

Préparer le futur

Formation par la Recherche

Thèses de doctorat

& Habilitations à Diriger des Recherches

2019

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

Chiffres - clés 2019

1968	collaborateurs
1504	ingénieurs et cadres
102	habilités à diriger des recherches
298	doctorants
25	post-doctorants
223	stagiaires
315	communications dans des congrès avec actes
243	articles dans des revues à comité de lecture
1068	rapports techniques
87	thèses de doctorat soutenues
12	habilitations à diriger des recherches soutenues

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

Ce sont 87 soutenances qui ont eu lieu en 2019 avec de nombreux prix reconnaissant la qualité et l'originalité des résultats.

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

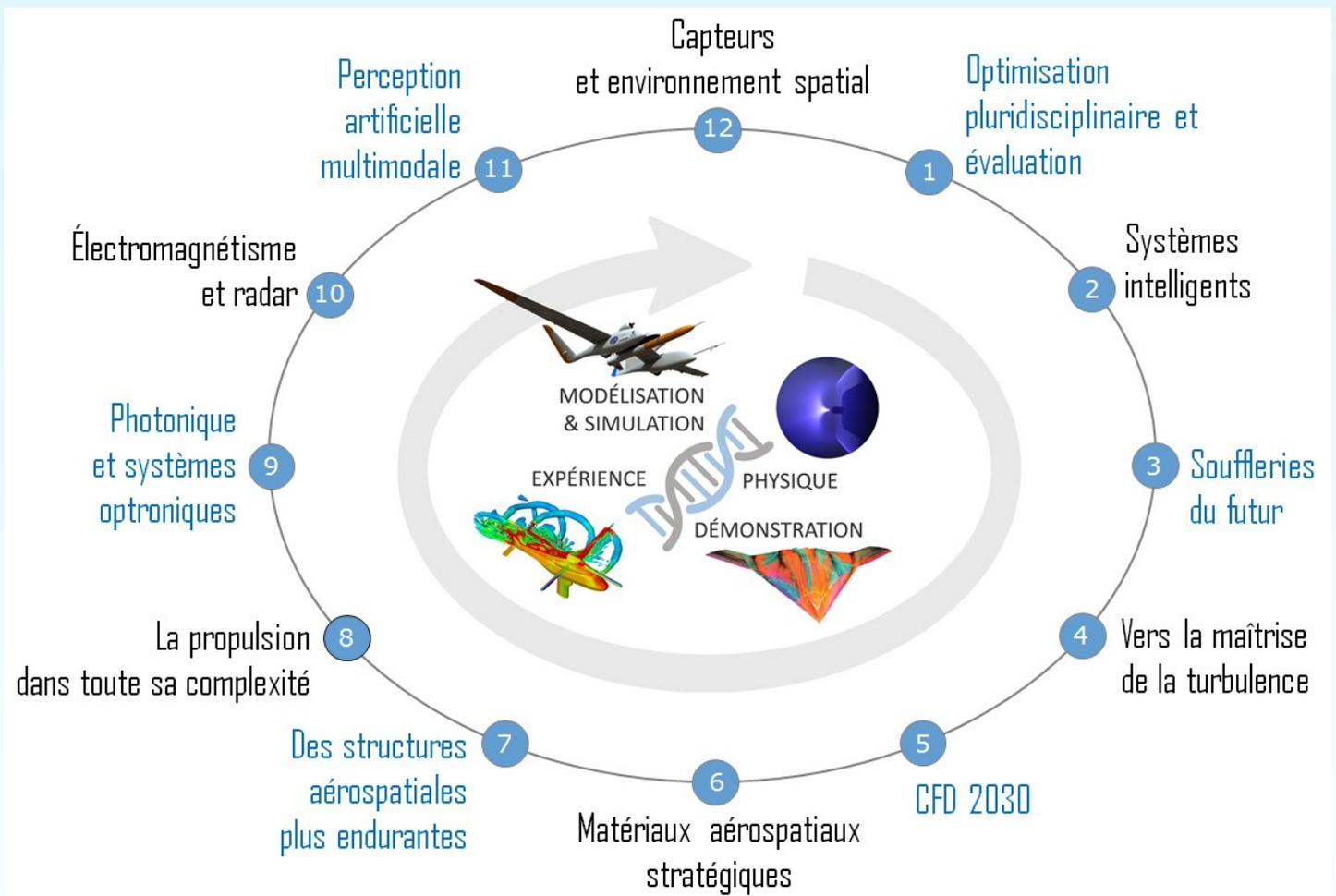
- Ils apportent la diversité culturelle et la disponibilité intellectuelle indispensables pour faire émerger des idées originales et innovantes ;
- Ils participent à la recherche la plus fondamentale, pour préparer l'avenir d'une recherche finalisée, avec des travaux qui puisent leur source dans les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

On trouvera également dans ce recueil les Habilitations à Diriger des Recherches soutenues en 2019, au nombre de 12 cette année. Cette reconnaissance du haut niveau scientifique des chercheurs de l'ONERA et de leur capacité à encadrer des doctorants est très fortement encouragée par la Direction Scientifique Générale. Le grand nombre de récompenses obtenues par les doctorants de l'ONERA atteste aussi de la qualité de l'encadrement et du suivi de toutes celles et ceux qui nous ont choisi pour réaliser leur projet de thèse. Il y a là un cercle vertueux qu'il faut continuer à alimenter.

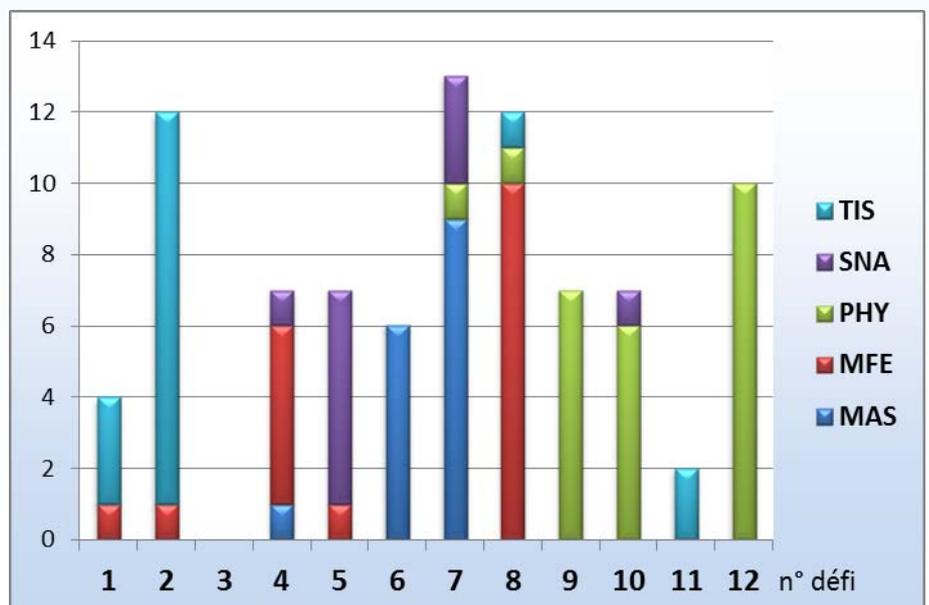
Pour chaque thèse et HDR, un contact ONERA a été indiqué, n'hésitez pas à échanger avec lui, pour obtenir plus d'information ou une publication, voire entamer une collaboration !

Stéphane ANDRIEUX
Directeur Scientifique Général

LES DEFIS DU PLAN STRATEGIQUE SCIENTIFIQUE 2015 - 2025



Répartition du nombre de thèses soutenues en 2019 par défi et domaine scientifique



Thèses soutenues en 2019 par domaine scientifique

Matériaux et Structures (MAS)	5
Mécanique des Fluides et Energétique (MFE).....	41
Physique (PHY).....	81
Simulation Numérique Avancée (SNA).....	135
Traitement de l'Information et Systèmes (TIS).....	161

Habilitations à diriger des recherches

HDR soutenues en 2019.....	199
----------------------------	-----

Annexes

Thèses en cours au 1er janvier 2020	225
Post-doctorats en cours au 1er janvier 2020	241
Devenir professionnel des docteurs ONERA	243
ALUMNI ONERA	244

Matériaux et Structures

Défi 4 - Vers la maîtrise de la turbulence

PFISTER Jean-Lou - Instabilités et optimisation de structures élastiques en interaction avec des écoulements laminaires8

Défi 6 - Matériaux aérospatiaux stratégiques

DERRÉ Jérémie - Conception vibro-acoustique de panneaux composites intégrant des structures fractales..... 10

ODINOT Julie - Développement de la fabrication additive directe par procédé DED-CLAD : de la poudre à la mise en forme de pièces céramiques denses 12

VAUBOIS Thomas - Etude expérimentale du diagramme de phases du système ternaire Aluminium –Titane–Tungstène..... 14

DOGHRI Anis - Vers une maîtrise de la réparation par le procédé CLAD de pièces aéronautiques en Inconel 738 LC : compréhension des mécanismes de fissuration et modélisations associées 16

DEGEITER Matthieu - Etude numérique de la dynamique des défauts d'alignement des précipités γ' dans les superalliages monocristallins à base de nickel 18

JIANG Maoyuan - Exploration des effets de la taille et de la forme des grains sur la plasticité cristalline par simulations de dynamique des dislocations20

Défi 7 - Des structures aérospatiales plus endurantes

RANAIVOMIARANA Narindra - Optimisation simultanée de la forme et de l'anisotropie des structures aéronautiques22

GOUTAUDIER Dimitri - Méthode d'identification d'un impact appliqué sur une structure admettant des modes de vibration basse fréquence faiblement amortis et bien séparés24

NAYLOR Robin - Prédiction des premiers endommagements des composites tissés par modélisation à l'échelle microscopique et validation multi-échelle26

MÉDEAU Victor - Rupture des composites tissés 3D : de la caractérisation expérimentale à la simulation robuste des effets d'échelle	28
PAGANO Fabrizio - Mécanismes de fatigue dominés par les fibres dans les composites stratifiés d'unidirectionnels	30
GARCIA Cécile - Modélisation de l'endommagement et de la rupture des matériaux composites tissés 3D appliquée aux chapes ceinturées	32
MULLER Laura - Estimation accélérée des performances en fatigue des matériaux et structures composites thermoplastiques par le suivi de leur autoéchauffement	34
SAFFAR Florence - Etude de la consolidation interpli de stratifiés thermoplastiques PEKK/fibres de carbone en conditions de basse pression	36
ARCHER Thibaut - Comportement sous gradients thermiques d'un composite à matrice céramique revêtu	38

Développer de nouvelles méthodes pour optimiser les propriétés des solides élastiques dans un écoulement et contrôler les instabilités à l'origine des vibrations

Jean-Lou PFISTER

Thèse soutenue le 12 juin 2019

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

Titre de la thèse

**Instabilités et optimisation de structures élastiques
en interaction avec des écoulements laminaires**

Encadrement

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Encadrant : Olivier Marquet - ONERA

Directeur de thèse : Denis Sipp - ONERA

Financement

European Research Council (ERC)

Défi scientifique

Vers la maîtrise
de la turbulence

www.onera.fr/pss



université
PARIS-SACLAY



Contact : Olivier.Marquet @ onera.fr

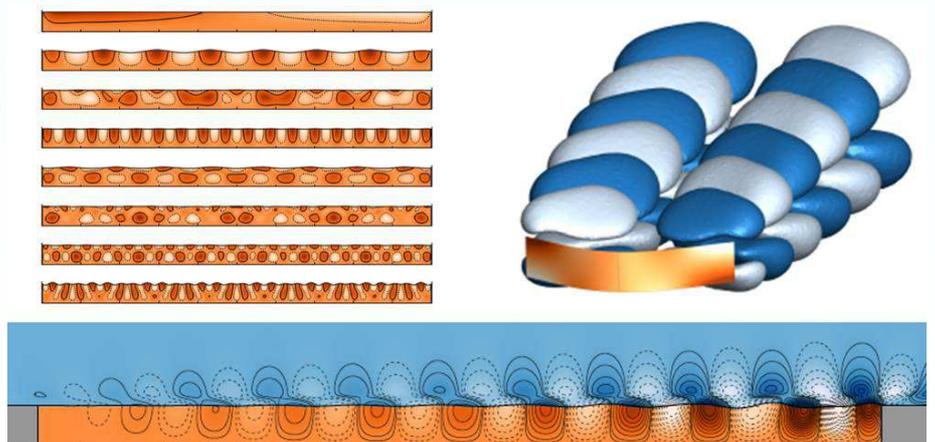
Résumé

De grandes déformations statiques et dynamiques surviennent lorsque des solides élastiques interagissent avec des écoulements visqueux. Des approches modales linéarisées sont utiles pour identifier les instabilités hydro-élastiques à l'origine des vibrations. Les objectifs de cette thèse sont de développer et d'appliquer des méthodes pour décrire la dynamique linéaire pour ensuite optimiser les propriétés du solide afin de contrôler cette dynamique.

La première partie de cette thèse présente les méthodes développées pour étudier la dynamique linéaire de perturbations fluide-solide autour d'états stationnaires non linéaires. Deux analyses sont envisagées : l'analyse aux valeurs propres permet d'étudier des instabilités fluides-solides auto-entretenues, tandis que l'analyse de l'opérateur résolvant permet de déterminer la réponse linéaire du système à des forçages externes.

La seconde partie est consacrée à l'analyse et au contrôle des vibrations sur un problème modèle constitué d'une plaque flexible attachée en aval d'un cylindre rigide. L'analyse aux valeurs propres permet d'identifier des modes propres fluide-solide qui décrivent des mécanismes de divergence et de *vortex-induced vibrations*, tandis que des simulations temporelles permettent d'explicitier les interactions non linéaires entre les modes instables. En second lieu, une optimisation de forme du corps rigide supportant la plaque élastique est proposée pour contrôler les modes instables. On peut alors stabiliser les modes, ou bien modifier leur fréquence d'oscillation.

Enfin, la troisième partie de la thèse traite du contrôle de la transition laminaire/turbulent d'une couche limite à l'aide de revêtements viscoélastiques. L'analyse de résolvant met en évidence une atténuation des ondes de Tollmien-Schlichting lorsque la rigidité du revêtement diminue. L'analyse aux valeurs propres montre en revanche que des modes à plus haute fréquence sont alors déstabilisés. Une stratégie pour optimiser la répartition de la rigidité du revêtement vis-à-vis de l'amplification des deux types d'instabilités est finalement proposée, qui permet à la fois d'atténuer les ondes de Tollmien-Schlichting basse-fréquence et de limiter le développement des instabilités haute-fréquence.



(Haut) Résultat d'une analyse modale pour (gauche) une structure élastique encastrée et (droite) une plaque élastique se déformant par interaction avec son sillage. (Bas) Mode de résolvant hydro-élastique d'un patch visco-élastique utilisé pour atténuer des ondes de Tollmien-Schlichting

Concevoir une nouvelle méthode de réduction des vibrations mécaniques et du rayonnement acoustique des matériaux sandwich

Jérémy DERRÉ

Thèse soutenue le 2 juillet 2019

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

Titre de la thèse

**Conception vibro-acoustique de panneaux composites
intégrant des structures fractales**

Encadrement

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Directeur de thèse : Frank Simon - ONERA

Financement

Région Occitanie & ONERA

Défi scientifique

Matériaux
aérospatiaux
stratégiques

www.onera.fr/pss



Université
de Toulouse

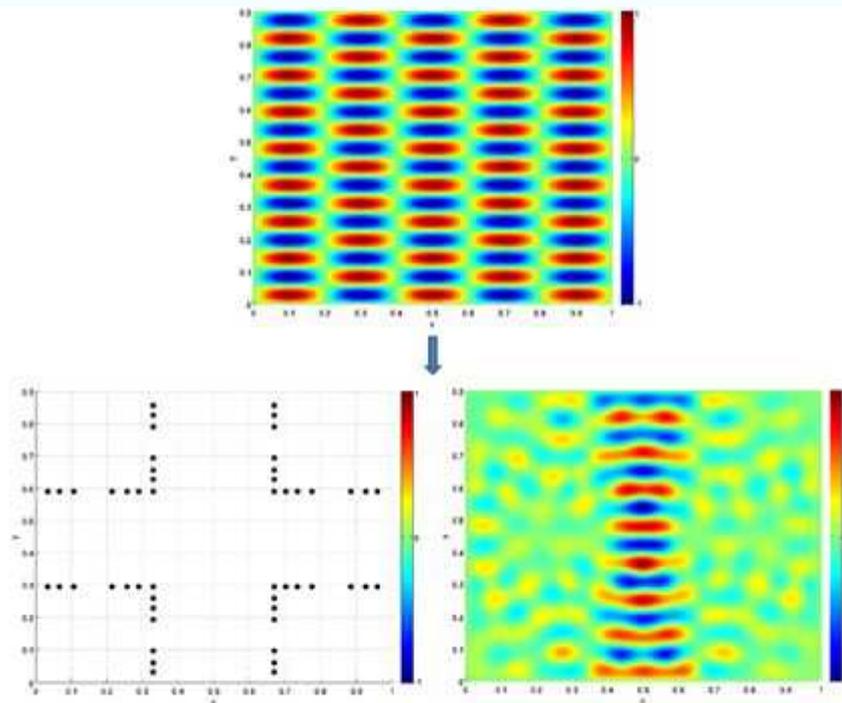


Contact : Frank.Simon @ onera.fr

Résumé

Les structures sandwich à cœur cellules nid d'abeilles sont largement employées dans l'industrie aéronautique, notamment pour leur grande rigidité de flexion à faible masse. Cette dernière caractéristique résulte également en une augmentation de la transmission et du rayonnement acoustique de ces structures. On cherche à modéliser une nouvelle stratégie passive de réduction des vibrations mécaniques et du rayonnement acoustique, se basant sur le principe de localisation des vibrations du matériau. L'idée fondatrice est l'insertion au sein du matériau d'hétérogénéités créant des obstacles pour la propagation des ondes mécaniques et donc des phénomènes de réflexion, transmission, diffusion voire dissipation de l'énergie mécanique vibratoire. Cela résulte en une localisation de certains modes structuraux, et modifie le rayonnement acoustique associé à ces modes.

