminative modeling, first, we develop multi-task networks and auxiliary tasks to tackle semi-supervised semantic segmentation; second, we explore consistency regularization methods (e.g., FixMatch) to perform scene classification in EO data. Moving to generative modeling, we show the potential of joint energy-based models for semi-supervised classification and many other EO applications. Through extensive experiments, we show that SSL allows us to train algorithms with better performances and generalization capacities for land use and land cover mapping.

Finally, our contributions also include the release of Mini-France, the first dataset and open benchmark designed to assess and help design SSL in remote sensing, and part of the IEEE GRSS Data Fusion Contest 2022.

Mots-clés

Deep learning; semi-supervised learning; Earth observation; semantic segmentation; land use/ land cover mapping

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022LORIS622>



Adrien Metge

Thèse soutenue le 02 décembre 2022 à Salon-de-Provence

ED 209 (SPI) - Sciences physiques et de l'ingénieur - Bordeaux

Encadrement

Département Traitement de l'information et systèmes, ONERA - Salon-de-Provence

Encadrant : Nicolas Maille, ONERA/DTIS

Directeur de thèse : Benoît Le Blanc de l'ENSC, Bordeaux

Jury

Norbou Buchler, Chief networked systems branch, DEVCOM Analysis Center

Julien Cegarra, Professeur, Institut national universitaire Champollion

Nelly Chouvy, Responsable métier science de l'homme, DGA

Bernard Claverie, Professeur, Institut polytechnique de Bordeaux

Benoît Le Blanc, Professeur, Institut polytechnique de Bordeaux

Nicolas Maille, Ingénieur de recherche, ONERA

Anne-Lise Marchand, Chercheuse, CREA

Financement

ONERA, DGA

Contact

nicolas.maille@onera.fr

Opérateurs et systèmes intelligents : se comprendre pour décider. Application à la supervision de drones

Résumé

Cette thèse de doctorat présente un travail de recherche transdisciplinaire qui s'inscrit dans une démarche d'ingénierie cognitive. À l'intersection de l'Intelligence Artificielle et du Facteur Humain, nous explorons les principes d'interaction qui permettent la mise en place d'une collaboration performante entre un utilisateur et un système de recommandation intelligent dans un contexte de prise de décision. Nous nous concentrons sur le cadre applicatif de la planification, pour lequel nous avons développé un environnement de simulation qui met en scène un opérateur aérien chargé de superviser un drone doté d'un haut niveau d'autonomie décisionnelle. Le scénario des missions, amène l'opérateur à déterminer un nouveau plan de vol assisté par des recommandations intelligentes. Une analyse de la littérature nous permet de caractériser trois problématiques scientifiques. La première problématique s'intéresse aux conséquences d'un changement de la participation de l'IA à la prise de décision sur le ressenti de l'opérateur. Nos résultats indiquent que lorsque l'IA réduit sa participation en arrêtant de proposer des suggestions de plan, le sentiment de l'opérateur d'être responsable et à l'origine de la solution augmente significativement. Lorsque l'IA accroît sa participation en introduisant de suggestions de plan qui n'étaient pas proposées dans un premier temps, le sentiment de l'opérateur d'être responsable et à l'origine de solution diminue peu alors même que les plans validés deviennent plus homogènes. La deuxième problématique examine les liens potentiels entre les critères de compromis des plans construits avec l'IA par l'opérateur et les éléments de sa personnalité qui pourraient la prédire, sur des terrains où il n'existe pas de plan concevable qui ait une qualité acceptable. Nous mettons en évidence une préférence individuelle pour la dégradation d'un des trois critères de compromis du plan. La troisième problématique porte sur l'élaboration d'une IA qui prenne mieux en compte le processus décisionnel humain. Des entretiens d'auto confrontation avec des participants nous ont permis d'établir un modèle du processus décisionnel de l'opérateur pour la tâche de replanification dans l'environnement. Nous avons analysé comment la manière dont l'opérateur utilise les différents outils permet de révéler dans quelle phase de construction de la solution il se situe, ce qui nous a permis d'automatiser le suivi de ce processus. Ces résultats permettent d'identifier des enjeux de facteur humain liés aux usages futurs de l'IA dans les équipes humain-IA et de proposer des principes de conception qui s'appuient sur les mécanismes cognitifs qui sous-tendent la prise de décision humaine pour poser les bases d'une interaction avec le système d'IA.

Mots clés

Équipe humain-autonomie, interaction humain-machine, collaboration, prise de décision, planification, conception centrée utilisateur, facteur humain

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022ESAE0025>

Pierre-Julien Chaîne

Thèse soutenue le 21 juin 2022 à Toulouse

ED 475 (MITT) - Mathématiques Informatique Télécommunications de Toulouse

Encadrement

Département Traitement de l'information et systèmes, ONERA - Toulouse

Encadrant : Marc Boyer, ONERA/DTIS

Directrice de thèse : Claire Pagetti, ONERA/DTIS

Jury

Sébastien Pillement, Professeur, Polytech' Nantes

Ye-Qiong Song, Professeur, Université de Lorraine

Alhem Mifdaoui, Professeure, ISAE SUPAERO

Jean-Luc Scharbarg, Professeur, INPT-ENSEEIH

Liliana Cucu-Grosjean, Directrice de recherche, INRIA

Claire Pagetti, Maîtresse de conférences, ONERA

Financement

Airbus

Best student paper award à la conférence RTNS2022, Paris

Contact marc.boyer@onera.fr



Adaptabilité de *Time Sensitive Networking* aux exigences de l'industrie aérospatiale

Résumé

L'industrie aérospatiale fait face à un nouveau défi: proposer de nouvelles fonctionnalités et de nouvelles missions autour de la Terre, dans le système solaire et au-delà. Ces nouveautés ne se feront pas sans une amélioration de la performance à bord des satellites, notamment au niveau de l'architecture de communication. C'est la raison pour laquelle un changement radical des réseaux embarqués est envisagé, passant du bus MIL-STD-1553 pour le trafic temps réel et Spacewire pour le trafic haut débit, à un réseau «unifié» reposant sur une technologie unique capable de transporter ces deux types de trafic. IEEE Time Sensitive Networking (TSN) semblait prometteuse pour remplir cette fonction. L'enjeu de la thèse a ainsi été de valider l'adéquation de TSN vis à vis des exigences actuelles et futures de l'industrie aérospatiale.

Dans un premier temps, cette thèse propose une comparaison d'un ensemble de technologies, préalablement sélectionnées par l'industriel, dans le but d'identifier, sur la base d'une analyse qualitative, la ou les technologies les plus à même de répondre aux besoins des satellites nouvelle génération. Puis, dans un second temps, cette thèse propose une nouvelle approche pour la configuration des réseaux TSN intitulée Egress-TT. En effet, TSN est un ensemble de standards complexes qui demandent un effort conséquent pour déterminer et instancier les paramètres nécessaires au design d'un système industriel. Cette approche permet de réduire l'effort nécessaire pour configurer les réseaux TSN tout en facilitant les interactions entre les applications et le réseau sous-jacent, sans pour autant négliger les exigences en qualité de services de ces systèmes.