Les travaux de thèse porte sur la modélisation, la simulation numérique et la validation expérimentale du comportement vibro-acoustique de structures sandwichs présentant des surcharges localisées suivant un schéma fractal .



Effet d'une distribution fractale de masse (+10%) sur la vibration d'un panneau sandwich

Adapter le procédé de fabrication additive directe DED-CLAD pour la mise en forme De pièces aéronautiques en céramiques denses et non fissurées

Julie ODINOT

Thèse soutenue le 6 décembre 2019

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

Titre de la thèse

**Développement de la fabrication additive directe
par procédé DED-CLAD : de la poudre à la mise en forme
de pièces céramiques denses**

Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrants : Aurélie Julian-Jankowiak & Johann Petit - ONERA

Directeur de thèse : Marc Thomas - ONERA

Financement

Institut Carnot MICA, projet Carnot CLADIATOR & ONERA

Défi scientifique

Matériaux
aérospatiaux
stratégiques

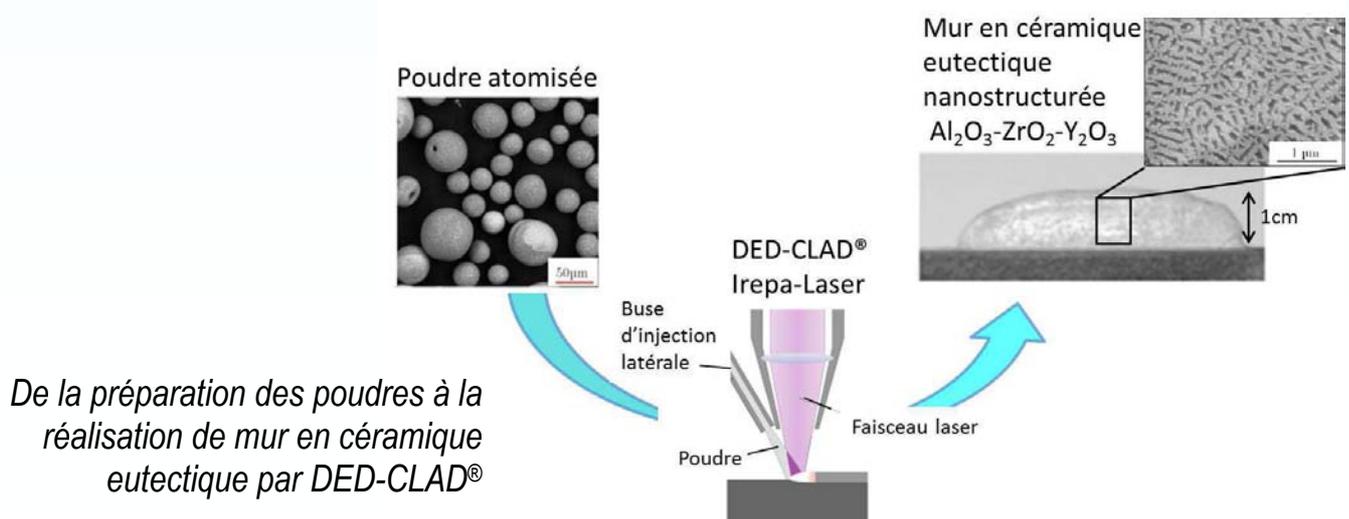


www.onera.fr/pss

Contact : Aurélie.Jankowiak @ onera.fr

Résumé

L'évolution des superalliages employés sur des applications aéronautiques thermostructurales montre actuellement ses limites, et leurs températures de fonctionnement sont de plus en plus difficiles à repousser. Les céramiques eutectiques, et en particulier la composition $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Y}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ (AYZ), plus réfractaires, sont ainsi d'intérêt pour remplacer les superalliages sur ces pièces soumises aux hautes températures. Cependant, l'application de ces céramiques dans ce domaine est limitée par la mise en forme de ces matériaux. Dans ce contexte, la fabrication additive (FA) représente un enjeu important pour l'emploi des céramiques dans l'aéronautique. Parmi les nombreux procédés de fabrication additive existants pour les matériaux métalliques, le procédé DED-CLAD permet la réalisation de pièces de grande taille ainsi que la réparation de pièces existantes. Cette thèse a pour objectif l'adaptation du procédé de fabrication additive directe DED-CLAD pour la mise en forme de pièces céramiques denses et non fissurées. La démarche mise en place au cours de ces travaux s'est articulée autour de trois verrous technologiques identifiés pour l'adaptation du procédé DED-CLAD aux matériaux céramiques. Elle a consisté dans un premier temps à élaborer des poudres céramiques par spray-drying, et à caractériser leur coulabilité afin d'obtenir des poudres compatibles avec le procédé CLAD. Ensuite, l'interaction laser-matière des matériaux a été optimisée afin d'en assurer la fusion au cours du procédé. Une étude de dopage des matériaux céramiques a été mise en place et a permis de sélectionner une espèce dopante particulièrement adaptée. Enfin, les paramètres de fabrication du procédé CLAD ont été étudiés. L'étude de la présence de porosités et de la fissuration au sein des échantillons réalisés a permis d'adapter les conditions de fabrication en réduisant les gradients thermiques au cours du procédé par l'ajout d'un premier, puis d'un second moyen de chauffage annexes. La qualité du matériau eutectique AYZ obtenue par le procédé CLAD céramique a été vérifiée par l'étude de sa microstructure et par la caractérisation de son module d'Young, de sa dureté et de sa ténacité. Ces caractéristiques ont pu être comparées avec celles des matériaux obtenus par des procédés de solidification dirigée afin de vérifier leur intérêt pour des applications aéronautiques structurales.



Déterminer des données thermodynamiques du système ternaire Al–Ti–W pour permettre l'optimisation de tels alliages

Thomas VAUBOIS

Thèse soutenue le 16 décembre 2019

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

Titre de la thèse

**Etude expérimentale du diagramme de phases
du système ternaire Aluminium–Titane–Tungstène**

Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrant : Mikael Perrut - ONERA

Directeur de thèse : Jean-Marc Joubert - Institut de Chimie et des Matériaux
Paris-Est

Financement

Safran Tech & ONERA

Défi scientifique

Matériaux
aérospatiaux
stratégiques

www.onera.fr/pss



Contact : Mikael.Perrut @ onera.fr

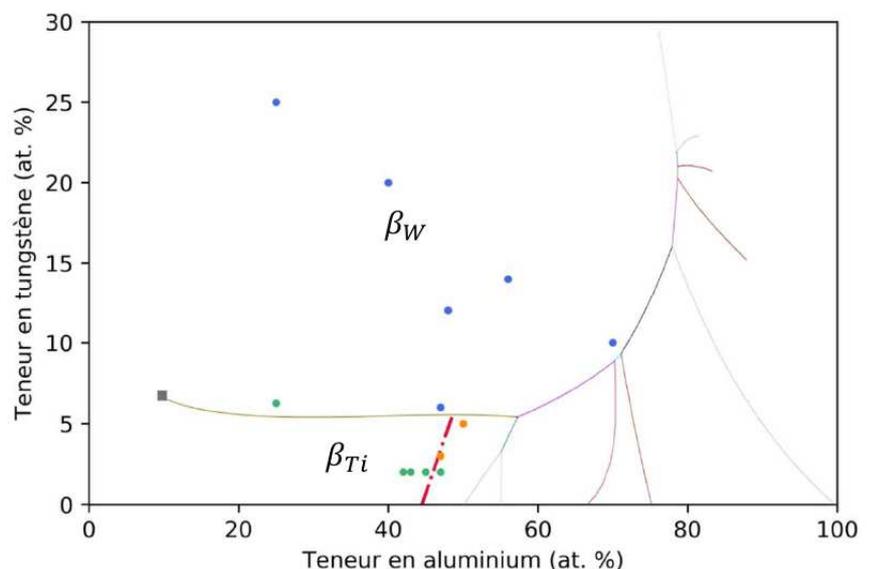
Résumé

Les alliages intermétalliques base TiAl sont une classe émergente de matériaux structuraux. Leurs propriétés mécaniques spécifiques particulièrement élevées permettent leur emploi pour des applications aéronautiques. Du fait de leur très bonne résistance au fluage, les alliages TiAl ont récemment été introduits comme aubes de turbines basse pression dans de nouveaux moteurs aéronautiques tels que le CFM-LEAP, en substitution de superalliages base nickel, pour des applications allant jusqu'à 700°C. Toutefois, dans une perspective d'élever la résistance en température de ces alliages, par exemple en incluant des éléments réfractaires, tels que le tungstène, le manque de données thermodynamiques concernant le système ternaire Al-Ti-W est problématique.

L'objectif de ces travaux de thèse vise à étudier expérimentalement les équilibres du système ternaire Al-Ti-W dans le but de déterminer son diagramme de phases. Dans le cadre de notre étude, nous avons élaboré et étudié expérimentalement un large panel de nuances binaires et ternaires afin d'être en mesure de proposer une nouvelle description complète du système ternaire.

Le premier volet de l'étude a porté sur l'étude du sous-système binaire Ti-W afin de mieux comprendre son diagramme de phases. Les équilibres de phases identifiés ont permis de montrer un bon accord avec les données bibliographiques, notamment au sujet de la lacune de miscibilité de la phase cubique centrée. Le second volet de cette thèse a porté sur l'étude de la solidification des alliages ternaires du système Al-Ti-W. Nous avons mis en évidence, pour la gamme de compositions étudiée, deux phases primaires de solidification cubiques centrées distinctes, l'une riche en titane et l'une riche en tungstène malgré leur miscibilité complète à haute température dans le binaire Ti-W. Les phénomènes de ségrégation chimique aux échelles microscopiques et macroscopiques ont également été quantifiés. Le dernier volet de ce travail de thèse porte sur l'étude des équilibres de phases ternaires par le biais de multiples méthodes expérimentales distinctes. La combinaison de ces résultats a permis de déterminer expérimentalement plusieurs sections isothermes du diagramme de phases.

*Phases primaires de solidification
observées en fonction de la
composition chimique*



Comprendre et modéliser les mécanismes de fissuration qui apparaissent au cours des procédés de réparation des pièces en IN738LC pour améliorer leur réparabilité

Anis DOGHRI

Thèse soutenue le 20 juin 2019

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

Titre de la thèse

Vers une maîtrise de la réparation par le procédé CLAD de pièces aéronautiques en Inconel 738 LC : compréhension des mécanismes de fissuration et modélisations associées

Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrant : Florent Fournier Dit Chabert - ONERA

Directeurs de thèse : Marc Thomas - ONERA

Pascal Laheurte - LEM3

Financement

Fonds Unique Interministériel (FUI) - projet NENUFAR

Défi scientifique

Matériaux
aérospatiaux
stratégiques

www.onera.fr/pss



Contact : Florent.Fournier_Dit_Chabert @ onera.fr

Résumé

Les superalliages à base de nickel durcis par précipitation γ' , et notamment l'Inconel 738 LC (IN738LC), sont des matériaux largement utilisés dans les parties chaudes de turbomoteurs d'avions et d'hélicoptères. Ces matériaux disposent d'excellentes propriétés mécaniques à haute température. Toutefois, des défauts ou des fissures peuvent apparaître sur ces pièces, lors de leur élaboration par fonderie ou bien pendant leur durée en service, ce qui nécessite leur réparation. Cependant, les pièces constituées en IN738LC sont sujettes à de la fissuration au cours des procédés de réparation de type soudage. Il s'avère que le rechargement laser est une technique de fabrication additive prometteuse permettant de réparer des pièces abimées. Le présent travail consiste en l'étude de la réparabilité par projection de poudre de l'alliage IN738LC réputé non soudable. Cette étude comporte deux volets expérimentaux et numériques du rechargement de pièces en Inconel 738 LC au moyen du procédé CLAD. Pour cela, nous avons réalisé des essais de rechargement suivant plusieurs configurations illustrant les cas de réparations rencontrés industriellement. Deux mécanismes de fissuration distincts sont mis en évidence respectivement dans la zone affectée thermiquement du substrat et dans le dépôt. Une simulation multi-physique est également développée pour rendre compte des phénomènes thermiques, mécaniques et métallurgiques observés lors du rechargement laser. Ces simulations sont comparées à des mesures expérimentales pour validation. Enfin, ces outils de simulation sont utilisés afin de définir des critères numériques de risque de fissuration. En résumé, un préchauffage à haute température permet d'éliminer le risque de liquation et donc de fissures dans la ZAT ainsi que dans les dépôts, ce qui démontre qu'il est possible d'envisager une réparation sur cet alliage réputé non soudable.



*Essai de déposition à l'aide
du procédé CLAD*

Modéliser les interactions élastiques entre précipités dans les alliages multiphasés pour mieux comprendre l'évolution de leur microstructure

Matthieu DEGEITER

Thèse soutenue le 26 mars 2019

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

Titre de la thèse

Etude numérique de la dynamique des défauts d'alignement
des précipités γ' dans les superalliages monocristallins
à base de nickel

Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrants : Mikael Perrut & Alphonse Finel - ONERA

Directeurs de thèse : Benoît Appolaire - Institut Jean Lamour
Yann Le Bouar - ONERA-CNRS

Financement

ONERA

Défi scientifique

Matériaux
aérospatiaux
stratégiques

www.onera.fr/pss



Contact : Mikael.Perrut @ onera.fr

Résumé

Dans les alliages multiphasés, la cohérence des interfaces entre des phases en désaccord paramétrique génère des champs élastiques internes à longue distance et généralement anisotropes. L'interaction de ces champs affecte fortement la cinétique des transformations de phase diffusives, et influence la forme et l'arrangement spatial des précipités. Dans la microstructure des superalliages monocristallins à base de nickel, obtenue par précipitation de la phase γ' ordonnée L12 dans la matrice CFC γ , l'élasticité conduit à la formation d'alignements quasi-périodiques des précipités γ' cuboïdaux. La microstructure γ/γ' possède cependant des défauts systématiques d'alignement des précipités : des branches, des macro-dislocations et des motifs en chevrons. Nous nous intéressons à l'origine de ces défauts d'alignement. Nous conduisons des analyses de stabilité de l'arrangement périodique de précipités en interactions élastiques. Contrairement à la stabilité attendue, les calculs semi-analytiques ont révélé l'instabilité de la distribution périodique de précipités γ' cubiques, vis-à-vis de certains modes de perturbation. En particulier, nous montrons l'existence d'un mode transverse $[110]$ qui conduit à la formation de motifs en chevrons, mais aussi l'existence d'un mode longitudinal $[100]$ systématiquement instable, ce qui explique l'impossibilité d'obtenir des microstructures parfaitement alignées. À partir de simulations antérieures, nous avons également analysé, par une méthode développée dans ce but, les défauts d'alignements présents et leur dynamique, et identifié des mécanismes de migration de ces défauts. Enfin, une nouvelle formulation des modèles de champ de phase, appelée Sharp Phase Field Method (S-PFM) a été utilisée pour la modélisation de microstructures à grande échelle. Nous montrons que la S-PFM permet de simuler plusieurs milliers de précipités à deux ou à trois dimensions, et donne ainsi accès à des informations statistiques sur l'évolution de la microstructure et sur la dynamique des défauts d'alignement, ouvrant la voie à une nouvelle compréhension de la cinétique de coalescence des précipités γ' dans les superalliages base nickel.

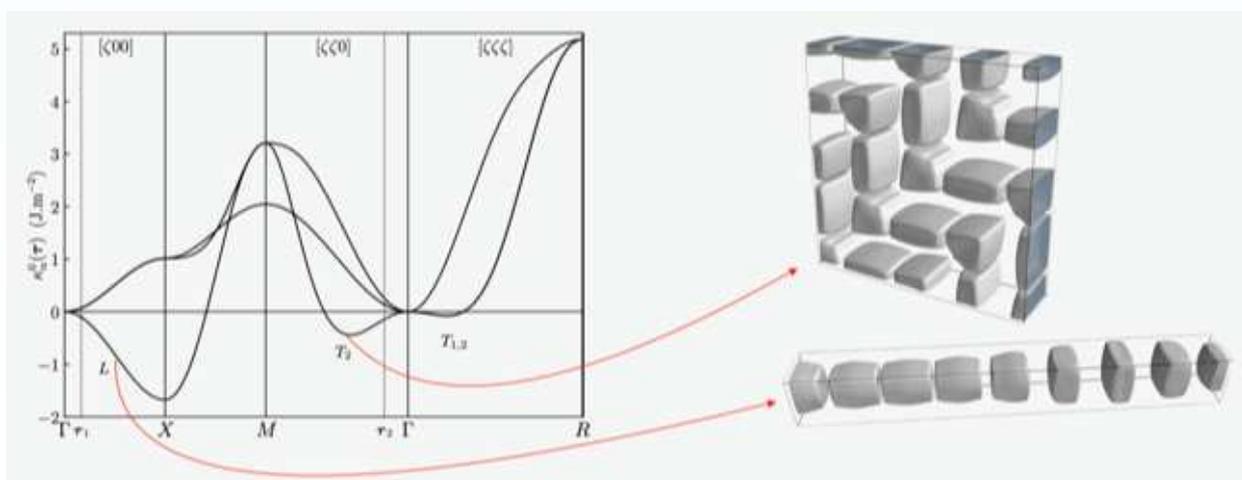


Diagramme de stabilité de l'arrangement périodique de précipités cubiques et motifs associés aux instabilités

Développer de nouveaux modèles pour élargir le champ d'application des lois de plasticité cristalline aux matériaux industriels

Maoyuan JIANG

Thèse soutenue le 4 juin 2019

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

Titre de la thèse

Exploration des effets de la taille et de la forme des grains sur la plasticité cristalline par simulations de dynamique des dislocations

Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Directeurs de thèse : Benoît Devindre - CNRS-ONERA
Ghiath Monnet - EDF

Financement

CIFRE EDF

Défi scientifique

Matériaux
aérospatiaux
stratégiques

www.onera.fr/pss



Contact : [Benoit.Devindre @ onera.fr](mailto:Benoit.Devindre@onera.fr)

Résumé

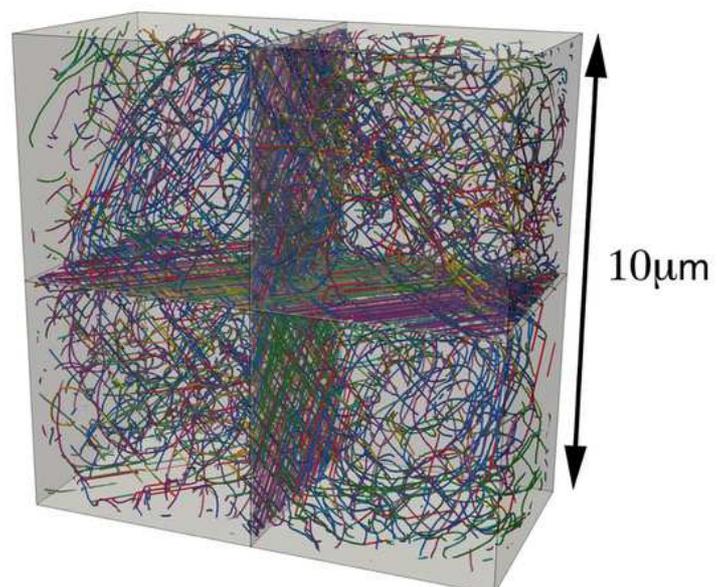
Des simulations de dynamique de dislocation (DD) sont utilisées pour l'étude de l'effet Hall-Petch (HP) et des contraintes internes à long-portée induites par les hétérogénéités de déformation dans les matériaux polycristallins.

L'effet HP est reproduit avec succès grâce à des simulations de DD réalisées sur de simples agrégats polycristallins périodiques composés de 1 ou de 4 grains. De plus, l'influence de la forme des grains a été explorée en simulant des grains avec différents rapports d'aspect. Une loi généralisée de HP est proposée pour quantifier l'influence de la morphologie du grain en définissant une taille de grain effective. La valeur moyenne de la constante HP K calculée avec différentes orientations cristallines à faible déformation est proche des valeurs expérimentales.

Les dislocations stockées pendant la déformation sont principalement localisées à proximité des joints de grain et peuvent être traitées comme une distribution surfacique de dislocations. Nous avons utilisé des simulations DD pour calculer les contraintes associées aux parois de dislocations de différentes hauteurs, longueurs densités et caractères. Dans tous les cas, la contrainte est proportionnelle à la densité surfacique de dislocations géométriquement nécessaires (GNDs) et sa variation est capturée par un ensemble d'équations empiriques simples. Une prévision de contraintes à long-portée dans les grains est réalisée en sommant les contributions des GNDs accumulées de part et d'autre des joints de grains.

L'augmentation de la contrainte interne liée au stockage de GNDs est linéaire avec la déformation plastique et est indépendante de la taille des grains. L'effet de taille observé dans les simulations de DD est attribué au seuil de déformation plastique, contrôlé par deux mécanismes concurrents : la contrainte critique de multiplication des sources et la contrainte critique de franchissement de la forêt. En raison de la localisation de la déformation dans les matériaux à gros grains, le modèle d'empilement des dislocations doit être utilisé pour prédire la contrainte critique dans ce cas. En superposant cette propriété aux analyses que nous avons fait à partir de simulations de DD dans le cas d'une déformation homogène, l'effet HP est justifié pour une large gamme de tailles de grains.

Partie d'un agrégat polycristallin périodique simulé par dynamique des dislocations. L'accumulation de dislocations polarisées aux joints de grains pendant la déformation plastique est le principal mécanisme d'écroutissage du matériau



Développer une méthode d'optimisation topologique adaptée aux matériaux composites pour l'allègement des structures aéronautiques

Distinction

Bourse Amelia Earhart
du Zonta International
(2017)

Narindra RANAIVOMIARANA

Thèse soutenue le 18 mars 2019

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

Titre de la thèse

**Optimisation simultanée de la forme et de l'anisotropie
des structures aéronautiques**

Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrants : François-Xavier Irisarri & Dimitri Bettebghor - ONERA

Directeur de thèse : Boris Desmorat - Sorbonne Université

Financement

STELIA Aerospace

Défi scientifique

Des structures
aérospatiales
plus durantes

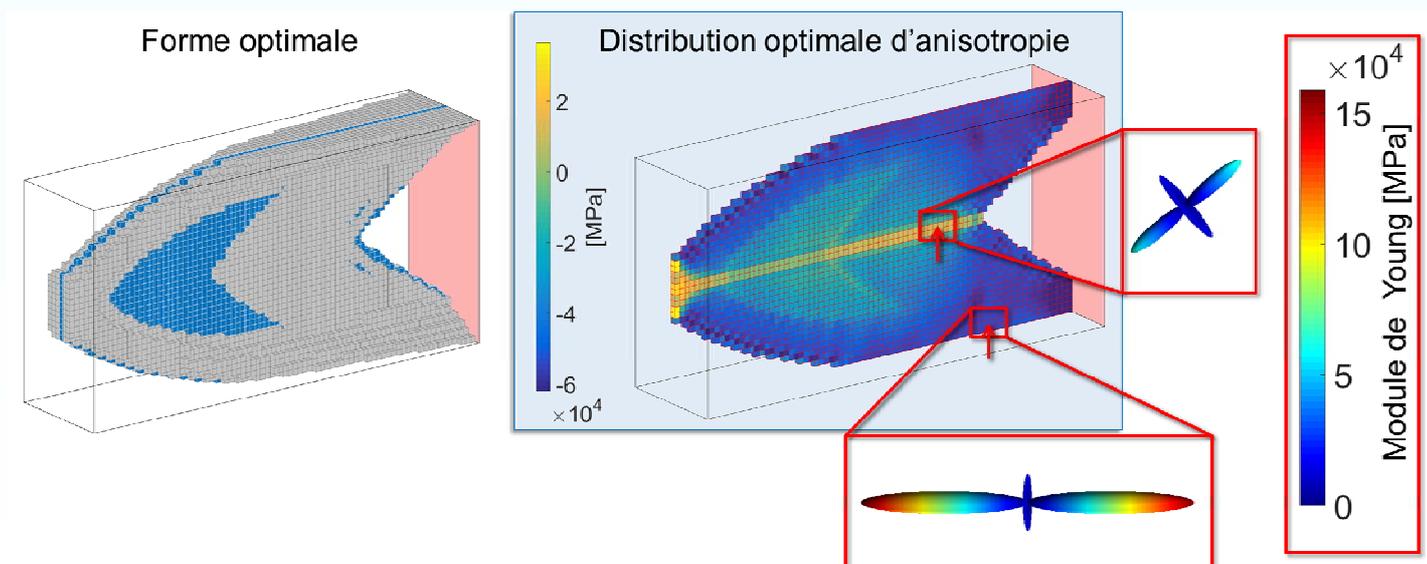
www.onera.fr/pss



Contact : François-Xavier.Irisarri @ onera.fr

Résumé

Ce travail de thèse s'inscrit dans le cadre de l'allègement des structures aéronautiques. Dans cette optique, l'optimisation topologique constitue une approche pertinente et en plein essor, qui vise à déterminer la forme optimale de la structure. Par ailleurs, l'usage de matériaux anisotropes offre de nouveaux degrés de liberté pour l'optimisation. L'objectif de cette thèse est de développer une méthode d'optimisation permettant de déterminer simultanément la distribution de matière et la distribution d'anisotropie optimales d'une structure 3D utilisant un matériau isotrope transverse. Pour ce faire, une stratégie d'optimisation est développée pour les structures 2D et étendue aux structures 3D. Afin de simplifier l'intégration de l'anisotropie dans l'optimisation, le tenseur d'élasticité est paramétré par des invariants. La forme de la structure est paramétrée par la méthode SIMP utilisant une variable de densité qui détermine la présence ou l'absence de matériau. La résolution numérique est faite avec l'algorithme des directions alternées qui est bien adapté à la prise en compte simultanée de la topologie et de l'anisotropie dans l'optimisation. L'algorithme alterne entre des minimisations locales et minimisations globales. Grâce à l'usage d'invariants, la résolution des minimisations locales est analytique. Les minimisations globales correspondent à des calculs éléments finis. La méthode est appliquée à des problèmes de maximisation de la raideur globale de la structure pour des cas tests classiques. Un cas test industriel complexe est également traité : l'optimisation d'un linteau de porte de fuselage modélisé par un modèle éléments finis détaillé fourni par STELIA Aerospace.



Forme optimale d'une poutre console et distribution optimale de l'anisotropie pour la rangée d'éléments en bleu. Visualisation de deux types d'anisotropie locale

Distinction

Prix doctorant ONERA
(2019)

Dimitri GOUTAUDIER

Thèse soutenue le 3 avril 2019

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

Titre de la thèse

**Méthode d'identification d'un impact appliqué
sur une structure admettant des modes de vibration
basse fréquence faiblement amortis et bien séparés**

Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrants : Véronique Kehr-Candille - ONERA
Didier Gendre - Airbus

Directeur de thèse : Roger Ohayon - Cnam

Financement

CIFRE Airbus

Défi scientifique

Des structures
aérospatiales
plus durantes

www.onera.fr/pss

AIRBUS

anrt
association nationale
recherche technologie

le cnam

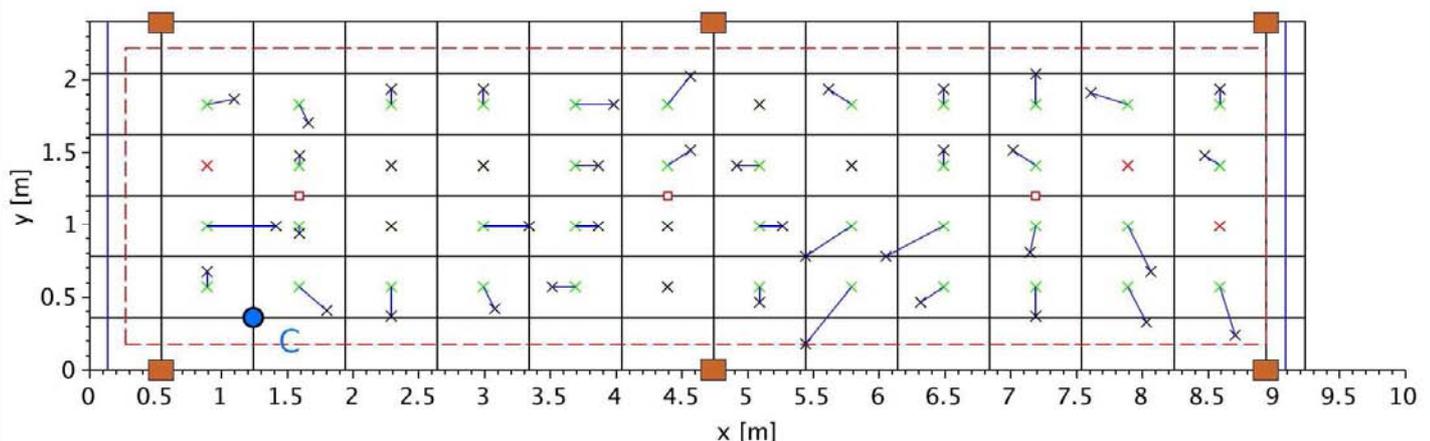
ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Contact : Veronique.Kehr-Candille @ onera.fr

Résumé

La détection d'impacts est une préoccupation majeure pour suivre l'intégrité d'une structure évoluant dans un environnement comportant des risques de collision. Ce travail consiste à développer une méthode d'identification d'impact applicable à une structure composite de grandes dimensions qui soit à la fois robuste, peu coûteuse en temps de calcul, et qui nécessite peu de capteurs. Dans un premier temps, la démarche a été de décrire l'image du point d'impact dans la réponse vibratoire par un vecteur de participations modales. L'idée a ensuite été d'introduire l'hypothèse d'existence d'une famille de modes discriminants permettant d'établir le lien bijectif entre les participations modales et le point d'impact. Une procédure d'estimation de ces participations modales à partir d'un unique point de mesure a été proposée. Dans un second temps, la démarche a été d'étendre la procédure à l'identification d'une loi décrivant les paramètres principaux d'une force d'impact. Des conditions portant sur les paramètres de mesure et les propriétés modales de la structure sont déterminées pour garantir la précision et la robustesse de l'identification.

Ce travail a permis de développer une approche en rupture par rapport à l'état de l'art, en ce sens qu'elle ne nécessite, en théorie, qu'un seul point de mesures vibratoires pour identifier un impact. Des essais expérimentaux sur un pavillon d'A350 ont permis de valider cette approche sur une structure composite de grandes dimensions.



*Carte de localisation d'impacts appliqués sur un panneau composite raidi.
88% de succès de localisation à 40 cm près à l'aide d'un unique accéléromètre*

Modéliser l'endommagement des matériaux composites à l'échelle microscopique pour mieux prédire leur apparition à l'échelle mésoscopique

Robin NAYLOR

Thèse soutenue le 15 mars 2019

Ecole doctorale : ED 285 (EDSP) Sciences Pratiques - ENS Paris-Saclay

Titre de la thèse

Prédiction des premiers endommagements des composites tissés par modélisation à l'échelle microscopique et validation multi-échelle

Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrants : Christian Fagiano & Martin Hirsekorn - ONERA
Bastien Tranquart - Safran Composites

Directeur de thèse : Emmanuel Baranger - ENS Paris-Saclay

Financement

CIFRE Safran Composites

Défi scientifique

Des structures
aérospatiales
plus durantes

www.onera.fr/pss

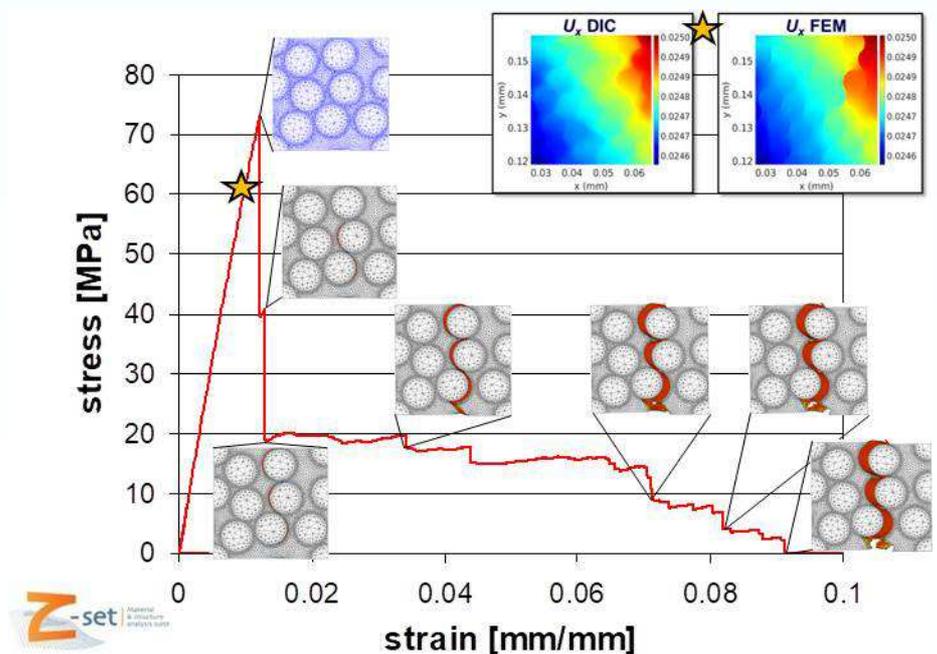


Contact : Christian.Fagiano @ onera.fr

Résumé

Ce travail de thèse s'inscrit dans le cadre de la modélisation multi-échelle des matériaux composites à renfort tissé dans le but de prévoir leur comportement mécanique. Les objectifs de cette étude sont de caractériser et de modéliser les premiers stades de l'endommagement à l'échelle microscopique (échelle de la fibre et de la matrice) afin de prendre en compte leur influence lors de la modélisation du toron de fibres à l'échelle mésoscopique. La démarche adoptée consiste tout d'abord à caractériser expérimentalement les mécanismes d'endommagement d'un matériau composite tissé carbone/époxy lors d'essais de traction in-situ au Microscope Électronique à Balayage. Les mécanismes observés sont tout d'abord des décohésions aux interfaces fibres/matrice suivies d'une percolation avec la création de bandes de matrice qui s'étirent ensuite jusqu'à rupture provoquant la fissuration transverse du toron. À cette observation a été couplée une mesure de champ de déplacement par corrélation d'images numériques par approche globale avec régularisation mécanique. Une prise en compte de l'hétérogénéité du composite a été introduite dans cette méthode grâce à l'utilisation d'un maillage issu de la géométrie réelle du matériau. Afin de modéliser ces mécanismes d'endommagement, une géométrie représentative du composite à l'échelle microscopique ainsi que des lois de comportement pour les fibres (élastique linéaire), la matrice (viscoplastique, identifiée sur essai) et les interfaces fibres/matrice (loi cohésive bi-linéaire) ont été déterminées. Les observations expérimentales ont permis de déterminer des intervalles admissibles pour les paramètres de la loi cohésive parmi les valeurs disponibles dans la littérature. De plus, une comparaison des champs de déplacement mesurés expérimentalement et simulés numériquement ont permis de retrouver le même scénario d'endommagement. Enfin, cette modélisation a permis la création d'une enveloppe d'apparition des premiers stades de l'endommagement à l'échelle mésoscopique. L'approche proposée permet de prévoir l'apparition des premiers stades de l'endommagement au sein d'un toron de fibre en se basant sur des considérations physiques issues de l'échelle microscopique.