Mots clés

Réseaux embarqués, réseaux temps-réel, Time Sensitive Networking, satellite, configuration, 802.1Qbv.

Alfonso Mascarenas Gonzalez

Thèse soutenue le 21 décembre 2022 à Toulouse

ED 475 (MITT) - Mathématiques informatique télécommunications de Toulouse

Encadrement

Département Traitement de l'information et systèmes, ONERA - Toulouse

Encadrant : Youcef Bouchebaba, ONERA/DTIS

Directeur de thèse : Frédéric Boniol, ONERA/DTIS

Co-directeur de thèse : Jean-Baptiste Chaudron, ISAE-SUPAERO

Jury

Frédéric Boniol, Directeur de recherche, ONERA

Gabriela Nicolescu, Professeure Polytechnique, Montréal

Joël Goossens, Professeur Université, Libre de Bruxelles

Youcef Bouchebaba, Ingénieur de recherche, ONERA

Jean-Baptiste Chaudron, Ingénieur de recherche, ISAE-SUPAERO

Mathieu Jan, Directeur de recherche, CEA Palaiseau

Christine Rochange, Professeure, Université Paul Sabatier

Nicolas Navet, Professeur, Université du Luxembourg

Financement

AID, DGAC

Contact

youcef.bouchebaba@onera.fr



Université
de Toulouse



DDR SDRAM Interference Minimization via Task and Memory Mapping in a Multi-objective Optimization context on Heterogeneous MPSoCs

Résumé

Safety-critical systems demand high levels of execution time reliability as failing to meet the imposed timing conditions results in catastrophic consequences. Therefore, assuring that the Worst-Case Execution Time (WCET) of a task does not overpass its deadline is a must. The ongoing replacement of monocoresh platforms by multicore platforms offers a reduction in SWaP-C (Size, Weight, Power and Cost) but with an interference penalty due to resource sharing. Consequently, the latter adds variable overhead to the tasks, reducing the capacity of predicting their WCET as well as obtaining larger execution times with respect to isolation conditions.

The primary shared resources are normally the memory subsystems, hence being the main interference source of the platform. This interference can be found in any kind of shared memory device, e.g. DDR, SRAM, caches. Currently, there exists some solutions to palliate this issue coming from both, hardware and software fields. The main objective of this thesis is to reduce the memory interference, especially the one coming from the main memory, through multi-objective task mapping optimization. Metaheuristic optimization algorithms are used to map the tasks and its memory in such a way that several conflicting objectives are optimized, being one of these the DDR memory interference. To do so, the algorithms make use of a cost function for evaluating each objective. The cost function used for the DDR SDRAM interference evaluation is self designed. The evaluation of the interference cost

function and the task and memory mapping is carried out by comparing the theoretical and measured results. The heterogeneous platforms Keystone II and Sitara AM5728 developed by Texas Instruments are used.

Mots clés

Real-time, Safety-critical, DDR SDRAM interference, Cost function, Task and memory mapping, multi-objective optimisation

Quentin Peyras

Thèse soutenue le 14 janvier 2022 à Toulouse

ED 475 (MITT) - Mathématiques informatique télécommunications de Toulouse

Encadrement

Département Traitement de l'information et systèmes, ONERA - Toulouse

Encadrant : Julien Brunel, ONERA/DTIS

Directeur de thèse : David Chemouil, ONERA/DTIS

Jury

Catherine Dubois, Professeure, ENSIIE

Stéphane Demri, Directeur de recherche CNRS, LSV, CNRS

Denis Kuperberg, Chercheur, LIP, CNRS

Jean-Paul Bodeveix, Professeur, Université Paul Sabatier

David Chemouil, Directeur de recherche, ONERA

Julien Brunel, Ingénieur-chercheur, ONERA

Financement

ONERA

Contact

julien.brunel@onera.fr



Université
de Toulouse



Propriété du domaine borné pour la logique temporelle linéaire du premier ordre et applications à la vérification de systèmes à états infinis

Résumé

La logique temporelle linéaire du premier ordre (FOLTL) offre un cadre naturel pour la spécification de systèmes à états infinis mais n'est pas décidable. Dans cette thèse, nous cherchons à exploiter des fragments décidables de FOLTL pour vérifier, idéalement automatiquement, la correction de systèmes à états infinis.

Notre approche s'appuie de manière centrale sur une variante de la propriété du modèle fini. Cette propriété d'un fragment d'une logique affirme que, pour toute formule du fragment, il est possible de calculer une borne telle que, si cette formule est satisfiable, alors elle l'est dans un modèle de taille inférieure ou égale à cette borne. La variante que nous considérons, appliquée à FOLTL, ne borne que le domaine du premier ordre, et pas l'horizon temporel. Ceci permet en pratique de réduire le problème de satisfiabilité de FOLTL à celui, décidable, de LTL.

Nos travaux s'organisent en trois étapes. Dans un premier temps, nous exhibons divers fragments relativement expressifs de FOLTL possédant cette propriété. Toutefois, ces fragments seuls ne sont pas suffisant pour y spécifier des exemples réels de systèmes à états infinis. C'est pourquoi, dans un second temps, nous définissons trois transformations permettant d'abstraire des spécifications de systèmes à états infinis vers les fragments décrits précédemment ou existant déjà dans la littérature. Une de ces transformations est totalement automatique tandis que les deux autres requièrent une entrée de la part du spécifieur. Enfin, nous présentons dans un dernier temps l'implémentation et l'évaluation de ces méthodes. Pour ce faire, nous définissons un langage de spécification permettant la modélisation de système à états infinis et adapté à l'application de nos trois transformations. Un prototype permet, en exploitant nos résultats, de générer un problème de satisfiabilité LTL dont la résolution est déléguée à un model checker. Cette approche est ensuite évaluée sur un ensemble de spécifications de systèmes tirées de la littérature.