Courbe contrainte/déformation représentant l'endommagement de la cellule jusqu'à rupture transverse. Les éléments en rouge correspondent aux éléments cohésifs rompus



Décrire et quantifier les mécanismes de rupture des composites tissés 3D afin de disposer d'une méthode de simulation numérique adaptée et robuste

Distinction

Prix doctorant
section matériaux -
R&T day de Safran
Aircraft Engine
(2018)

Victor MÉDEAU

Thèse soutenue le 23 septembre 2019

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

Titre de la thèse

**Rupture des composites tissés 3D : de la caractérisation
expérimentale à la simulation robuste des effets d'échelle**

Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrants : Frédéric Laurin & Johann Rannou - ONERA
Sylvain Mousillat - Safran Aircraft Engines

Directeur de thèse : Frédéric Lachaud - ISAE-SUPAERO

Financement

CIFRE Safran Aircraft Engines

Défi scientifique

Des structures
aérospatiales
plus durantes

www.onera.fr/pss

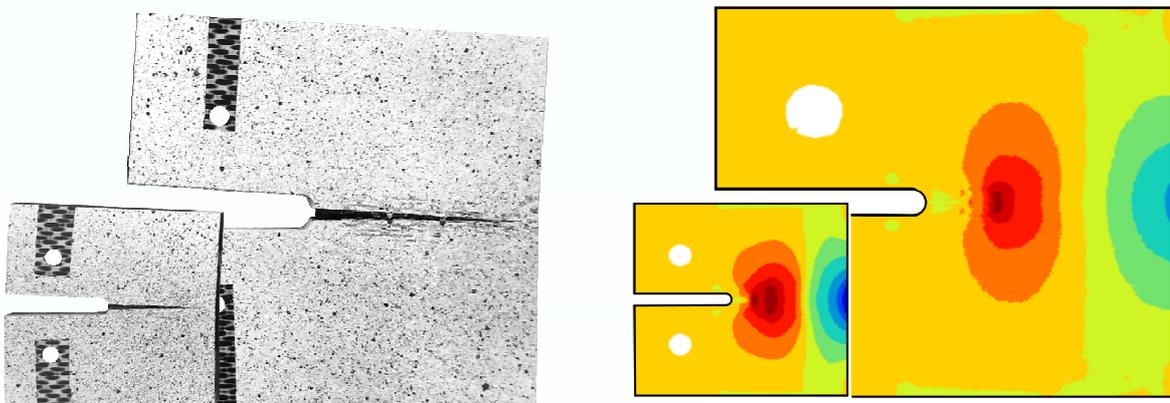


Contact : [Johann.Rannou @ onera.fr](mailto:Johann.Rannou@onera.fr)

Résumé

Ces travaux s'attachent à décrire et quantifier les mécanismes de rupture des composites tissés 3D sous chargement de traction quasi-statique et à mettre en place une méthode de simulation numérique adaptée et robuste, pouvant à terme être appliquée en bureau d'études. Dans cette optique, une étude expérimentale a été menée afin de quantifier la propagation de fissures dans ces matériaux. Celle-ci a permis de mettre en place un scénario de rupture, en tirant parti de la multi-instrumentation des essais. L'étude a également été effectuée sur des éprouvettes de géométries et de tailles variées et a mis en évidence d'importantes variations du taux de restitution d'énergie critique avec les conditions d'essai. Un formalisme d'analyse et de modélisation introduisant des longueurs internes a ensuite été présenté et adapté aux mécanismes de rupture des composites tissés 3D. Ce formalisme est étayé par la recherche des mécanismes à l'aide de l'analyse des faciès de rupture. Les longueurs introduites ont ainsi été mises en relation avec les paramètres du tissage. Une méthode d'identification des paramètres a été proposée et les conséquences de ce comportement sur le dimensionnement de pièces composites discutées.

Des méthodes de régularisation des modèles d'endommagement continu ont été présentées et évaluées à l'aune de leur capacité à assurer, d'une part, la robustesse des résultats et, d'autre part, la bonne retranscription des effets d'échelle expérimentaux. La prise en compte de ces considérations numériques et physiques nous a amené à proposer un modèle d'endommagement Non-Local. Une méthode d'identification des paramètres et de la longueur interne à partir des données expérimentales a été proposée. Enfin, le transfert de ces résultats vers un code de calcul par éléments finis a permis de mettre au point une stratégie de simulation numérique robuste.



Réalisation d'essais de caractérisation de propagation de fissure (ici pour deux tailles caractéristiques) et simulation par éléments finis avec un modèle d'endommagement non local. Une longueur interne correctement identifiée et insérée dans le modèle permet de rendre compte des effets d'échelle observés

**Comprendre les mécanismes de fatigue dominés
par les fibres, dans les composites stratifiés, au
moyen d'analyses expérimentales et numériques**

Distinction

Young Researcher
Award - ICFC 7 -
Seventh International
Conference on Fatigue
of Composites (2018)

Fabrizio PAGANO

Thèse soutenue le 4 octobre 2019

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

Titre de la thèse

**Mécanismes de fatigue dominés par les fibres
dans les composites stratifiés d'unidirectionnels**

Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrante : Myriam Kaminski - ONERA

Directeur de thèse : Alain Thionnet - Mines ParisTech

Financement

ONERA

Défi scientifique

Des structures
aérospatiales
plus durantes

www.onera.fr/pss

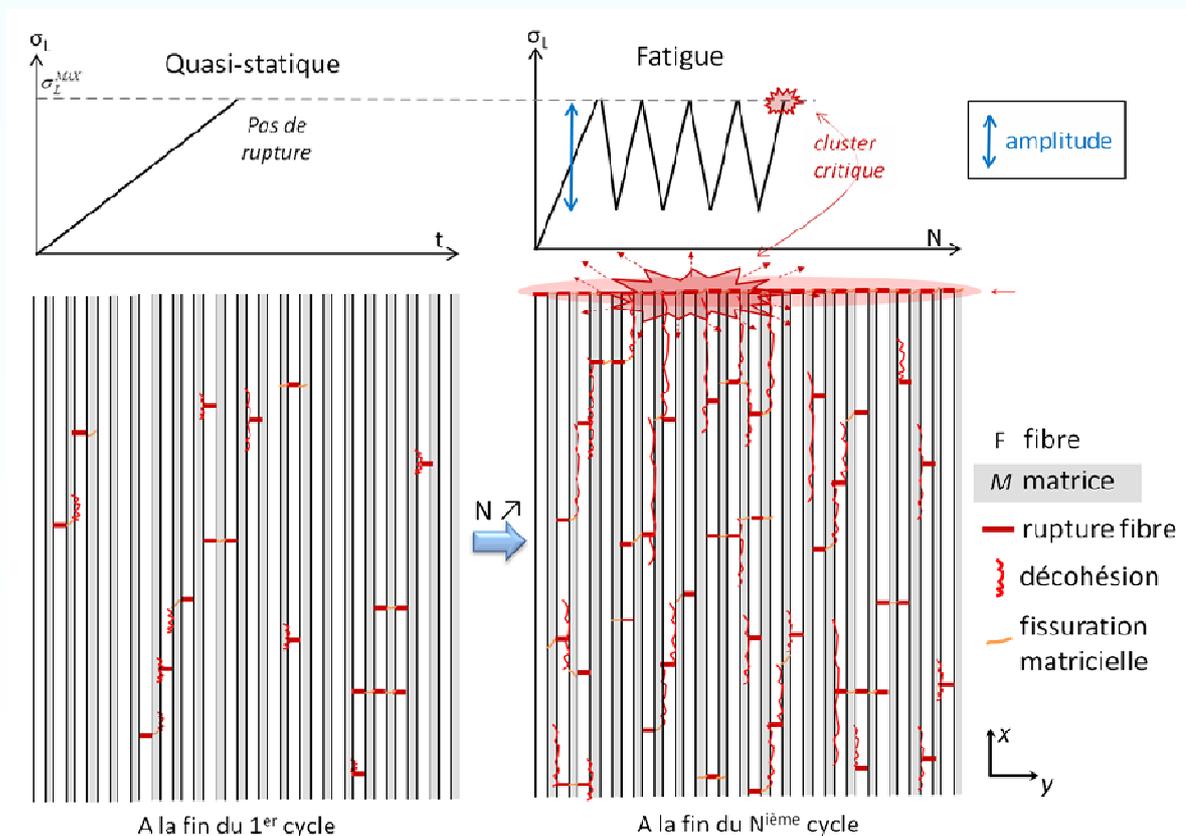


Contact : Myriam.Kaminski @ onera.fr

Mécanismes de fatigue dominés par les fibres dans les composites stratifiés d'unidirectionnels

Résumé

Dans un composite stratifié, l'essentiel de la rigidité et de la résistance est donné par les fibres, c.à.d. que les plis orientés à 0° par rapport à la direction du chargement pilotent souvent la rupture du stratifié sous chargement quasi-statique et de fatigue. Pour ces raisons, il est très important de connaître les propriétés mécaniques en quasi-statique et en fatigue de l'UD (c.à.d. le stratifié unidirectionnel, composé seulement de plis à 0°) sous chargement de traction, afin de pouvoir dimensionner efficacement la structure composite. Dans ces travaux de thèse, un protocole expérimental est mis en place pour réaliser des essais multi instrumentés de traction quasi-statiques et en fatigue sur UD menant à des ruptures conformes i.e. évitant les ruptures prématurées. L'évolution en fatigue des ruptures de fibres est identifiée par leur émission acoustique. Une modélisation numérique est proposée à l'échelle microscopique pour comprendre les mécanismes d'endommagement et de rupture de l'unidirectionnel en fatigue, notamment la rupture des fibres et également la décohésion fibre matrice engendrant cette rupture des fibres. Enfin, le comportement des plis à 0° de stratifiés multidirectionnels sous sollicitations quasi-statiques et en fatigue en traction-traction longitudinale est analysé.



Scénario de rupture des fibres dans un stratifié d'unidirectionnel en statique et fatigue

Caractériser et modéliser l'endommagement des chapes en matériaux composites pour améliorer les outils de dimensionnement

Cécile GARCIA

Thèse soutenue le 10 octobre 2019

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

Titre de la thèse

**Modélisation de l'endommagement et de la rupture
des matériaux composites tissés 3D appliquée
aux chapes ceinturées**

Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrants : Antoine Hurmane & François-Xavier Irisari - ONERA
Sylvain Leclercq - Safran Landing Systems

Directeur de thèse : Rodrigue Desmorat - ENS Paris-Saclay

Financement

CIFRE Safran Landing Systems

Défi scientifique

Des structures
aérospatiales
plus durantes

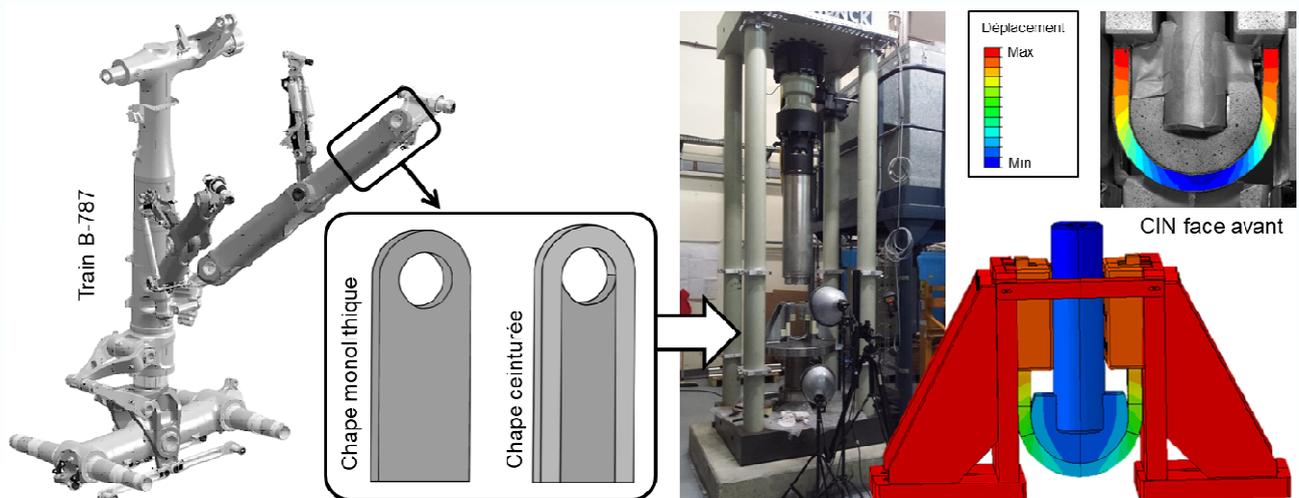
www.onera.fr/pss



Contact : Francois-Xavier.Irisari @ onera.fr

Résumé

L'enjeu de ces travaux de thèse est de proposer des outils à destination du bureau d'études Safran, pour le dimensionnement de chapes réalisées en matériau composite tissé 3D à matrice organique. L'arrachement du nez de chape par cisaillement, qui est le mode de ruine prédominant sur les chapes composites tissées 3D de par leur géométrie et l'absence de renfort à 45°, est particulièrement investigué. Une caractérisation expérimentale de ce mode de ruine est menée, mettant en évidence une rupture par fissurations matricielles le long des bandes de cisaillement. Le modèle ODM-CMO, déjà validé pour les modes de matage et de rupture en traction nette, est ici enrichi afin de bien décrire le scénario d'endommagement. Plus précisément, la loi d'évolution de l'endommagement matriciel est modifiée pour des niveaux de cisaillement élevés. Le modèle est validé au travers de comparaisons avec les résultats d'essais disponibles sur chapes. Par la suite, une solution innovante de chape basée sur le ceinturage de la pièce est examinée. L'objectif de cette solution de chape est d'orienter les renforts afin de s'affranchir du mode de ruine par cisaillement qui intervient prématurément. Ce concept induit des états de contraintes tridimensionnels complexes, faisant en particulier intervenir les composantes hors-plan du tenseur des contraintes. Les paramètres matériau hors-plan étant difficiles à identifier, une méthode d'identification par mesure de champs est proposée, implémentée, et appliquée au matériau d'intérêt à partir d'essais élémentaires. Un essai technologique multi-instrumenté original permettant de solliciter la ceinture en traction est proposé sur la base de simulations. Trois essais ont été réalisés. Conformément aux prévisions du modèle, les ceintures ont rompu en traction nette, témoignant ainsi d'une augmentation de performance vis-à-vis de la chape monolithique tissée étudiée en première partie.



Contrefiches de train d'atterrissage, concepts des chapes monolithiques et ceinturées pour la contrefiche. Modélisation expérimentale et simulation numérique du comportement de la ceinture extraite de la chape

Développer une nouvelle méthode pour estimer rapidement les performances en fatigue d'un matériau composite thermoplastique

Laura MULLER

Thèse soutenue le 16 octobre 2019

Ecole doctorale : ED 498 (SIPGA) - Sciences Pour l'Ingénieur, Géosciences, Architecture - Nantes

Titre de la thèse

Estimation accélérée des performances en fatigue des matériaux et structures composites thermoplastiques par le suivi de leur autoéchauffement

Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrants : Jean-Michel Roche & Antoine Hurmane - ONERA
Catherine Peyrac - CETIM

Directeur de thèse : Laurent Gornet - Ecole Centrale Nantes

Financement

Centre technique des industries mécaniques (CETIM) & ONERA

Défi scientifique

Des structures
aérospatiales
plus durantes

www.onera.fr/pss

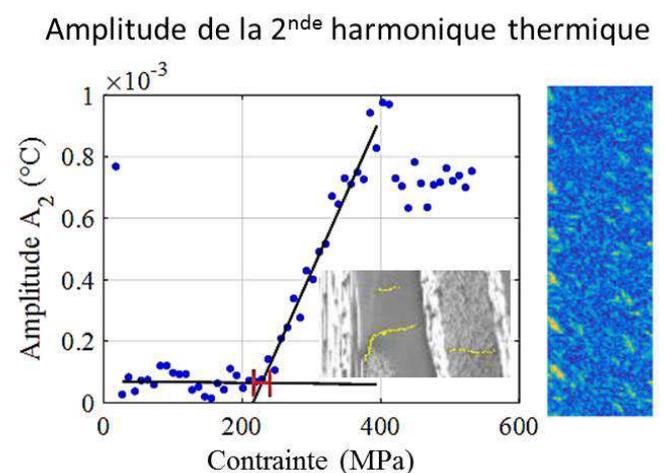
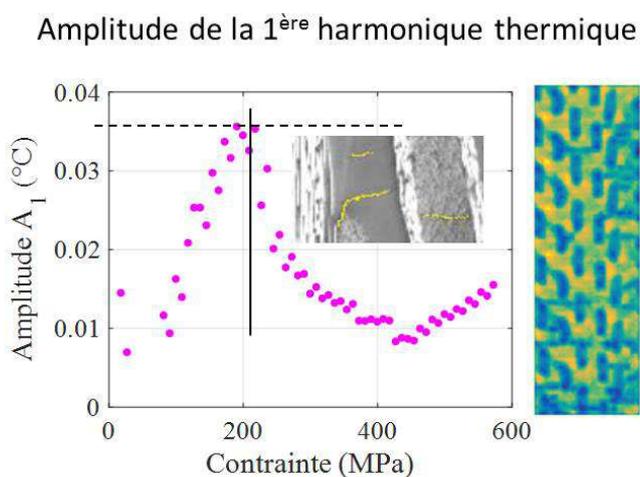


Contact : Jean-Michel.Roche @ onera.fr

Résumé

Cette thèse s'inscrit dans le domaine de la fatigue des matériaux composites. Elle consiste à estimer les performances en fatigue d'un matériau composite thermoplastique tissé, en fibres de carbone et matrice PA66, par des essais d'auto-échauffement. Suite à une caractérisation de l'endommagement du matériau sous chargement monotone par un suivi acoustique, thermique et optique, une campagne d'essais de fatigue est réalisée sur deux configurations du matériau, à 0° et à 45°. Plusieurs méthodes de modélisation de la courbe S-N sont proposées, afin de déterminer la limite de fatigue du matériau. Il est montré que l'estimation de cette limite et de son intervalle de confiance est rendue difficile par la forte dispersion des données expérimentales.

Des essais d'auto-échauffement sont alors réalisés, consistant à appliquer un chargement de fatigue sur un nombre de cycles limité, en incrémentant la contrainte maximale appliquée palier après palier. Des outils de traitement du signal sont développés afin de déterminer une contrainte seuil et son intervalle de confiance à partir de laquelle l'échauffement s'accélère. Cependant, cette contrainte seuil reste conservative par rapport à la limite de fatigue. Une autre approche est alors développée, consistant à suivre les amplitudes du signal thermique. De nouveaux outils de traitement du signal sont développés, dans le but de réaliser des cartographies de l'éprouvette à partir des amplitudes des harmoniques. Il est alors montré qu'il est possible d'obtenir les mêmes courbes que les courbes d'auto-échauffement en réalisant un suivi des amplitudes des harmoniques, et ce pour une centaine de cycles seulement. Un nouveau protocole d'essai d'auto-échauffement est alors mis en place, fondé sur une centaine de paliers de quelques centaines de cycles seulement, permettant d'aboutir à un suivi des harmoniques avec des courbes finales quasi-continues en un minimum de temps.



Apport de la thermographie lock-in pour le suivi de l'endommagement de fatigue des matériaux composites. Illustration pour un essai d'auto-échauffement rapide, à nombre élevé de paliers de charge

Etudier de nouveaux modes d'élaboration de pièces composites à matrice thermoplastique pour réduire les coûts de fabrication

Florence SAFFAR

Thèse soutenue le 20 novembre 2019

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

Titre de la thèse

Etude de la consolidation interpli de stratifiés thermoplastiques PEKK/fibres de carbone en conditions de basse pression

Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrant : Pierre Beauchêne - ONERA

Directeur de thèse : Chung-Hae Park - IMT Lille Douai

Financement

ONERA

Défi scientifique

Des structures
aérospatiales
plus durantes

www.onera.fr/pss

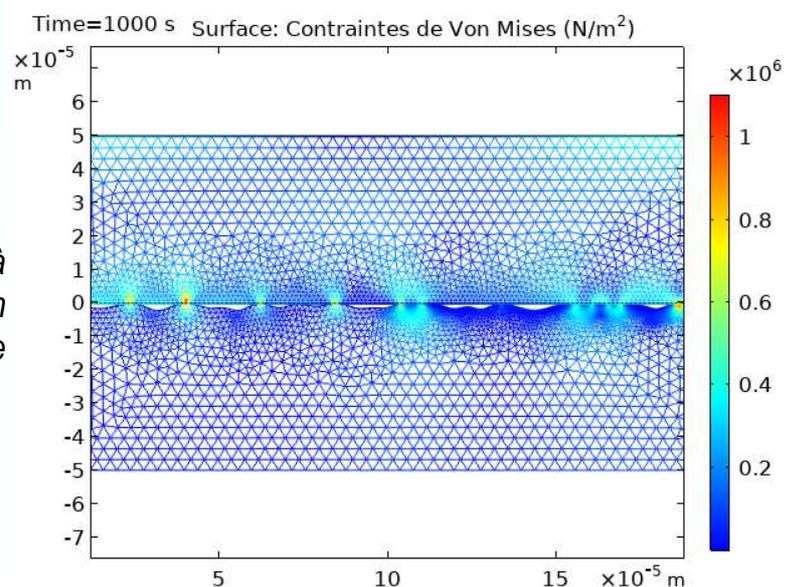


Contact : Pierre.Beauchene @ onera.fr

Résumé

De nouveaux modes d'élaboration de pièces composites à matrice thermoplastique sont actuellement étudiés, par le milieu aéronautique afin de remplacer le procédé autoclave, qui est coûteux et limite les cadences de production. Ainsi cette thèse a pour objet l'étude des phénomènes de consolidation interpli dans le cas d'élaborations basse pression. Dans ce but, deux systèmes de fabrication sont développés : l'un en étuve et l'autre sur plateau chauffant. Ces deux dispositifs permettent à la fois de définir les paramètres procédés optimaux pour assurer une bonne consolidation interpli, et de réaliser un suivi d'élaboration grâce à des mesures de variations d'épaisseur, de gradient thermique et de pertes de charges. Les matériaux utilisés sont des pré-imprégnés unidirectionnels thermoplastiques haute performance Poly-Ether-Ketone-Ketone (PEKK)/fibres de carbone. Une partie de ce travail est consacrée à la caractérisation du composite, peu étudié dans la littérature, et à l'influence des paramètres matériau sur la qualité de l'élaboration. Deux événements de consolidation interpli sont identifiés au cours de cette étude : l'un à la température de transition vitreuse (T_g) et l'autre à la température de fusion (T_m). Ils sont respectivement associés aux phénomènes de mise en contact des plis et d'écoulement de l'ensemble fibres/matrice. Une simulation de ces étapes de consolidation est également proposée à l'aide d'un modèle éléments finis. La mise en contact des plis est notamment décrite par une évolution de la résistance thermique de contact et par un aplanissement des aspérités de surface. L'écoulement à T_m permettant la réduction du taux de porosité aux interplis est, lui, modélisé à partir des propriétés rhéologiques du matériau déterminées expérimentalement. Enfin des pistes d'amélioration pour les élaborations en basse pression sont proposées en termes de matériaux et de conditions d'élaboration. Ces suggestions sont notamment effectuées à la suite d'une étude comparative de la consolidation réalisée à partir de deux types de préimprégnés PEKK/fibres de carbone.

Évolution du degré de contact à l'inter-ply au cours de la consolidation de composite thermoplastique



Caractériser et modéliser le comportement thermomécanique d'un composite à matrice céramique revêtu dans un environnement thermique représentatif et contrôlé

Thibaut ARCHER

Thèse soutenue le 19 décembre 2019

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

Titre de la thèse

Comportement sous gradients thermiques d'un composite à matrice céramique revêtu

Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrants : Pierre Beauchêne - ONERA

Benjamin Lacombe - Safran Ceramics

Directeurs de thèse : François Hild - ENS Paris-Saclay

Financement

CIFRE Safran Ceramics

Défi scientifique

Des structures
aérospatiales
plus durantes

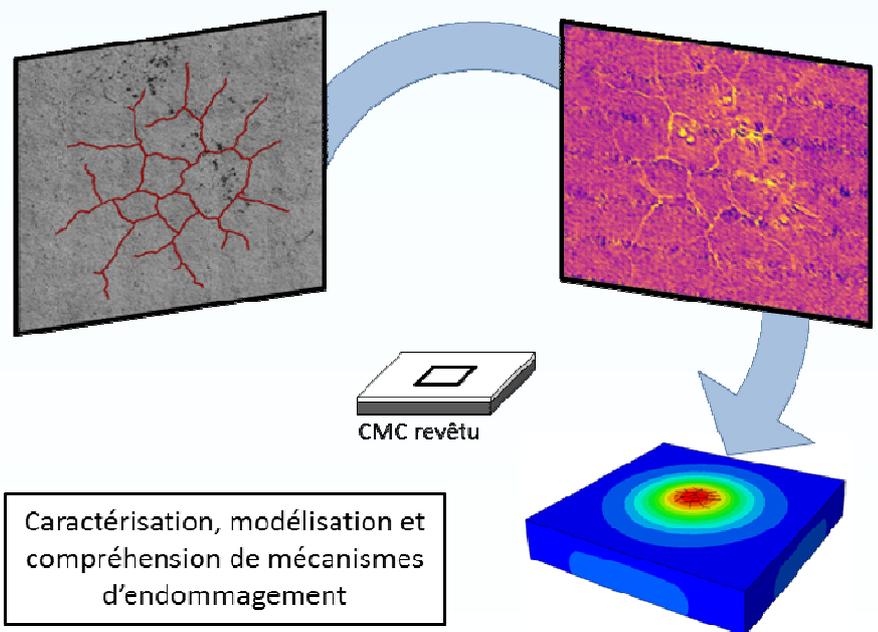
www.onera.fr/pss



Contact : Thibaut.Archer @ onera.fr

Résumé

L'introduction des composites à matrice céramique (CMC) dans les turbines haute pression est un des enjeux de la prochaine génération des moteurs d'avion civil. L'environnement thermomécanique et physico-chimique extrême dans lequel évoluent ces pièces nécessite l'ajout d'un revêtement jouant le rôle de barrière thermique et environnementale, en particulier pour éviter les phénomènes de récession de surface du SiC. Dans ce contexte, cette étude a consisté à caractériser et modéliser le comportement thermomécanique du système CMC-revêtement dans un environnement thermique représentatif des conditions d'utilisation afin d'identifier les mécanismes d'endommagement pouvant impacter la durée de vie du système. La première partie du travail propose la mise en place d'un essai avec un laser permettant l'utilisation de différentes instrumentations, à très hautes températures ($>1300^{\circ}\text{C}$), basées sur des mesures de champs par thermographie infrarouge et corrélation d'images numériques et/ou la détection d'endommagement. La seconde partie du travail présente l'étude du faïencage thermique d'un revêtement grâce aux observations expérimentales et à un modèle par éléments finis du système, alimentée par l'identification du comportement thermomécanique non linéaire du revêtement.



Mécanique des Fluides et Energétique

Défi 1 - Optimisation pluridisciplinaire et évaluation

DROUET Vincent - Modélisation aérothermodynamique des écoulements hypersoniques d'arrière-corps de débris orbitaux44

Défi 2 - Systèmes intelligents

JAHANPOUR Emilie - Développement et mise en oeuvre d'une approche psycho-physio-acoustique pour le contrôle temps réel de l'impact du bruit en cabine d'hélicoptère.....46

Défi 4 - Vers la maîtrise de la turbulence

BERNARDOS BARREDA Luis - Modélisation de la transition vers la turbulence d'une couche limite décollée.....48

METHEL Jeanne - Etude expérimentale de l'influence de défauts de surface sur la transition laminaire-turbulent d'une couche limite aspirée.....50

GAY Etienne - Coherent Interferometric imaging in Fluid Dynamics.....52

FRANCESCHINI Lucas - Stratégies de modélisation pour la reconstruction d'écoulements aérodynamiques à partir de mesures partielles54

LALLEMENT Julien - Modélisation et simulation numérique d'écoulements de films minces avec effet de mouillage partiel56

Défi 5 - CFD 2030

DI DONFRANCESCO Fabrizio - Reduced Order Models of the Navier-Stokes equations for aeroelasticity58

Défi 8 - La propulsion dans toute sa complexité

EMMANUELLI Ariane - Simulation numérique et modélisation du bruit entropique à travers une tuyère et un stator de turbine	60
DÉSERT Thibault - Etude aéropulsive d'un micro-drone à voilure tournante pour l'exploration martienne.....	62
DOUBLET Pierre - Etude de la pression et de la température de l'air et du carburant sur les caractéristiques du spray délivré dans une chambre de combustion	64
DELLINGER Nicolas - Modélisation de la formation et de l'évolution des particules de suie en approche hybride Euler-Lagrange pour la simulation de foyers aéronautiques.....	66
RUTARD Nicolas - Simulation numérique et modélisation de l'influence d'ondes acoustiques de haute amplitude sur un jet diphasique : application au domaine de la propulsion fusée à ergols liquides	68
MULLER Mathieu - Modélisation de la combustion de gouttes d'aluminium dans les conditions d'un moteur-fusée à propergol solide	70
DURAND Jean-Etienne - Développement et validation expérimentale d'une modélisation numérique pour la simulation d'un moteur hybride	72
LEVARD Quentin - Etude expérimentale et numérique de la décomposition d'un liquide ionique énergétique pour le développement d'un propulseur à monergol vert.....	74
NUGUE Matthieu - Outils pour l'étude conjointe par simulation et traitement d'images expérimentales de la combustion de particules d'aluminium utilisées dans les propergols solides..	76
CHATELIER Adrien - Problèmes ouverts de modélisation pour les simulations numériques de chambres de combustion aéronautiques	78

**Améliorer la modélisation des écoulements
autour des débris orbitaux lors d'une
entrée atmosphérique terrestre
pour mieux estimer les risques d'impacts**

Vincent DROUET

Thèse soutenue le 19 décembre 2019

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

Titre de la thèse

**Modélisation aérothermodynamique des écoulements
hypersoniques d'arrière-corps de débris orbitaux**

Encadrement

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Directeurs de thèse : Jean-Marc Moschetta - ISAE-SUPAERO
Ysolde Prévereaud - ONERA

Financement

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) & ONERA

Défi scientifique

Optimisation
pluridisciplinaire
et évaluation

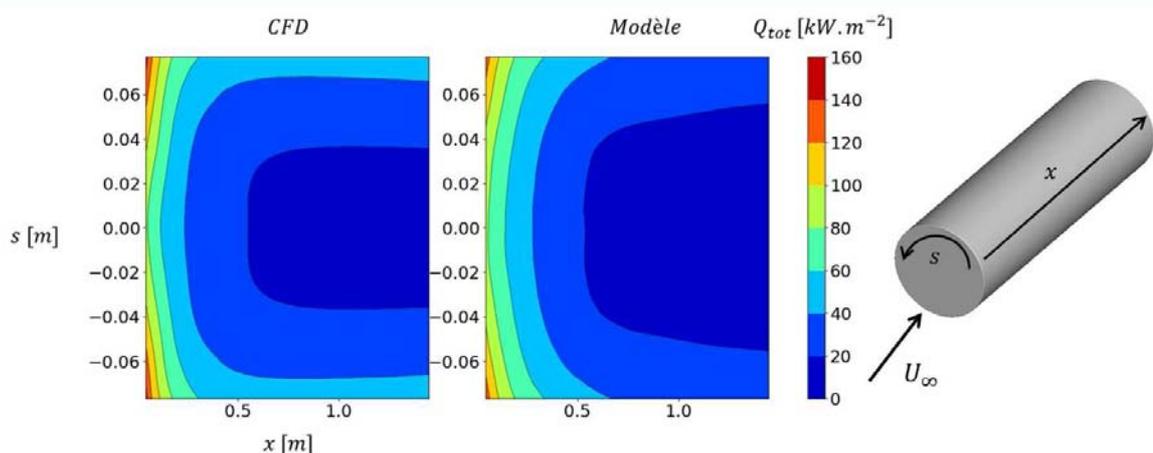
www.onera.fr/pss



Contact : Ysolde.Prevereaud @ onera.fr

Résumé

Depuis 1957, plus de 27 000 tonnes de débris orbitaux ont effectué une rentrée atmosphérique terrestre. On estime que 10 à 40% de cette masse a pu parvenir jusqu'à la surface terrestre, soit plus de 2 700 tonnes de débris, qui représentent un risque réel pour les biens et les personnes. L'estimation du risque à l'impact est devenue un enjeu majeur pour tous les acteurs du spatial et en particulier pour le CNES, en charge de la Loi d'Opération Spatiale (LOS). A ce jour, les méthodes de modélisation aérothermodynamique des objets rentrant dans l'atmosphère se focalisent sur les régions exposées « au vent », et sous-estiment le flux de chaleur et la pression aux parois « à l'ombre ». Cependant, des simulations numériques ont montré que pour certaines géométries, le flux des zones à l'ombre peut être du même ordre que celui des parois au vent. L'objectif de cette thèse est donc de construire des modèles plus précis de flux de chaleur et de pression aux parois à l'ombre des débris orbitaux, en régime hypersonique continu. Tout d'abord, l'étude des résultats de la littérature sur les écoulements hypersoniques d'arrière-corps, ainsi que de résultats CFD fournis par le CNES, a permis d'identifier les phénomènes aérothermodynamiques à l'origine de niveaux élevés de pression ou de flux de chaleur sur les parois à l'ombre des débris. Trois topologies d'écoulements ont été identifiées (écoulements attachés, écoulements décollés avec recollement fluide ou solide, interactions choc-choc). Pour chaque topologie, l'influence de la géométrie et des paramètres de l'écoulement incident sur les grandeurs pariétales a été quantifiée. Ensuite, des modèles de distribution de pression et de flux de chaleur sur l'extrados (écoulement attaché) et le culot (écoulement décollé) de cylindres pleins en incidence ont été développés par une méthode d'interpolation par POD (Proper Orthogonal Decomposition). Ces modèles ont été obtenus à partir de résultats de calculs Navier-Stokes 3D pour des écoulements réactifs laminaires, réalisés avec le code CEDRE de l'ONERA. Enfin une évaluation de l'influence de ces modèles sur l'échauffement pariétal le long de la trajectoire de rentrée a été réalisée.