Mots clés

FOLTL, vérification, logique temporelle, logique du premier ordre, systèmes distribués, *model-checking*

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022ESAE0002>

Lucien Rakotomalala

Thèse soutenue le 15 février 2022 à Toulouse

ED 309 (EDSYS) - Systèmes - Toulouse

Encadrement

Département Traitement de l'information et systèmes, ONERA - Toulouse

Encadrant : Marc Boyer ONERA/DTIS

Directeur de thèse : Marc Boyer, ONERA/DTIS

Co-directeur de thèse : Pierre Roux, ONERA/DTIS

Jury

Yves Bertot, INRIA

Emmanuel Grolleau, Ingénieur, Observatoire de Paris, LESIA

Sophie Quinton, Chercheuse, INRIA Grenoble

Sylvie Boldo, Directrice de recherche, INRIA, Orsay

Jean-Paul Bodeveix, Professeur, IRIT, Toulouse

Jean-Yves Le Boudec, Professeur, EPFL

Marc Boyer, Directeur de recherche, ONERA

Pierre Roux, Ingénieur-chercheur, ONERA

Financement

ANR

Contact

marc.boyer@onera.fr



Université
de Toulouse



Formalisation en Coq du calcul réseau

Résumé

De nos jours les avions ne peuvent se passer d'un important réseau embarqué pour faire communiquer les nombreux capteurs et actionneurs qui y sont disséminés. Ces réseaux ayant une fonction critique, en particulier pour les commandes de vol, il est important d'en garantir certaines propriétés telles que des délais de traversée ou l'absence de débordement de buffers. Le calcul réseau est une méthode mathématique permettant de réaliser de telles preuves. Elle a joué un rôle clé dans la certification du réseau AFDX, dérivé de l'Ethernet, utilisé à bord des avions les plus récents (A380, A350).

Le Calcul Réseau se base sur des résultats mathématiques utilisant l'algèbre tropicale. Ces résultats sont relativement simple mais déjà bien assez subtiles pour qu'il soit très facile de commettre des erreurs ou des omissions lors de preuves papier ou de calcul de valeur concrètes. Par ailleurs, les assistants de preuve sont un bon outil pour réaliser une vérification mécanique de ce genre de preuves et obtenir un très haut niveau de confiance dans leurs résultats.

Nous formalisons donc avec un tel outil les notions et propriétés fondamentales de la théorie du Calcul Réseau. Ces résultats font intervenir des propriétés sur les nombres réels, tel que des bornes supérieures et des limites de fonctions linéaires donc nous souhaitons utiliser un outil de formalisation capable d'implémenter un tel niveau mathématique. Nous utilisons l'assistant de preuve Coq. Il s'agit d'un outil disposant déjà d'un long développement dont la librairie Mathematical Components qui permet de formaliser de l'analyse sur les nombres réels et la construction de structures algébriques comme celles utilisées dans le Calcul Réseau.

Le calcul de valeurs effectives repose sur des opérations de l'algèbre min-plus sur des fonctions réelles. Des algorithmes sur des sous ensembles spécifiques peuvent être trouvés dans la littérature. De tels algorithmes et leurs implémentations sont toutefois compliqués. Plutôt que de développer une preuve de la bonne implémentation de ces algorithmes, nous prenons une implémentation existante comme Oracle et nous donnons des critères de vérifications en Coq.

Mots clés

Coq, réseau temps réel, calcul dans min-plus, calcul réseau

Guillaume Hardouin

Thèse soutenue le 22 mars 2023 à Palaiseau

ED 585 (STS) - Sciences, technologies, santé - Amiens

Encadrement

Département traitement de l'information et systèmes ONERA - Palaiseau

Encadrant : Julien Moras, ONERA/DTIS

Directeur de thèse : Mustapha Mouaddib, UPJV MIS, Amiens

Co-encadrant : Fabio Morbidi, UPJV MIS, Amiens

Jury

Ouidad Labbani-Igbida, Professeure des universités, ENSIL-ENSCI, Limoges

Rudolph Triebel, Professeur des universités, DLR, TUM, Munich

Isabelle Fantoni, Directrice de recherche CNRS, LS2N, Nantes

Paolo Robuffo Giordano, Directeur de recherche CNRS, INRIA, Rennes

Julien Marzat, Ingénieur de recherche, ONERA

El Mustapha Mouaddib, Professeur des Universités, UPJV MIS, Amiens

Fabio Morbidi, Maître de conférences, UPJV MIS, Amiens

Julien Moras, Ingénieur de recherche, ONERA

Financement

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

Contact

julien.moras@onera.fr



A centralized and distributed multi-robot system for 3D surface reconstruction of unknown environments

Résumé

In archaeology and cultural heritage, the 3D modelling of large-scale structures using high-quality sensors, remains a time-consuming, complex, and expensive process. In the present age of robotics, a new generation of scanning systems based on mobile robots could address this challenge, improving efficiency, flexibility and responsiveness. This PhD thesis considers the problem of 3D reconstruction of an unknown environment, with a team of cooperative vehicles. The robots, equipped with forward-facing stereo cameras, explore the environment, uncover discrete Incomplete Surface Elements (ISEs) in the volumetric map, and generate candidate viewpoints to scan them. These areas of interest are greedily assigned to the robots using a Next-Best-View approach, where the visit is planned by iteratively solving a Traveling Salesman Problem. Then, a sampling-based planner is used to compute obstacle-free paths using the volumetric map. A single-robot architecture has been first designed, which leverages the 3D surface representation of volumetric map for planning. This architecture has been extended to a multi-robot system with a centralized ground station, in order to accelerate the scanning process. Finally, a distributed architecture has been presented and discussed to increase the robustness of the multi-robot system. Extensive numerical and real-world experiments with multiple aerial and ground robots have been conducted to validate the proposed architectures in challenging environments.

Mots clés

Multi-robot systems, Motion planning, Next-Best-View planning, 3D reconstruction.

Maxime El Masri

Thèse soutenue le 16 mars , 022 à Toulouse

ED 475 (MITT) - Mathématiques informatique télécommunications de Toulouse

Encadrement

Département Traitement de l'information et systèmes, ONERA - Toulouse

Encadrant : Jérôme Morio, ONERA/DTIS

Directeurs de thèse : Jérôme Morio, ONERA/DTIS ; Florian Simatos, ISAE

Jury

Jean-Michel Marin, Professeur, Université de Montpellier

Bruno Tuffin, Directeur de recherche, INRIA, Rennes

Jean-Marc Bourinet, Professeur, SIGMA, Clermont

Gersende Fort, Directrice de recherche Institut de Mathématiques de Toulouse

Olivier Zahm, Chargé de recherche, INRIA, Grenoble

Jérôme Morio, Directeur de recherche, ONERA

Florian Simatos, Professeur, ISAE Supaero

Financement

ONERA, ISAE

Contact

jerome.morio@onera.fr



Échantillonnage préférentiel en grande dimension via des projections dans un sous-espace de petite dimension

Résumé

De nombreuses disciplines scientifiques s'intéressent à l'estimation d'espérances d'une fonction d'intérêt selon une certaine loi de probabilité. Cette fonction peut être considérée comme une boîte noire, potentiellement coûteuse à évaluer. Une méthode couramment utilisée pour estimer des espérances, tout en limitant le nombre d'appels à la boîte noire, est la méthode d'échantillonnage préférentiel qui consiste à échantillonner selon une loi de probabilité auxiliaire au lieu de la loi initiale. Pour annuler la variance de l'estimateur d'IS, il existe une densité optimale théorique, mais celle-ci est inutilisable en pratique. En revanche, des algorithmes adaptatifs ont été développés pour approcher cette densité théorique par des densités paramétriques, en mettant à jour des paramètres de manière itérative.