Flux de chaleur total calculé par CFD (à gauche) et modélisé (à droite)
sur l'extrados d'un cylindre plein en incidence
($L = 1,5 \text{ m}$; $D = 0,1 \text{ m}$; $\alpha = 10^\circ$; $U_\infty = 6\,000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; $z = 70 \text{ km}$)

Mieux cerner l'impact de différents bruits de cabine d'hélicoptère sur les performances cognitives et le confort des passagers

Emilie JAHANPOUR

Thèse soutenue le 17 décembre 2019

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

Titre de la thèse

**Développement et mise en œuvre d'une approche
psycho-physio-acoustique pour le contrôle temps réel
de l'impact du bruit en cabine d'hélicoptère**

Encadrement

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Directeurs de thèse : Frank Simon - ONERA

Mickaël Causse - ISAE-SUPAERO

Financement

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

Défi scientifique

Systèmes
intelligents

www.onera.fr/pss

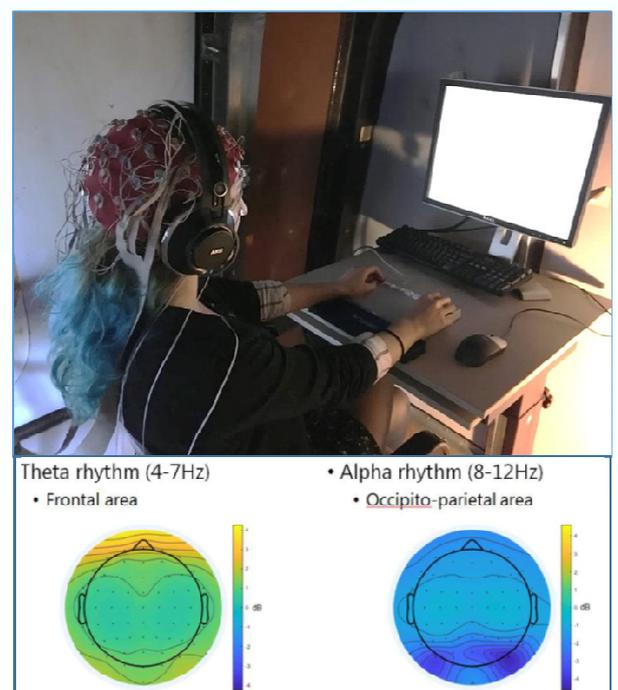


Contact : Frank.Simon @ onera.fr

Résumé

Le bruit environnemental a des effets bien connus sur l'humain. A court terme, il peut être source de stress, de fatigue, ou de déconcentration. Pour autant, la littérature montre des effets complexes, il peut par exemple être source de plaisir et de motivation. Dans le domaine de l'acoustique hélicoptère, le bruit en cabine est particulier parce qu'il possède une large gamme de fréquence (10-10000Hz). Le bruit de la boîte de transmission principale est particulièrement désagréable parce qu'il s'agit d'un bruit de type tonal dans des gammes de fréquences (500-3000 Hz) proches de la parole (200-6000Hz) auxquelles l'humain est très sensible. Les passagers émettent le désir de pouvoir travailler, lire et se reposer sans être gêné, ainsi, un enjeu pour les constructeurs consiste à améliorer le confort sonore en cabine. Pour réduire ce bruit, une solution est d'utiliser le contrôle actif. Airbus Helicopters a développé un système d'appui-tête intégrant des haut-parleurs et des microphones permettant de générer une zone autour de la tête des passagers dans laquelle le contrôle actif est réalisé. L'ajout d'un algorithme multi-tonalité, visant à filtrer uniquement les tonalités émergentes, permet un gain allant jusqu'à 4 dB(A), ce qui représente une réduction de l'inconfort de 15%. L'objectif de cette thèse était de définir s'il est pertinent de filtrer toutes ces tonalités en fonction de l'activité courante du passager. Autrement dit, cette thèse visait à mieux cerner l'impact de différents bruits de cabine d'hélicoptère sur les performances cognitives et le confort des passagers, grâce à des mesures subjectives, comportementales (performance, oculométrie) et psychophysiques (électroencéphalographie, électrocardiographie). Afin de simuler l'activité d'un passager, trois tâches ont été sélectionnées : une tâche de « travail » (combinant calcul mental, raisonnement et mémoire de travail), une tâche de lecture et enfin une tâche de repos. Les résultats ont été comparés avec ceux obtenus par l'échelle de confort acoustique développée par Airbus Helicopters. Nous retrouvons une bonne correspondance entre cette échelle et nos résultats. Par ailleurs, nos résultats comportementaux et psychophysiques font apparaître qu'une exposition courte aux sons d'hélicoptères n'a généralement que très peu d'effets délétères sur les performances aux tâches et ne crée qu'une faible augmentation du niveau de stress, observable par l'activité cérébrale et cardiaque. Cependant, le ressenti subjectif est le plus impacté par le bruit, avec un ressenti négatif associé aux bruits ayant le plus de tonalités.

Mesure des rythmes Theta et Alpha avec casque à électrodes pour EEG



Distinction

Prix doctorant ONERA
(2019)

Luis BERNARDOS BARREDA

Thèse soutenue le 25 octobre 2019

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

Titre de la thèse

**Modélisation de la transition vers la turbulence
d'une couche limite décollée**

Encadrement

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Encadrants : François Richez & Vincent Gleize - ONERA

Directeur de thèse : Georges A. Gerolymos - Sorbonne Université

Financement

ONERA

Défi scientifique

Vers la maîtrise
de la turbulence

www.onera.fr/pss

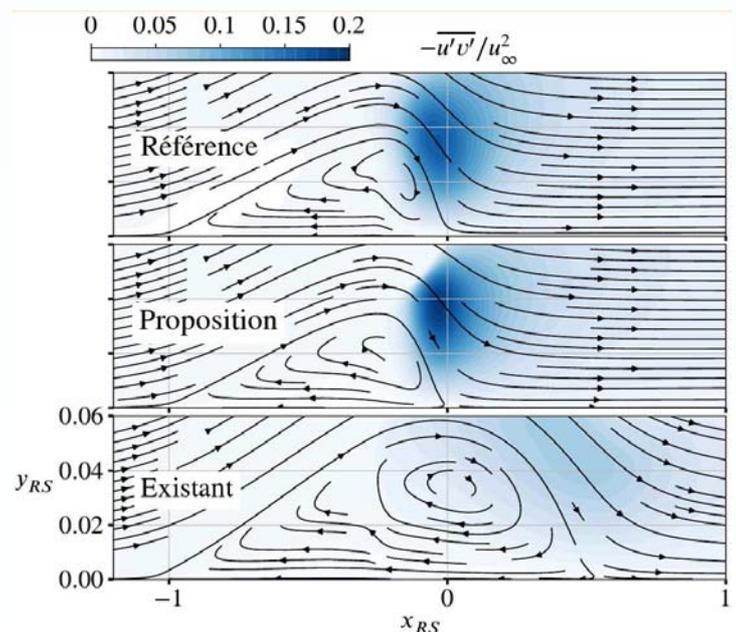


Contact : Luis.Bernardos_Barreda @ onera.fr

Résumé

Le point commun entre la voilure d'un drone, les pales d'une éolienne, les aubes d'un turboréacteur ou encore le rotor d'un hélicoptère, est le suivant : le nombre de Reynolds caractéristique de ces écoulements peut devenir faible, de sorte que la transition laminaire-turbulent joue un rôle déterminant. Dans ces conditions, il est habituel que la couche limite laminaire décolle de la surface, transitionne vers la turbulence, et recolle sur la surface en créant un bulbe de décollement laminaire. Dans certaines circonstances, le bulbe peut éclater en provoquant le décrochage du profil, ce qui n'est pas souhaité. Par conséquent, il est nécessaire d'être en mesure de prévoir avec précision sous quelles circonstances le bulbe apparaît et l'influence qu'exerce ce dernier sur l'écoulement. L'approche communément employée pour la prévision d'écoulements est la simulation numérique basée sur la résolution des équations de Navier-Stokes moyennées (RANS). Cette approche nécessite l'emploi de modèles de turbulence et de transition qui, à l'heure actuelle, ne prévoient pas assez précisément l'apparition des bulbes de décollement laminaire. Le but de cette thèse est de proposer des modèles qui améliorent la précision des prévisions RANS des bulbes de décollement laminaire. Grâce à de données haute-fidélité disponibles sur une configuration de référence, un problème majeur a été mis en évidence : les modèles existants ne produisent pas de la turbulence à un rythme suffisamment élevé dans la région transitionnelle. Dans un deuxième temps, un ensemble de modèles ont été proposés qui corrigent les défauts observés. Le principe des modèles proposés consiste à produire de la turbulence à un taux adéquat dans la région transitionnelle, améliorant ainsi notablement la précision de la prévision du bulbe. Enfin, une évaluation complète des modèles proposés a été effectuée en les appliquant à différentes géométries de profils aérodynamiques. En général, on observe une amélioration de la précision des prévisions des bulbes tout en capturant correctement l'influence des conditions physiques de l'écoulement.

Comparaison des lignes de courant et des niveaux de turbulence d'un bulbe de référence DNS par rapport aux prévisions d'un modèle existant et d'un modèle proposé dans la thèse



**Etudier l'effet des discontinuités géométriques
inhérentes aux dispositifs d'aspiration pariétale
pour mieux les caractériser**

Jeanne METHEL

Thèse soutenue le 4 novembre 2019

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

Titre de la thèse

**Etude expérimentale de l'influence de défauts de surface sur
la transition laminaire-turbulent d'une couche limite aspirée**

Encadrement

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Encadrant : Olivier Vermeersch - ONERA

Directeurs de thèse : Grégoire Casalis - ISAE-SUPAERO
Maxime Forte - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

Vers la maîtrise
de la turbulence

www.onera.fr/pss



**Université
de Toulouse**



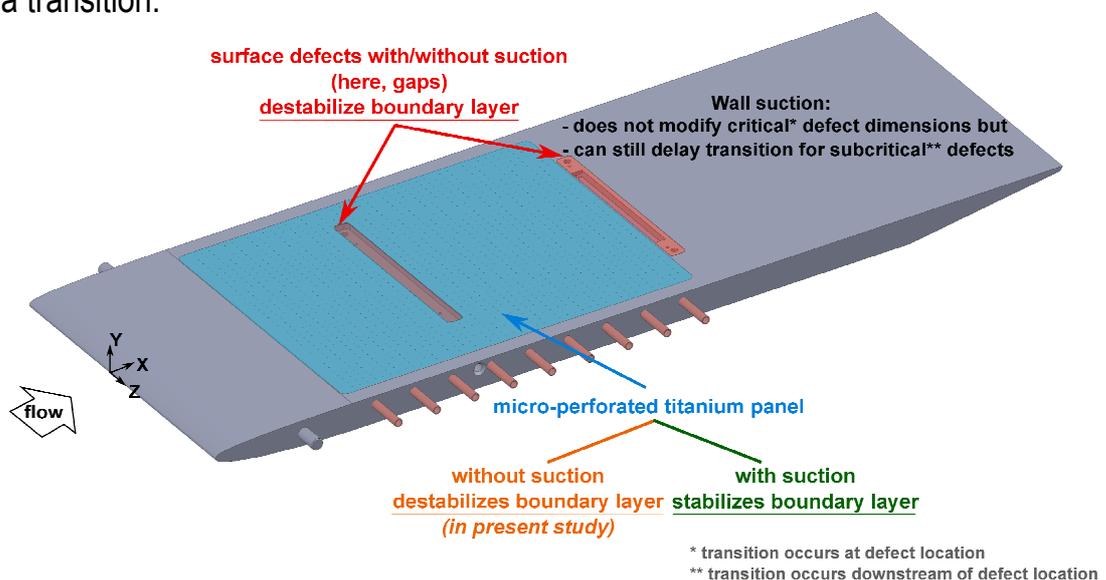
Contact : Maxime.Forte @ onera.fr

Résumé

L'accroissement prévu du trafic aérien s'accompagne de forts enjeux économiques et environnementaux, nécessitant en particulier de réduire la consommation en carburant des avions modernes. Pour cela, l'aspiration pariétale est une méthode qui permet de retarder la transition laminaire-turbulent des couches limites qui se développent à la surface des avions, entraînant une réduction significative de la force de traînée et donc de la consommation en carburant. En effet, le coefficient de frottement d'une couche limite en régime laminaire est beaucoup plus faible qu'en régime turbulent. Toutefois, l'installation d'un système d'aspiration induit inévitablement des discontinuités géométriques (ou défauts de surface), en particulier à la jonction entre la zone aspirée et la zone pleine (sans aspiration). Or, ces défauts sont susceptibles de déclencher une transition prématurée, pouvant ainsi complètement annuler l'effet positif de l'aspiration.

L'objectif de cette thèse est d'étudier expérimentalement l'effet de défauts de surface sur la transition d'une couche limite aspirée dans un écoulement incompressible et bidimensionnel. Dans un premier temps, un protocole expérimental a été mis en place pour vérifier la qualité de l'écoulement de la soufflerie et préciser un cas de référence pour la configuration lisse, sans défaut. En particulier, l'influence de la distribution longitudinale de l'aspiration sur la position de la transition a été étudiée, confirmant ainsi que tous les cas avec aspiration, qu'elle qu'en soit la distribution, permettraient de repousser la transition vers l'aval. En parallèle, il a été observé qu'une couche limite se développant au-dessus d'une paroi poreuse sans aspiration pouvait être déstabilisée. Dans un second temps, l'influence de trois types de défauts de surface (fils, marches montantes et rainures) a été étudiée. Les mesures ont montré le même comportement sur paroi pleine et sur paroi aspirée. En particulier, les dimensions critiques des défauts (hauteur et/ou largeur) à partir desquelles la transition a lieu au niveau du défaut restent inchangées. Toutefois, dans le cas de défauts sous-critiques, pour lesquels la transition n'est pas déclenchée immédiatement, l'aspiration permet toujours de retarder la transition.

Maquette de plaque plane utilisée dans une soufflerie de recherche de l'ONERA



**Développer des outils numériques
d'imagerie et de localisation de sources
pour des applications en aéroacoustique,
aérodynamique ou hydrodynamique**

Etienne GAY

Thèse soutenue le 19 septembre 2019

Ecole doctorale : ED 386 - Sciences Mathématiques - Paris Centre

Titre de la thèse

Coherent Interferometric Imaging in Fluid Dynamics

Encadrement

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Directeurs de thèse : Josselin Garnier - École Polytechnique
Eric Savin - ONERA & CentraleSupélec

Financement

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

Défi scientifique

Vers la maîtrise
de la turbulence

www.onera.fr/pss

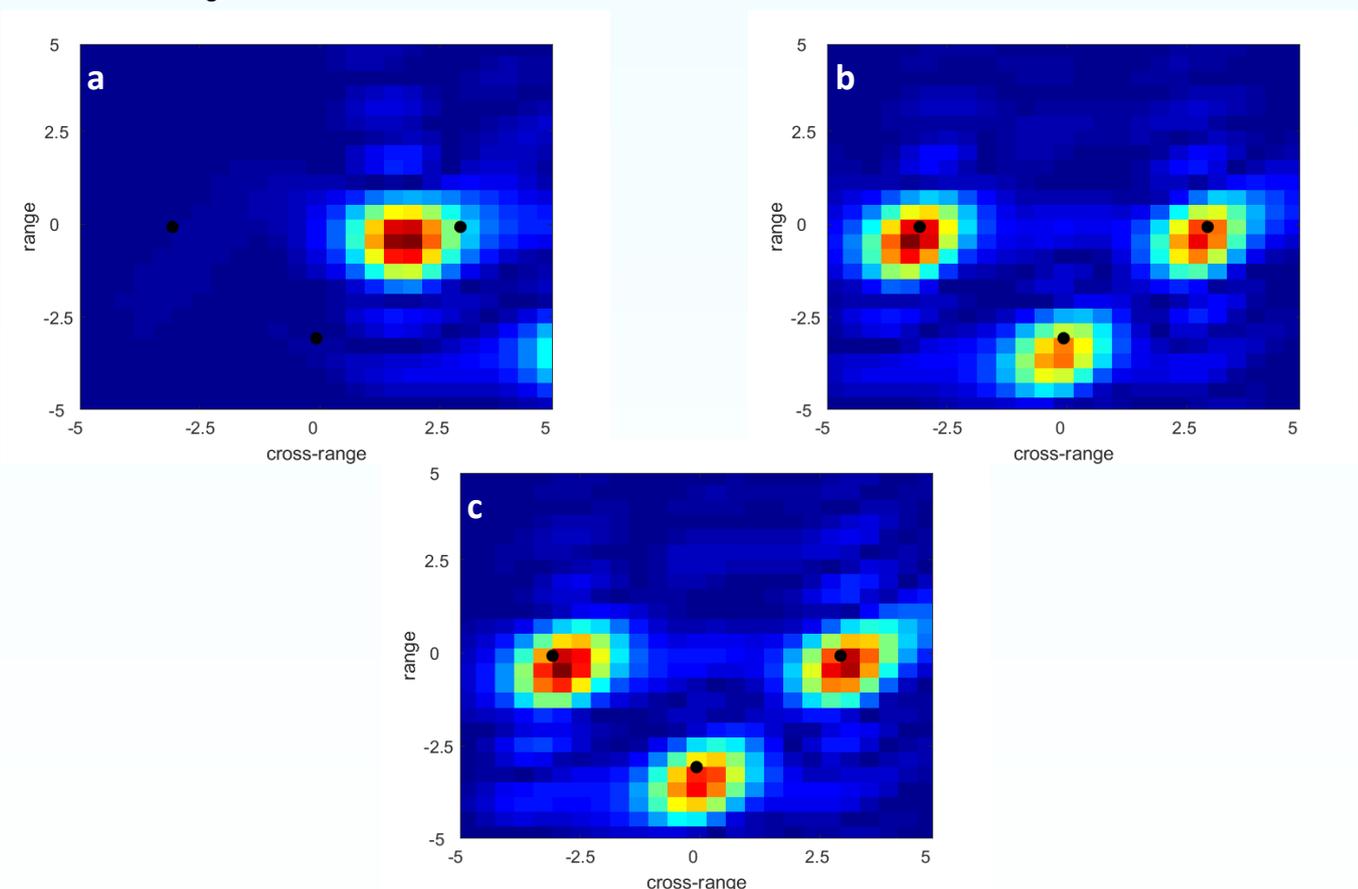


Contact : Eric.Savin @ onera.fr

Coherent Interferometric Imaging in Fluid Dynamics

Résumé

The present research is aimed at developing coherent interferometric (CINT) imaging algorithms to localize sources and reflectors in applications involving fluid flows. CINT imaging has been shown to be efficient and statistically stable in quiescent cluttered media where classical imaging techniques, such as Kirchhoff's migration, may possibly fail due to their lack of statistical robustness. We aim at extending these methods to inhomogeneous moving media, for it has relevance to aeroacoustics, atmospheric and underwater acoustics, infrasound propagation, or even astrophysics. In this thesis we address both the direct problem of modeling the propagation of acoustic waves in a randomly heterogeneous ambient flow, and the inverse problem of finding the position of sources or reflectors by the CINT algorithm implemented with the traces of the acoustic waves that have travelled through the flow.



CINT passive imaging of three sources through a synthetic turbulent jet flow. Influence of the Doppler and refraction compensation mechanisms on the imaging functionals: (a) without any compensation; (b) with Doppler compensation; (c) with Doppler and refraction compensation mechanisms. The source locations are shown by black dots

**Améliorer un modèle d'écoulement aérodynamique
turbulent par assimilation de données
pour obtenir des résultats plus précis
tout en diminuant le coût de calcul**

Lucas FRANCESCHINI

Thèse soutenue le 4 novembre 2019

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

Titre de la thèse

**Stratégies de modélisation pour la reconstruction
d'écoulements aérodynamiques à partir de mesures partielles**

Encadrement

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Encadrants : Olivier Marquet & Florent Renac - ONERA

Directeur de thèse : Denis Sipp - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

Vers la maîtrise
de la turbulence

www.onera.fr/pss

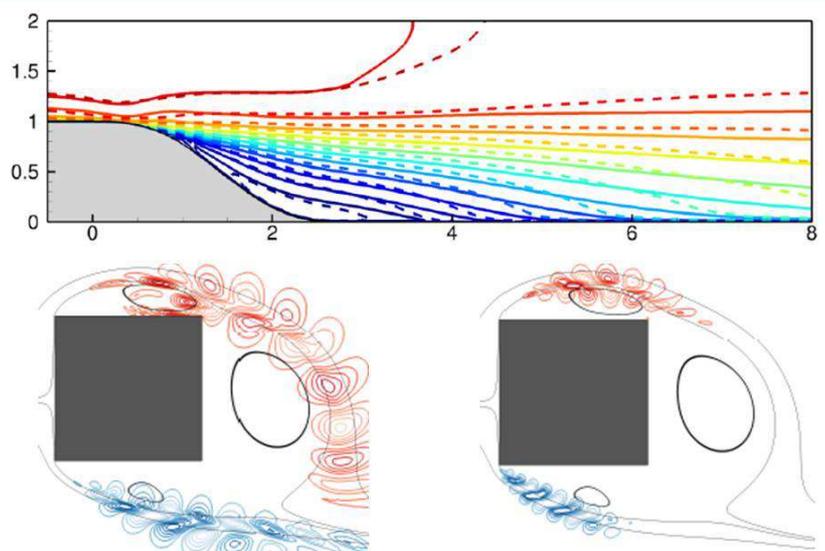
université
PARIS-SACLAY

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Contact : Olivier.Marquet@onera.fr

Résumé

Dans un premier temps, nous nous intéressons à la récupération du champ moyen à partir d'informations partielles ou éparses, allant des sondes de vitesse ponctuelles à la pression ou frottement de paroi. Pour le réaliser, on considère les équations de *Reynolds-Averaged Navier-Stokes* (RANS), complétées par un modèle, ici le Spalart-Allmaras. Ce type de modélisation a été conçu pour quelques configurations d'écoulement de référence et peut manquer de généralité, ce qui conduit à des prédictions erronées, surtout lorsqu'il y a recirculation. Nous modifions ce modèle avec un paramètre de contrôle tel que la solution modifiée corresponde le mieux aux données de champ moyen mentionnées ci-dessus. La configuration considérée est une marche descendante à $Re = 28275$, avec des données réelles provenant d'une DNS. Ensuite, nous nous intéresserons à l'analyse linéaire de champ moyen et à son utilisation pour prédire la fluctuation non linéaire instationnaire. En particulier, nous concevons un modèle d'ordre réduit, composé de l'équation du champ moyen couplé aux modes de résolvant, qui prédit la fluctuation pour chaque fréquence existante. Les énergies de ces modes sont utilisées comme paramètres à régler par la procédure d'assimilation de données, qui nécessite généralement (très) peu de données, typiquement des signaux résolus en temps issus de sondes ponctuelles. Cette technique sera appliquée dans des écoulements transitoires tels que celui autour d'un cylindre à section carrée, un cas de référence pour les écoulements oscillateurs, et une marche descendante, un écoulement type d'amplificateur de bruit. Nous considérons ensuite un cas turbulent correspondant à l'écoulement autour d'un cylindre à section carrée à $Re = 22000$, ayant à la fois des caractéristiques d'oscillateur (émission périodique de vortices) et d'amplificateur de bruit (représenté par les structures Kelvin-Helmholtz). L'analyse classique de stabilité de champ moyen est utilisée pour récupérer le mode d'émission de vortex et une technique de résolvant, basée sur les équations linéarisées autour de la composante périodique, est proposée pour récupérer la dépendance des modes Kelvin-Helmholtz avec l'émission de vortex.



Reconstruction (haut) par assimilation de donnée d'un champ de vitesse moyen turbulent au dessus d'une marche arrondie ($Re=28\ 275$) et (bas) par analyse du résolvant périodique des instabilités de Kelvin-Helmholtz dans le sillage turbulent d'un cylindre de section carrée ($Re=22\ 000$)

**Développer un modèle numérique pour prédire
le transport d'eau liquide sur une surface
protégée par un système d'anti-givrage**

Julien LALLEMENT

Thèse soutenue le 8 février 2019

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

Titre de la thèse

**Modélisation et simulation numérique d'écoulements
de films minces avec effet de mouillage partiel**

Encadrement

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Directeurs de thèse : Philippe Villedieu & Pierre Trontin - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

Vers la maîtrise
de la turbulence

www.onera.fr/pss



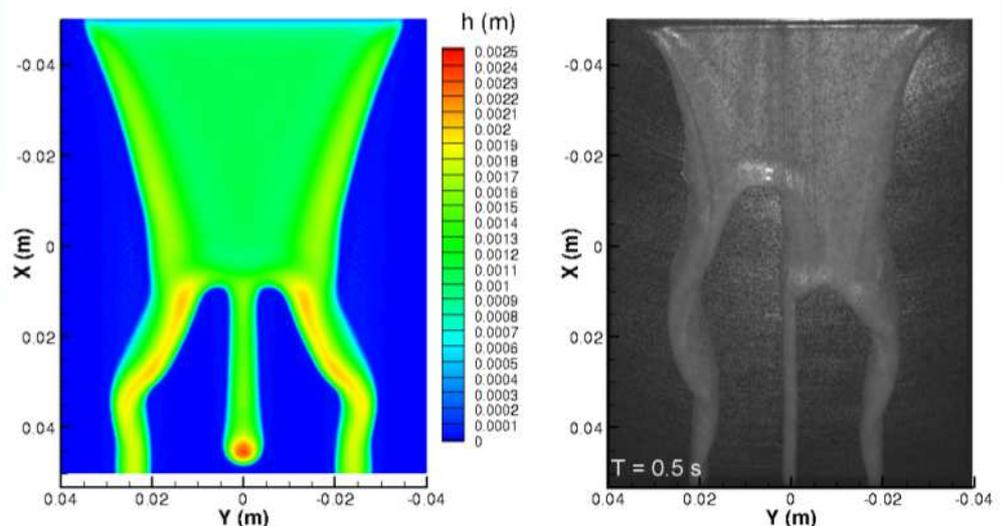
**Université
de Toulouse**



Contact : Pierre.Trontin @ onera.fr

Résumé

L'accrétion de givre sur les surfaces rencontrées en aéronautique (ailes, entrées d'air moteur, sonde, ...) est considérée comme un risque majeur pour la sécurité aérienne. Les conséquences observées sont la dégradation des performances aérodynamiques pouvant conduire au décrochage, des perturbations dans les moteurs pouvant aller jusqu'à son extinction ou le colmatage des sondes. C'est pourquoi les aviateurs développent des systèmes de protection thermiques contre le givre. L'eau accumulée sur les surfaces reste ainsi à l'état liquide et forme un film mince. Les propriétés dynamiques (hauteur, vitesse et étalement) et thermiques (température, taux d'évaporation) du film en présence d'un écoulement d'air cisailé permettent de prédire un éventuel regel du film d'eau en dehors des zones protégées (« runback ice »). Comme les essais en vols ou en soufflerie sont souvent complexes à mettre en œuvre et onéreux, la simulation numérique est devenue un outil efficace et complémentaire pour dimensionner ces systèmes. L'objet principal de cette thèse est le développement de modèles intégrés dans un outil numérique permettant de prédire le transport d'eau liquide sur une surface sous forme de film ou de ruisselets ou de gouttes. Une approche intégrale de type Saint Venant est adoptée ce qui permet de décrire la dynamique macroscopique d'un film 3D pour des configurations et des temps de calcul raisonnables par rapport à un calcul DNS. Une formulation augmentée du second ordre en espace pour le traitement des termes de courbure est proposée, ce qui autorise l'utilisation de maillages surfaciques non structurés généraux. Contrairement aux modèles disponibles dans la littérature, celui proposé dans ce manuscrit présente l'avantage de tenir compte des phénomènes capillaires et de mouillage sans limite de validité en termes d'angle de contact statique. Une équation de conservation de l'énergie garantissant la consistance thermodynamique des solutions calculées est dérivée du système augmenté régissant la dynamique du fluide. Une discrétisation de type Volumes Finis du système d'équation est proposée. Des simulations numériques valident le modèle pour des configurations académiques de mouillage statiques et dynamiques. La transition d'un film continu en ruisselets est également simulée.



Comparaison entre la simulation numérique et les résultats expérimentaux de la digitation d'un film liquide tombant injecté sur une paroi verticale

Développer de nouvelles méthodes de modélisation d'ordre réduit pour diminuer les coûts des simulations numériques des systèmes aéroélastiques

Fabrizio DI DONFRANCESCO

Thèse soutenue le 13 décembre 2019

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

Titre de la thèse

**Reduced Order Models of the Navier-Stokes Equations
for Aeroelasticity**

Encadrement

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Encadrant : Antoine Placzek - ONERA

Directeur de thèse : Jean-Camille Chassaing - Sorbonne Université

Financement

ONERA

Défi scientifique

CFD 2030

www.onera.fr/pss

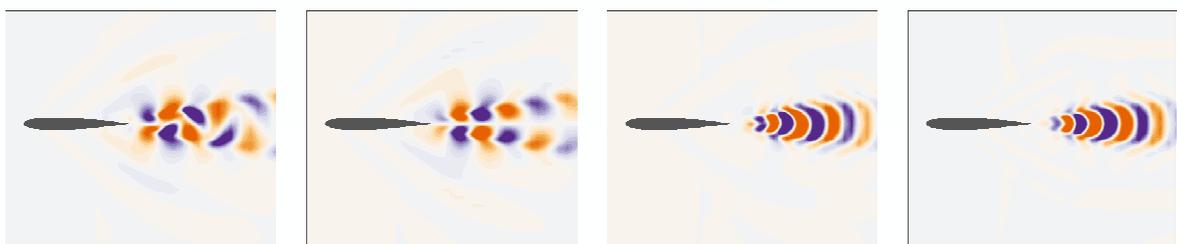


Contact : [Antoine.Placzek @ onera.fr](mailto:Antoine.Placzek@onera.fr)

Résumé

The numerical prediction of aeroelastic systems responses becomes unaffordable when parametric analyses with high-fidelity CFD are required. Reduced order modeling (ROM) methods have therefore been developed in view of reducing the costs of the numerical simulations while preserving a high level of accuracy. The present thesis focuses on the family of projection based methods for the compressible Navier-Stokes equations involving deforming meshes in the case of aeroelastic applications. The use of vector basis obtained by Proper Orthogonal Decomposition (POD) combined to a Galerkin projection of the system equations is prevalent within the literature context of ROMs in fluid mechanics. However, several problematics must be addressed progressively. First, the compressibility hypothesis prevents the use of an explicit polynomial formulation for the ROM and requires the introduction of further approximations to take into account the nonlinearities involved in the Navier-Stokes equations. Masked projection approaches are therefore implemented and assessed for different test cases with fixed boundaries in order to provide a fully nonlinear formulation for the projection-based ROMs. Then, the ROM is adapted in the case of deforming boundaries. A POD formulation based on an index correlation is particularly suitable since it can be combined with the masked projection approaches. Validation test cases of increasing complexity with imposed motion and fully coupled fluid-structure systems are considered.

One motivation of the present work is the determination of periodic solutions. The time integration of the projection based ROMs could be challenging in terms of stability and the long-term periodic behavior may not be well predicted. Rather than trying to improve the stability of the time-domain formulation of the ROM, we propose to change the perspective in addressing this issue, by focusing on the periodic steady state of concern. Indeed, classical unsteady techniques can be avoided when considering systems that are periodic in time by introducing harmonic techniques. Periodic solutions are, thus, computed by the Time Spectral Method (TSM) implementation of the Navier-Stokes equations and a Reduced Order Time Spectral Method (RO-TSM) is formulated. The potentiality of this technique is highlighted with different transonic test cases with moving field discontinuities whose complexity has led to stability issues for time-dependent ROMs. Finally, the accuracy of the ROMs developed in this work is evaluated for parametric applications. For this purpose, interpolation techniques have been implemented in order to update the POD basis involved in the ROM with respect an off-reference condition.