Mais lorsque la dimension de l'espace des paramètres augmente, l'estimation des paramètres se dégrade et les algorithmes d'AIS, et l'IS en général, deviennent inefficaces. L'estimation finale de l'espérance devient alors très imprécise, notamment du fait de l'accumulation des erreurs commises dans l'estimation de chaque paramètre.

L'objectif principal de cette thèse est ainsi d'améliorer la précision de l'IS en grande dimension, en réduisant le nombre de paramètres estimés à l'aide de projections dans un sous-espace de petite dimension. Nous nous concentrons particulièrement sur la recherche de directions de projection influentes pour l'estimation de la matrice de covariance dans un cadre gaussien unimodal. La première piste explorée est la projection sur le sous-espace de dimension un engendré par la moyenne optimale. Cette direction est particulièrement pertinente dans le cas d'estimation d'une probabilité d'événement rare, car la variance semble diminuer selon cette direction. La seconde proposition correspond à la projection optimale obtenue en minimisant la divergence de Kullback-Leibler avec la densité visée. Cette seconde proposition permet de projeter dans un espace de plusieurs dimensions contrairement à la première, et permet d'identifier les directions les plus influentes. Dans un premier temps, l'efficacité de ces projections est testée sur différents exemples d'estimation d'espérances en grande dimension, dans un cadre théorique n'impliquant pas d'algorithmes adaptatifs. Ensuite, nous proposons un couplage de ces projections avec l'algorithme d'Entropie Croisée, un algorithme d'AIS destiné à l'estimation de probabilités d'événements rares. L'efficacité de ces algorithmes est vérifiée sur plusieurs cas-tests avec un faible budget de simulation. Les simulations montrent que les méthodes proposées sont plus précises que la CE classique en grande dimension avec un même budget.

Mots clés

Estimation, échantillonnage préférentiel, grande dimension, projection

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022ESAE0014>

Gaspard Berthelin

Thèse soutenue le 21 juin 2022 à Toulouse

ED 467 (AA) - Aéronautique, astronautique - Toulouse

Encadrement

Département traitement de l'information et systèmes, ONERA - Toulouse

Encadrant : Nathalie Bartoli, ONERA/DTIS

Directeur de thèse : Michel Salaün, ISAE-SUPAERO

Co-directeur de thèse : Sylvain Dubreuil, ONERA/DTIS

Co-encadrant : Christian Gogu, Université Paul Sabatier

Jury

Michael Kokkolaras, Professeur, Université McGill

Rodolphe Le Riche, Directeur de Recherche, LIMOS

Pierre-Alain Boucard, Professeur, ENS Paris-Saclay

Mathilde Chevreuil, Plessis MCF, Nantes Université

Michel Salaün, Professeur, ISAE-SUPAERO

Sylvain Dubreuil, Docteur, ONERA

Nathalie Bartoli, Maître de recherche, ONERA

Christian Gogu MCF, Université Paul Sabatier

Financement

ONERA, ISAE

Contact

nathalie.bartoli@onera.fr



Optimisation multidisciplinaire et réduction d'ordre de modèle

Résumé

Ces dernières décennies, les concepteurs avant-projet en aéronautique ont porté un intérêt particulier sur l'interaction entre les différents experts impliqués dans la modélisation des performances d'un avion. Ces experts utilisent des codes de simulation numériques dits disciplinaires pour modéliser leur discipline et échangent des informations afin de prendre en compte l'influence des autres disciplines sur la leur. Le système couplé via ces informations est nommé analyse multidisciplinaire (MDA). La recherche de la meilleure configuration, consiste à identifier les variables de conception optimisant une fonction de performance calculée à partir de la solution de la MDA. La résolution de ce problème d'optimisation soulève plusieurs défis. Premièrement, l'évaluation de chaque modèle disciplinaire est coûteuse et minimiser les appels à ces solveurs lors de l'optimisation représente un des principaux objectifs de la thèse. Deuxièmement, nous considérons que les informations échangées entre les solveurs disciplinaires sont de grande dimension. Finalement, la méthode de résolution doit être la plus générique possible. Plusieurs formulations ont été proposées pour la résolution de ce type de problème mais aucune ne permet de relever entièrement ces défis. Une des propositions les plus prometteuses est de remplacer chacun des solveurs disciplinaires par des processus gaussiens et de coupler ces solveurs approchés pour obtenir une approximation de la MDA. L'idée est alors d'utiliser la variance des GP pour estimer les incertitudes sur la MDA et d'enrichir les GP lorsque cela s'avère nécessaire. Cependant, cette méthode ne peut être appliquée lorsque les informations échangées sont de grande dimension. Une autre voie de réduction du coût numérique est basée sur les méthodes de réduction d'ordre de modèle par projection. Pour cela, les sorties des modèles sont projetées sur une base réduite de faible dimension. Une des limitations de cette approximation est l'évaluation de l'erreur commise par la projection. L'objectif de la thèse est alors de coupler GP et réduction d'ordre de modèle afin de proposer une méthode de résolution d'un problème d'optimisation multidisciplinaire permettant de relever les défis proposés. Pour cela, l'idée est de remplacer chaque solveur disciplinaire par une approximation combinant projection et interpolation par GP. Une première partie des travaux consiste à utiliser la projection de Petrov-Galerkin comme technique de réduction d'ordre de modèle et d'estimer l'erreur de projection par analyse statistique et pré conditionnement. Une application est proposée sur l'optimisation d'une quantité d'intérêt via un couplage avec un algorithme bayésien. Ce couplage testé sur le dimensionnement d'une aile d'avion montre un fort potentiel de réduction des temps de calcul.

Mots clés

Résolution analyse multidisciplinaire, optimisation multidisciplinaire, modèles de substitution, processus gaussien, décomposition orthogonale aux valeurs propres, avant-projet avion

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022ESAE0036>

Marvin Stanczak

Thèse soutenue le 4 avril 2022 à Toulouse

ED 309 (EDSYS) - Systèmes - Toulouse

Encadrement

Département Traitement de l'information et systèmes, ONERA - Toulouse

Encadrant : Vincent Vidal, ONERA/DTIS

Directeurs de thèse : Vincent Vidal, Cédric Pralet, ONERA/DTIS

Jury

Dominique Feillet, Chercheur, École des Mines de Saint-Étienne

Nicolas Jozefowicz, Professeur des universités, Université de Lorraine

Cédric Pralet, Directeur de recherche, ONERA

Vincent Vidal, Ingénieur-chercheur, ONERA

Vincent Baudoui, Ingénieur, Airbus Defence and Space

Nadia Brauner, professeur, Université de Grenoble-Alpes

François Clautiaux, Professeur, Institut de mathématiques de Bordeaux

Élise Ivareilles, Professeur, Institut supérieur de l'aéronautique et de l'espace

Financement

Airbus Defence and Space

Contact

vincent.vidal@onera.fr



Université
de Toulouse



AIRBUS

Optimisation du routage de guides d'ondes pour un satellite de télécommunications

Résumé

Ces dernières décennies, la demande en services de communication fixes ou mobiles, de télévision en direct, de radio numérique ou d'Internet à haut débit a augmenté de manière exponentielle. Pour y répondre, les opérateurs de satellites de télécommunications doivent accroître continuellement la capacité de leurs satellites, ce qui engendre une hausse importante du nombre d'équipements et de connexions au sein des nouvelles charges utiles. Parmi ces connexions, les guides d'ondes sont des canalisations à section rectangulaire qui transportent des signaux électromagnétiques entre deux composants du satellite. Ces signaux subissent des pertes radio-fréquentielles en ligne lors du parcours des guides d'ondes. Ainsi, la conception du harnais de guides d'ondes joue un rôle crucial sur les performances du satellite. Cette thèse propose des méthodes d'optimisation pour le routage détaillé des guides d'ondes permettant de réduire leur longueur tout en prenant en compte les contraintes de conception du harnais radio-fréquentiel. La problématique est traitée en deux étapes, en ignorant d'abord les contraintes spatiales dans une version simplifiée, puis en considérant les différents obstacles à éviter.

Des approches exactes utilisant la programmation linéaire mixte ainsi que des méthodes basées sur les algorithmes de recherche informés sont explorées.

Mots clés

Optimisation, routage de canalisations, méta-heuristiques, algorithmes de recherche informés, programmation linéaire, guides d'ondes

Télécharger la thèse : <https://www.theses.fr/2022ESAE0020>

CONTRATS POST-DOCTORAUX TERMINÉS EN 2022

DOMAINE MATÉRIAUX ET STRUCTURES

Eliot Schulher Analyse thermomécanique du comportement des matériaux soumis à de hautes vitesses de déformation	186
Armand Barbot Modélisation multi-échelle de la plasticité à l'aide d'algorithmes d'intelligence artificielle.....	187
Victor Szczepans Modélisation de la porosité Kirkendall dans les polycristaux	188

DOMAINE MÉCANIQUE DES FLUIDES ET ÉNERGÉTIQUE

Moussa Diop Simulation instationnaire d'un écoulement autour d'immeubles	189
Jean-Christophe Hoarau Transport de la densité d'aire interfaciale pour la simulation des écoulements diphasiques dans les moteurs-fusées à ergols liquides	190
Virgile Charton Simulation mixte du plasma issu de jet moteur en haute atmosphère	191
Mohamed Yacine Ben Ali <i>Data assimilation of aero-optical measurements for thermal flow reconstruction</i>	192
Adèle Veilleux Conduite et post-traitement d'une simulation aux grandes échelles du phénomène de transition bypass sur paroi froide.....	193

DOMAINE PHYSIQUE

Marie Guionie Sources laser à spectre étroit dans la gamme 8-12 μm pour la détection de gaz à distance	194
Claire Abadie Photodétecteurs nanostructurés à base de nanocristaux colloïdaux	195
Rémi Pacaud Nouveaux moyens de diagnostic de l'effet multipactor	196
Laurent Quibus <i>Characterization and simulation of the tropospheric propagation channel at Ka and Q/V bands using physical deterministic models</i>	197

DOMAINE TRAITEMENT DE L'INFORMATION ET SYSTÈMES

Mariem Turki <i>Predictable implementation of convolutional neural networks on many-core platforms</i>	198
Sara Maqrot Partage de ressources entre utilisateurs pour une constellation de satellites d'observation	199
Thomas Chevet Pronostic à base de modèles et commande tolérante aux dégradations pour les systèmes aérospatiaux.....	200
Louise Barne <i>Decoding cognition</i>	201
Tran Vi-vi Élodie Perrin <i>Design of experiments and surrogate models for aerodynamic data</i>	202

DOMAINE SIMULATION NUMÉRIQUE AVANCÉE

Pratik Rai <i>Predictable implementation of convolutional neural networks on many-core platforms</i>	203
---	-----

DOMAINE MATÉRIAUX ET STRUCTURES

Thématique Modélisation des phénomènes macroscopiques complexes

Eliot Schulher

Analyse thermomécanique du comportement des matériaux soumis à de hautes vitesses de déformation

Post-doc terminé le 28 février 2022

Environnement

Département Matériaux et structures, ONERA - Lille

Responsables : Thomas Fourest, ONERA/DMAS

Tuteur : Bertrand Langrand (DR1), ONERA/DMAS

Financement

ONERA

Contact olivier.leon@onera.fr

DOMAINE MATÉRIAUX ET STRUCTURES

Thématique Physique et comportement des matériaux :
de l'atome à la microstructure

Armand Barbot

Modélisation multi-échelle de la plasticité
à l'aide d'algorithmes d'intelligence artificielle

Post-doc terminé le 17 juillet 2022

Environnement

Département Matériaux et structures, ONERA - Châtillon

Responsable : Riccardo Gatti, CNRS/LEM

Tuteur : Riccardo Gatti, CR CNRS/LEM

Financement

ONERA

Contact laurent.castanet@onera.fr



DOMAINE MATÉRIAUX ET STRUCTURES

Thématique Modélisation des phénomènes macroscopiques complexes

Victor Szczepan

Modélisation de la porosité Kirkendall
dans les polycristaux

Post-doc terminé le 31 août 2022

Environnement

Département Matériaux et structures, ONERA - Châtillon

Responsables : Thomas Gheno, ONERA/DMAS

Tuteur : Yann Le Bouar, DR CNRS/LEM

Financement

ONERA

Contact thomas.gheno@onera.fr

Moussa Diop

Simulation instationnaire d'un écoulement autour d'immeubles

Post-doc terminé le 31 janvier 2022

Environnement

Département Aérodynamique, aéroélasticité, acoustique, ONERA - Lille

Responsables : Jean-François Le Roy, Laurent Planckaert, ONERA/DAAA

Tuteur : Éric Garnier (DR1), ONERA/DAAA

Financement

FEDER

Contact jean-francois.le_roy@onera.fr



CE PROJET EST
COFINANCÉ PAR L'UNION
EUROPÉENNE AVEC
LE FONDS EUROPÉEN
DE DÉVELOPPEMENT
RÉGIONAL

Jean-Christophe Hoarau

Transport de la densité d'aire interfaciale
pour la simulation des écoulements diphasiques
dans les moteurs-fusées à ergols liquides

Post-doc terminé le 30 avril 2022

Environnement

Département Multiphysique pour l'énergétique, ONERA - Palaiseau

Responsables : Luc-Henry Dorey, Clément Le Touze, ONERA/DMPE

Tuteur : Jean-Luc Estivalezes (DR2), ONERA/DMPE

Financement

ONERA

Contact luc-henry.dorey@onera.fr

Virgile Charton

Simulation mixte du plasma issu de jet moteur
en haute atmosphère

Post-doc terminé le 3 juillet 2022

Environnement

Département Multiphysique pour l'énergétique, ONERA - Palaiseau

Responsable : Julien Labaune, ONERA/DMPE

Tuteur : Ajmal Khan Mohamed (DR2), ONERA/DMPE

Financement

ONERA

Contact julien.labaune@onera.fr

Mohamed Yacine Ben Ali

*Data assimilation of aero-optical measurements
for thermal flow reconstruction*

Post-doc terminé le 11 septembre 2022

Environnement

Département Multiphysique pour l'énergétique, ONERA - Toulouse

Responsable : Olivier Léon, ONERA/DMPE

Tuteur : Frédéric Champagnat (DR2), ONERA/DTIS

Financement

ONERA

Contact olivier.leon@onera.fr

Adèle Veilleux

Conduite et post-traitement d'une simulation
aux grandes échelles du phénomène de transition
bypass sur paroi froide

Post-doc terminé le 30 septembre 2022

Environnement

Département Multiphysique pour l'énergétique, ONERA - Toulouse

Responsable : Hugues Deniau, ONERA/DMPE

Tuteur : Hugues Deniau, ONERA/DMPE

Financement

ONERA

Contact hugues.deniau@onera.fr

DOMAINE PHYSIQUE

Thématique Instrumentation et métrologie par spectroscopie laser

Marie Guionie

Sources laser à spectre étroit dans la gamme
8-12 μm pour la détection de gaz à distance

Post-doc terminé le 31 janvier 2022

Environnement

Département Physique, instrumentation, environnement, espace, ONERA - Palaiseau

Responsable : Jean-Michel Melkonian, ONERA/DPHY

Tuteur : Antoine Godard (DR1), ONERA/PHY

Financement

ONERA

Contact olivier.leon@onera.fr



DOMAINE PHYSIQUE

Thématique Photodétection et nanophotonique

Claire Abadie

Photodétecteurs nanostructurés
à base de nanocristaux colloïdaux

Post-doc terminé le 16 mai 2022

Environnement

Département Optique et techniques associées, ONERA - Palaiseau

Responsable : Gregory Vincent, ONERA/DOTA

Financement

ANR

Contact gregory.vincent@onera.fr



DOMAINE PHYSIQUE

Thématique Charge et décharges électrostatiques sur satellite

Rémi Pacaud

Nouveaux moyens de diagnostic
de l'effet multipactor

Post-doc terminé le 31 août 2022

Environnement

Département Physique, instrumentation, environnement, espace, ONERA - Palaiseau

Responsables : Mohamed Belhaj, ONERA/DPHY

Tuteur : Mohamed Belhaj (DR2), ONERA/DPHY

Financement

ONERA

Contact olivier.leon@onera.fr



DOMAINE PHYSIQUE

Thématique Propagation et radiocommunications

Laurent Quibus

*Characterization and simulation of the
tropospheric propagation channel at Ka and Q/V
bands using physical deterministic models*

Post-doc terminé le 31 août 2022

Environnement

Département Électromagnétisme et radar, ONERA - Toulouse

Responsable : Laurent Castanet, ONERA/DEMR

Financement

CNES

Contact laurent.castanet@onera.fr



Mariem Turki

*Predictable implementation of convolutional
neural networks on many-core platforms*

Post-doc terminé le 28 février 2022

Environnement

Département Traitement de l'information et systèmes, ONERA - Toulouse

Responsable : Youcef Bouchebaba, ONERA/DTIS

Tuteur : Claire Pagetti (DR2) et Frédéric Boniol (DR2), ONERA/DTIS

Financement

ANR

Contact claire.pagetti@onera.fr

Sara Maqrot

Partage de ressources entre utilisateurs
pour une constellation de satellites d'observation

Post-doc terminé le 31 mars 2022

Environnement

Département Traitement de l'information et systèmes, ONERA - Toulouse

Responsables : Stéphanie Roussel, ONERA/DTIS

Tuteur : Gauthier Picard (DR2), ONERA/DTIS

Financement

BPI (projet LiChIE)

Contact stephanie.roussel@onera.fr

Thomas Chevet

Pronostic à base de modèles
et commande tolérante aux dégradations
pour les systèmes aérospatiaux

Post-doc terminé le 30 avril 2022

Environnement

Département Traitement de l'information et systèmes, ONERA - Toulouse

Responsable : Julien Marzat, ONERA/DTIS

Tuteur : Julien Marzat (DR2), ONERA/DTIS

Financement

ONERA

Contact julien.marzat@onera.fr

Louise Barne

Decoding cognition

Post-doc terminé le 7 juin 2022

Environnement

Département Traitement de l'information et systèmes, ONERA - Salon de Provence

Responsables : Andrea Desantis, ONERA/DTIS

Tuteur : Jean-Christophe Sarrazin (DR2), ONERA/DTIS

Financement

TOUCANS

Contact andrea.desantis@onera.fr

Tran Vi-vi Élodie Perrin

*Design of experiments and surrogate models
for aerodynamic data*

Post-doc terminé le 31 juillet 2022

Environnement

Département Traitement de l'information et systèmes, ONERA - Toulouse

Responsable : Nathalie Bartoli, ONERA/DTIS

Tuteur : Nathalie Bartoli (DR2), ONERA/DTIS

Financement

DGAC

Contact nathalie.bartoli@onera.fr



Pratik Rai

Modèles mathématiques de trafic urbain

Post-doc terminé le 7 juin 2022

Environnement

Département Traitement de l'information et systèmes, ONERA - Salon de Provence

Responsables : Guillaume Dufour, ONERA/DTIS

Tuteur : Sébastien Pernet (DR2), ONERA/DTIS

Financement

Projet TOUCANS (Corac)

Contact guillaume.dufour@onera.fr

HABILITATIONS À DIRIGER DES RECHERCHES SOUTENUES EN 2022

DOMAINE TRAITEMENT DE L'INFORMATION ET SYSTÈMES

Adrien Chan-Hon-Tong	Quelles données pour avancer sur l'IA de confiance ?	206
Jean-Christophe Sarrazin	Temps, action et conscience. Problématiques scientifiques de conception pour le contrôle et la conscience de l'action.....	208

DOMAINE PHYSIQUE

Joël Bergé	Tests multi-échelle de la gravitation dans l'espace : MICROSCOPE et le futur	210
Romain Ceolato	Diffusion de la lumière par des aérosols : contribution au lidar à rétrodiffusion élastique	212
Nicolas Rivière	Interactions matière-rayonnement et nouveaux concepts d'imageurs laser.....	214

Adrien Chan-Hon-Tong

Habilitation à diriger des recherches soutenue le 9 décembre 2022 à Palaiseau

Département Traitement de l'information et systèmes (DTIS) - Palaiseau

Jury

Catherine Achard, Professeur, Sorbonne

Patrick Gallinari Professeur, Sorbonne

Clément Mallet, HDR, ING

Teddy Furon, HDR, INRIA

Sébastien Lefèvre, Professeur, IRISIA

Fabien Moutarde, Professeur, Mines-Paris

Contact

adrien.chan_hon_tong@onera.fr

Quelles données pour avancer sur l'IA de confiance ?

Résumé

Les algorithmes d'apprentissage profond permettent de réaliser des tâches de vision par ordinateur (mais aussi de traitement du langage, du signal ...) avec des niveaux de performances inimaginables il y a 10 ans. Ils réalisent aujourd'hui certaines de ces tâches mieux que l'humain. Mais, ces niveaux de performance "en conditions contrôlées" cachent une réalité plus complexe : ces réseaux de neurones peuvent être très sensibles à des variations internes aux tâches à effectuer. Ces sensibilités imposent de repenser les fondations même de l'apprentissage par ordinateur. Ce qui conduit au terme ambiguë (si ce n'est malheureux) d'IA de confiance.

Dans cette soutenance en vue d'une habilitation à diriger des recherches, on discutera de ces sensibilités, de leurs conséquences, et de la place que peuvent jouer des laboratoires académiques dans la construction de cette IA de confiance. On s'interrogera notamment sur l'intérêt que peuvent avoir des données "physique" habituelles à l'ONERA pour avancer sur cette question.

Mots-clés

Apprentissage par ordinateur, apprentissage profond, IA de confiance

Jean-Christophe Sarrazin

Habilitation à diriger des recherches soutenue le 1er décembre 2022 à Marseille

Département Traitement de l'information et systèmes (DTIS) - Salon de Provence

Jury

Frédéric Alexandre, Directeur de recherche, INRIA, Bordeaux

Aymar de Rugy, Directeur de recherche, CNRS, Bordeaux

Brice Isableu, Professeur des universités, Université Aix-Marseille

Franck Mars, Directeur de recherche CNRS, Nantes

Guillaume Masson, Directeur de recherche CNRS, Marseille

Jean-Louis Mege, Professeur des universités-praticien hospitalier, Marseille

Contact

jean-christophe.sarrazin@onera.fr

Temps, action et conscience.

Problématiques scientifiques de conception pour le contrôle et la conscience de l'action

Résumé:

La clé du développement des technologies IHM réside dans l'acquisition de connaissances et dans l'intégration de différentes disciplines telles que la psychologie cognitive et les neurosciences par les industriels. Pourquoi l'Homme a-t-il des difficultés à contrôler des systèmes de plus en plus complexes ? Comment rendre plus sûr le fonctionnement du système homme-machine ? Répondre à ces questions nécessite de comprendre comment l'être humain acquiert et traite l'information pour produire des actions, rendre objectives certaines données du comportement humain en recherchant des marqueurs (comportementaux et physiologiques), de proposer des modèles formels de ce comportement afin qu'il soit, de manière symétrique, intelligible par la machine. Les travaux présentés dans ce document s'organisent autour de trois thèmes de recherche qui ont trait à l'étude des mécanismes de contrôle chez l'homme : (1) l'étude des déterminants sensorimoteurs et leurs liens avec la mémoire (les schémas moteurs) impliqués dans l'activité de pilotage, (2) la compréhension et la modélisation des relations entre conscience et contrôle de l'action, (3) l'étude des principes d'agentivité dans le contrôle des systèmes complexes. L'objectif principal de cette synthèse et des hypothèses de travail qui en découlent est de proposer un modèle de la conscience de la situation appliqué aux approches de conception centrées utilisateurs. Ce modèle est fondé sur l'idée que l'amélioration des performances opérationnelles qui passent par les interactions homme-machine ne consiste pas à accroître la conscience de la situation, mais bien à s'efforcer de contrôler le niveau d'accessibilité de ces interactions, de savoir les rendre implicites, et de comprendre l'enjeu des mécanismes de prise de conscience dans ces interactions. Dans cette perspective, modéliser la frontière entre le traitement conscient et inconscient et identifier les conditions et les principes computationnels par lesquels une représentation inconsciente évolue vers une représentation consciente deviennent des objectifs centraux. Les concepteurs des nouveaux systèmes d'assistance doivent comprendre quand une interaction est mieux contrôlée intentionnellement et consciemment, ou s'il est préférable qu'elle se déroule de manière routinière.

Mots clés :

Mémoire, perception-action, temps, conscience, agentivité, intégration homme-système

DOMAINE PHYSIQUE

Thématique **Accélérométrie spatiale haute performance**

Joël Bergé

Habilitation à diriger des recherches soutenue le 13 juin 2022 à Châtillon

Département Physique, instrumentation, environnement, espace (DPHY) - Châtillon

Jury

Alain Blanchard, Professeur, Institut de recherche en astrophysique et planétologie (IRAP), Université de Toulouse

Agnès Fienga, Astronome, GéoAzur, Observatoire de la Côte d'Azur

Philippe Jetzer, Professeur, Université de Zurich

Ernst Rasel, Professeur, Université de Hanovre

Patrick Valageas, Directeur de recherche, Institut de physique théorique, CEA, Université Paris-Saclay

Contact

joel.berge@onera.fr

Tests multi-échelle de la gravitation dans l'espace : MICROSCOPE et le futur

Résumé

Cette habilitation à diriger des recherches présente des résultats obtenus autour des activités en accélérométrie spatiale de l'ONERA. Son point de départ est la mission spatiale MICROSCOPE du CNES dont l'ONERA a développé l'instrument scientifique et est responsable de l'analyse des données. L'objectif de MICROSCOPE était de chercher une violation du principe d'équivalence, la pierre angulaire de la Relativité Générale, en comparant la chute libre de deux masses d'épreuve de composition différente en orbite terrestre. Il est rapidement apparu que la qualité des données de MICROSCOPE permettrait de dépasser son objectif initial et de contraindre des modèles alternatifs à la Relativité Générale.

Une large part des travaux présentés ici concerne ainsi de tels modèles, allant de la simple caractérisation phénoménologique d'une déviation à la gravité de Newton à un modèle tenseur-scalaire motivé théoriquement, la gravitation « caméléon ». Je montre comment MICROSCOPE a permis de contraindre ces modèles, dont les caractéristiques peuvent dépendre de l'échelle – ils peuvent occasionner une cinquième force de portée plus ou moins longue – à partir des résultats du test du principe d'équivalence, mais aussi à partir de données techniques dont l'utilisation scientifique n'était, a priori, pas envisagée.

Je mentionne les éventuelles limitations apportées par l'environnement expérimental – notamment, pour des tests en orbite terrestre, les incertitudes sur la forme de la Terre. Enfin, je présente un concept de mission dans l'espace profond, qui permettrait de sonder un régime pour l'instant inaccessible à l'expérimentation et pourrait lever le voile sur l'une des questions les plus prégnantes actuelles : la Relativité Générale doit-elle être révisée et englobée dans une théorie plus large ?

Mots clés

Gravitation, accélérométrie spatiale, MICROSCOPE.

DOMAINE PHYSIQUE

Thématique Lasers fibrés, lidars et imageurs 3D

Romain Ceolato

Habilitation à diriger des recherches soutenue le 25 novembre 2022 à Toulouse

Département Optique et techniques associées (DOTA), ONERA - Toulouse

Jury

Gorden Videen, Physicist, U.S. Army Research Laboratory

Adolfo Comerón, Professor, Universitat Politècnica de Catalunya

Alexandros Papayannis, Professor, National Technical University of Athens

Nobuo Sugimoto, Professor, National Institute for Environmental Studies, Japan

Paola Formenti, directrice de recherche au CNRS, LISA, Université Paris-Est Créteil

Jérôme Yon, Professeur, INSA Rouen, Université de Normandie

Matthew J. Berg, Associate Professor, Kansas State University

Xavier Orlik, Directeur de recherche, ONERA, Université de Toulouse

Contact

romain.ceolato@onera.fr



Diffusion de la lumière par des aérosols: contribution au lidar à rétrodiffusion élastique

Résumé

La motivation des travaux de recherche rapportés dans cette thèse d'Habilitation à Diriger des Recherches (HDR) a été de contribuer à relier le domaine de la diffusion de la lumière et les lidars aérosols à rétrodiffusion élastique.

La démarche entreprise a consisté à mesurer et à modéliser les paramètres pertinents pour le lidar (c'est-à-dire la rétrodiffusion, l'extinction, le rapport lidar) pour des aérosols aux géométries non-sphériques. Des méthodes électromagnétiques numériquement exactes, telles que l'approximation discrète des dipôles (DDA) ou la méthode T-matrice multi-sphères (MSTM), ont été utilisées pour modéliser les propriétés radiatives des agrégats fractals de suie. L'utilisation de ces méthodes a permis de mieux comprendre l'impact des paramètres microphysiques des agrégats fractals sur les paramètres pertinents pour le lidar. Des modèles simplifiés, basés sur l'approximation de Rayleigh-Debye-Gans pour des agrégats fractals (RDG-FA), ont aussi été proposés pour la première fois pour l'inversion lidar, tout en tenant compte de leur morphologie fractale. Ce modèle simplifié présente plusieurs avantages en télédétection active et a été facilement intégré dans des méthodes d'inversion.

lidar. Il a permis notamment d'estimer avec succès la concentration en nombre et en masse des émissions de suie de kérosène à partir de mesures lidar PSR-EBL (Picosecond Short-Range Elastic Backscatter Lidar). Cette technique originale de lidar a été développée pour mesurer à courte distance et à haute résolution spatiotemporelle les propriétés radiatives (ex. rétrodiffusion, extinction) et microphysiques des aérosols (ex. concentration en nombre et en masse). Une famille d'instruments lidar Colibri a été introduite pour caractériser à distance, sans prélèvement et sans contact, les panaches d'aérosols à proximité de leurs sources d'émission, qu'elles soient naturelles (ex. poussières volcaniques, bioaérosols, feux de biomasse) ou anthropiques issues des foyers de combustion aéronautiques (ex. turboréacteurs, propulseurs).

Mots clés

Diffusion de la lumière, lidar, aérosols, suies.

DOMAINE PHYSIQUE

Thématique Lasers fibrés, lidars et imageurs 3D

Nicolas Rivière

Habilitation à diriger des recherches soutenue le 16 novembre 2022 à Toulouse

Département Optique et techniques associées (DOTA), ONERA - Toulouse

Jury

Grégoire Casalis, ISAE-SUPAERO, Université de Toulouse

Philippe Dubuisson, LOA, Université de Lille

Simon Lacroix, LAAS-CNRS, Université de Toulouse

Clément Mallet, IGN, ENSG, Université Gustave Eiffel

Fawzi Nashashibi, INRIA, Paris-Rocquencourt

David Zammit-Mangion, Institut Aéronautique, Université de Malte

Contact

nicolas.riviere@onera.fr



Interactions matière-rayonnement et nouveaux concepts d'imageurs laser

Résumé

La caractérisation optique de certains milieux d'intérêt dans les domaines de l'aéronautique, de l'espace et de la défense est indispensable lorsque la méconnaissance de ces milieux ou la complexité des phénomènes physiques mis en jeu rend ardue l'évaluation directe par simulation de leurs propriétés optiques.

Différentes approches expérimentales sans contact sont possibles pour sonder les matériaux. Elles sont toujours complétées par une modélisation fine des événements physiques mis en jeu et qui régissent les propriétés de diffusion de la lumière.

À une échelle plus macroscopique, l'imagerie laser est de plus en plus mise en avant pour ses capacités de télédétection active permettant de retrouver simultanément plusieurs paramètres macrophysiques comme la géométrie des objets et leurs propriétés optiques de diffusion. La possibilité d'acquérir des données à grandes distances (plusieurs kilomètres) en étant peu tributaire des conditions environnementales (capacité tout temps, de jour comme de nuit) favorise le développement de nouvelles techniques de LiDAR 3D.

Nous adressons ici ces deux aspects en présentant dans un premier temps les connaissances physiques qu'il faut acquérir sur les milieux particuliers et les surfaces. Dans un second temps, nous nous intéressons à l'étude d'imageurs laser, à la modélisation de leurs performances puis à la co-conception de LiDAR 3D innovants pour des applications spécifiques et dictées par les besoins des utilisateurs finaux.

Mots-clés

Lidar 3D, imagerie laser, télémétrie, interaction laser-matière, diffusion de la lumière, milieux diffusants, vision améliorée

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/>



L'ONERA intervient en amont des grands programmes
d'aéronautique, d'espace et de défense.

Avions

Hélicoptères

Propulsion des aéronefs

Transport spatial

Systèmes orbitaux

Missiles

Drones

Systèmes de défense

Sécurité



6 CHEMIN DE LA VAUVE AUX GRANGES – 91120 PALAISEAU – FRANCE – TÉL. : +33 1 80 38 60 60

www.onera.fr