First four Proper Orthogonal Modes of density used to approximate the flow field around a NACA12 airfoil at $Re=5000$ and $Ma=0.85$

Distinction

First Place at the
Student Poster
Session -
congrès ASME
Turbo Expo (2017)

Ariane EMMANUELLI

Thèse soutenue le 6 septembre 2019

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

Titre de la thèse

**Simulation numérique et modélisation du bruit entropique
à travers une tuyère et un stator de turbine**

Encadrement

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Encadrant : Maxime Huet - ONERA

Directeur de thèse : Sébastien Ducruix - Laboratoire EM2C

Financement

ONERA

Défi scientifique

La propulsion dans
toute sa complexité

www.onera.fr/pss



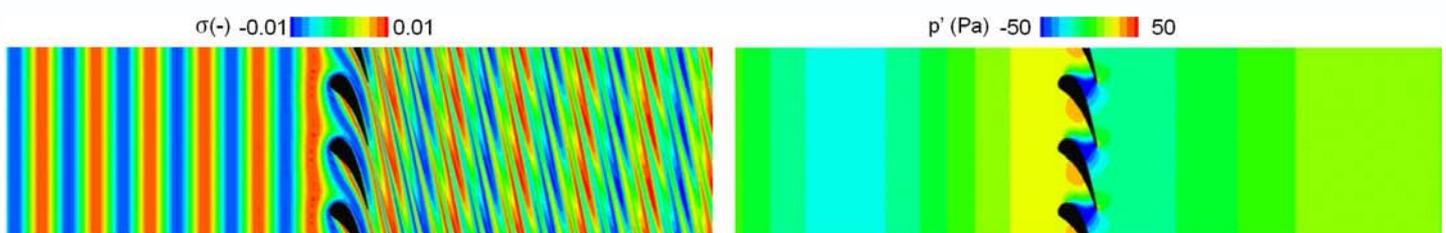
CentraleSupélec



Contact : Maxime.Huet @ onera.fr

Résumé

L'étude du bruit de combustion est motivée par l'augmentation de sa contribution relative au bruit émis par les moteurs aéronautiques actuels, ainsi que par son impact sur la conception de chambres de combustion à basse émission de NOx. Le bruit entropique est une source de bruit de combustion indirect générée par l'accélération de perturbations entropiques à travers les tuyères et les étages de turbine à l'aval de la chambre de combustion. Cette étude porte sur la simulation numérique et la modélisation du bruit entropique à travers une tuyère et un stator de turbine. Dans un premier temps, le bruit entropique est simulé dans une tuyère avec un code CAA (Computational AeroAcoustics) afin de valider un modèle 2D existant sous des hypothèses similaires. Les niveaux de bruit entropique et de diffusion acoustique obtenus par les deux méthodes sont en accord. Leur comparaison au bruit estimé par des modèles compacts et 1D montre que les effets bidimensionnels sont significatifs. De plus, de la vorticité induite par l'accélération de perturbations entropiques est identifiée, mais celle-ci ne contribue pas significativement au bruit généré. Une géométrie de stator de turbine haute pression est ensuite étudiée en 2D. Le modèle pour les tuyères 2D est étendu à ces configurations, héritant de certaines de ses hypothèses. L'étude de celles-ci montre que l'impact de la vorticité et des variations azimutales des fluctuations acoustiques, négligées par le modèle, est significatif. Ces hypothèses devront être relaxées lors de développements futurs. Les calculs CAA permettent également de caractériser la génération de bruit entropique sous hypothèses simplificatrices avec à la fois des champs porteurs Euler et RANS. Une étude plus approfondie du cas RANS est nécessaire pour sa validation, ainsi que pour mieux comprendre le rôle de la couche limite dans la génération du bruit entropique. Enfin, un canal de stator est étudié par des calculs ZDES (Zonal Detached Eddy Simulation) afin d'examiner les effets 3D et visqueux sur le bruit généré. La tri-dimensionnalité de l'écoulement est mise en évidence et les perturbations sont post-traitées en portant une attention particulière au filtrage des fluctuations hydrodynamiques et aux réflexions en parois. Les résultats obtenus par la CAA et la ZDES sont comparables, ce qui indique que la tri-dimensionnalité et la viscosité de l'écoulement ont un effet limité sur le bruit entropique généré dans un stator de turbine.



*Simulation du bruit entropique à travers une grille de stators 2D.
A gauche, fluctuations d'entropie (température). A droite, bruit généré*

Distinction

Prix Pierre Maury
de l'Académie
des Sciences
de Toulouse (2019)

Thibault DÉSSERT

Thèse soutenue le 17 janvier 2019

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

Titre de la thèse

**Etude aéropulsive d'un micro-drone à voilure tournante
pour l'exploration martienne**

Encadrement

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Directeurs de thèse : Jean-Marc Moschetta - ISAE-SUPAERO
Hervé Bézard - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

La propulsion dans
toute sa complexité

www.onera.fr/pss



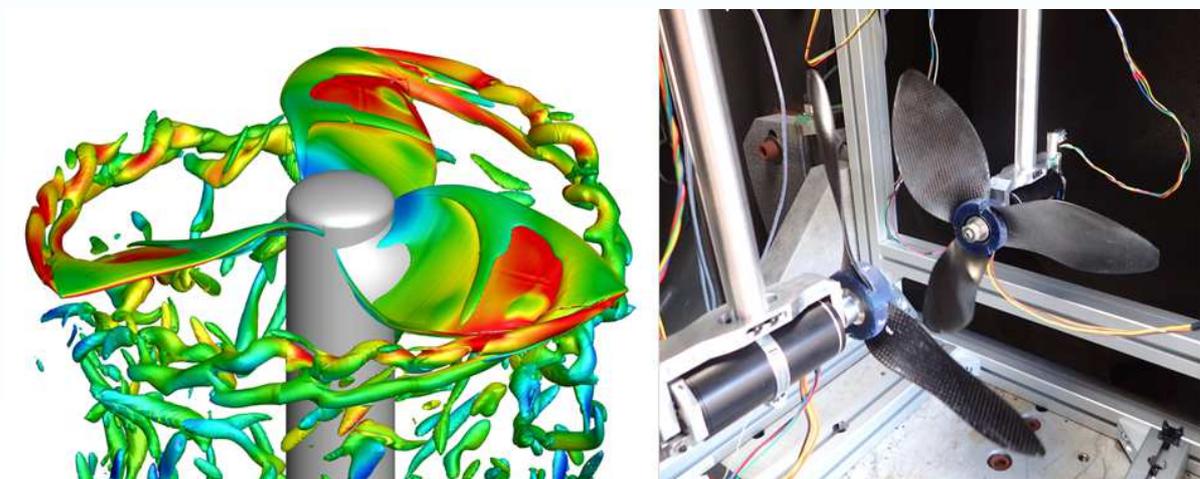
Université
de Toulouse



Contact : [Herve.Bezard @ onera.fr](mailto:Herve.Bezard@onera.fr)

Résumé

Un micro-drone à voilure tournante est l'appareil aérien optimal pour assister un rover d'exploration à la navigation sur la planète Mars. Mais les écoulements rencontrés sont à la fois compressibles et à très faible nombre de Reynolds, ce qui constitue un domaine de l'aérodynamique inédit et quasiment inexploré à ce jour. L'objectif de la thèse est de comprendre, simuler et recréer expérimentalement les phénomènes aérodynamiques des écoulements martiens pour concevoir un système propulsif performant. Les outils numériques sont d'abord validés sur une expérience de la littérature bien documentée. Puis des millions de géométries de profil sont évaluées par un processus d'optimisation basé sur un code 2D stationnaire. Les profils optimisés pour les conditions martiennes sont fortement cambrés (entre 5,5% et 7%) et de faible épaisseur relative ($\sim 2\%$). Le bord d'attaque et le bord de fuite sont très cambrés pour permettre respectivement l'adaptation à l'écoulement incident et la fixation du point de décollement de la couche limite qui est très épaisse et laminaire à ces régimes. L'ensemble du système propulsif est optimisé par intégration des caractéristiques aérodynamiques 2D des profils. La théorie des éléments de pale permet de déterminer rapidement les configurations les plus performantes. Une méthode de sillage libre permet l'optimisation de rotors isolés et de systèmes propulsifs coaxiaux. Les rotors ont des solidités et des vrillages importants. Les simulations Navier-Stokes 3D mettent en évidence la tridimensionnalité des écoulements sur la pale. La rotation stabilise la couche limite et donne lieu à un décollement stable au bord d'attaque pour certaines géométries. Le dévissage en bout de pale permet de diminuer la perte induite. Un banc de mesure est placé dans un caisson dépressurisé rempli de CO₂ pour estimer les efforts de poussée et de couple générés par les rotors optimisés en conditions martiennes. Les essais permettent de valider les tendances d'estimation des codes de simulation ainsi que les processus d'optimisation. Un système propulsif coaxial optimisé, de diamètre 30 cm, permettrait de sustenter un micro-drone d'environ 400 grammes en conditions nominales sur la planète Mars.



Simulation Navier-Stokes elsA d'un rotor de micro-drone optimisé pour les conditions martiennes et mesures des performances d'une configuration coaxiale dans le caisson basse pression de l'ONERA

**Réaliser des essais dans des conditions critiques
de rallumage en haute altitude pour constituer
une base de données permettant de modéliser
le comportement du combustible**

Distinction

Nomination
pour le prix de thèse
de la Fondation ISAE-
SUPAERO (2020)

Pierre DOUBLET

Thèse soutenue le 17 décembre 2019

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

Titre de la thèse

**Etude de la pression et de la température de l'air
et du carburant sur les caractéristiques du spray
délivré dans une chambre de combustion**

Encadrement

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Directeurs de thèse : Pierre Gajan & Christine Lempereur - ONERA

Financement

CIFRE Safran Aircraft Engines

Défi scientifique

La propulsion dans
toute sa complexité

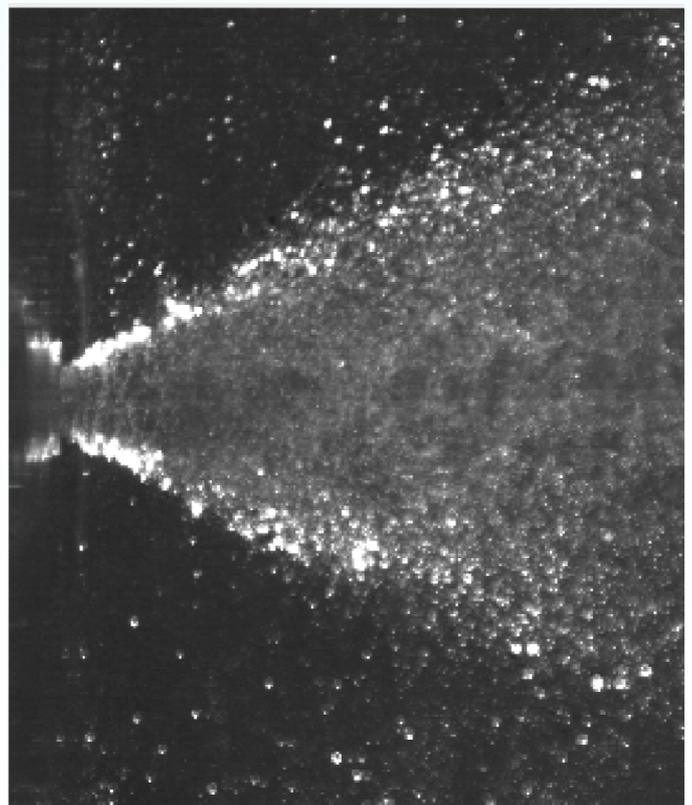
www.onera.fr/pss



Contact : Pierre.Doublet @ onera.fr

Résumé

L'optimisation des systèmes propulsifs pour l'aéronautique présente un large ensemble de défis technologiques qui doivent répondre à de nombreuses contraintes. L'une des principales contraintes pour la sécurité d'un aéronef est sa capacité à assurer le redémarrage en conditions de haute altitude. Ces conditions environnementales altèrent considérablement les caractéristiques du brouillard et limitent l'évaporation du combustible. Afin de prévoir l'influence de ces conditions sur le brouillard, les industriels ont recours à des modèles de comportement. Cependant ces corrélations sont établies dans des conditions ambiantes et il n'existe pas à ce jour de mesures réalisées dans ces conditions critiques de rallumage. De plus, rien n'atteste que ces corrélations restent valables dans ces conditions critiques. Afin de répondre à cette question, il paraît judicieux de mener des essais dans ces conditions critiques afin d'y caractériser le comportement du brouillard. Cette étude consiste donc à réaliser des essais dans ces conditions critiques de rallumage en haute altitude de manière à constituer une base de données dans le but de développer des modèles de comportement du brouillard. Un autre objectif de cette étude sera d'étendre la technique de mesure Planar Droplet Sizing au cas du kérosène et au banc MERCATO afin de proposer une alternative aux mesures PDA qui demeurent chronophages. La comparaison avec les mesures PDA nous permet de quantifier la précision de la technique de mesure dans ce contexte critique.



*Visualisation en coupe longitudinale
d'un brouillard typique rencontré dans
une chambre de combustion*

**Développer de nouvelles méthodes numériques
pour mieux prédire la formation
et l'évolution des particules de suie
dans les foyers aéronautiques**

Nicolas DELLINGER

Thèse soutenue le 30 septembre 2019

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

Titre de la thèse

**Modélisation de la formation et de l'évolution
des particules de suie en approche hybride Euler-Lagrange
pour la simulation de foyers aéronautiques**

Encadrement

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Encadrants : Nicolas Bertier & Francis Dupoirieux - ONERA

Directeur de thèse : Guillaume Legros - Sorbonne Université

Financement

ONERA

Défi scientifique

La propulsion dans
toute sa complexité

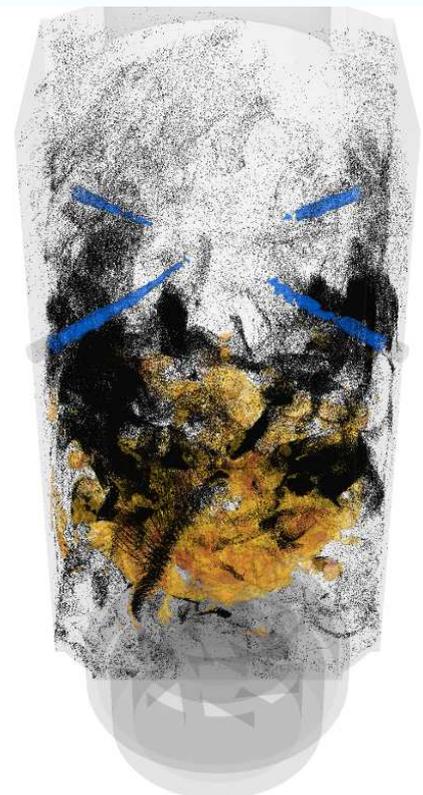
www.onera.fr/pss



Contact : Nicolas.Dellinger @ onera.fr

Résumé

Les suies représentent un enjeu important pour la conception des foyers aéronautiques. Une nouvelle réglementation de leurs émissions doit en effet entrer en vigueur en 2020. Aussi, les suies modifient les transferts radiatifs en leur sein affectant la charge thermique aux parois et la formation des NOx. Prédire précisément et efficacement la formation et l'évolution des particules de suie est cependant une question toujours ouverte en CFD. Ce travail propose de combiner une description eulérienne des précurseurs de suie et une description lagrangienne de l'évolution des particules, celle-ci étant bien adaptée au suivi de l'évolution de leur distribution en taille. La croissance des hydrocarbures aromatiques polycycliques est modélisée par une méthode sectionnelle pour calculer le taux de nucléation de suies et créer les particules suivies dans l'écoulement. Ces dernières sont modélisées par des sphères interagissant avec le gaz et, pour les plus jeunes, entre elles par coalescence selon leur diamètre. La méthode est implantée dans le code CEDRE et associée à une procédure de réduction du nombre de particules pour en contrôler le coût de convergence statistique. Appliquée à des flammes laminaires stationnaires de prémélange C₂H₄-air, elle est confrontée à des mesures de composition, fraction volumique de suie et diamètre des particules avec succès. La méthode est utilisée, avec l'Approximation de l'État Quasi-Stationnaire appliquée à la chimie du gaz, pour simuler une flamme turbulente pressurisée C₂H₄-air analogue aux configurations RQL des foyers aéronautiques, et confrontée à des mesures de fraction volumique de suie, vitesse, température et composition avec succès.



*Simulation aux grandes échelles
par le code CEDRE de la formation et
de l'évolution des particules de suie
en approche hybride Euler-Lagrange
dans la configuration FIRST*

Distinction

Prix de la meilleure
présentation de
travaux de thèse –
Conférence Space
Propulsion (2018)

Nicolas RUTARD

Thèse soutenue le 22 novembre 2019

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

Titre de la thèse

**Simulation numérique et modélisation de l'influence
d'ondes acoustiques de haute amplitude sur un jet
diphasique : application au domaine
de la propulsion fusée à ergols liquides**

Encadrement

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Encadrant : Luc-Henry Dorey - ONERA

Directeur de thèse : Sébastien Ducruix - Laboratoire EM2C

Financement

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) & ONERA

Défi scientifique

La propulsion dans
toute sa complexité

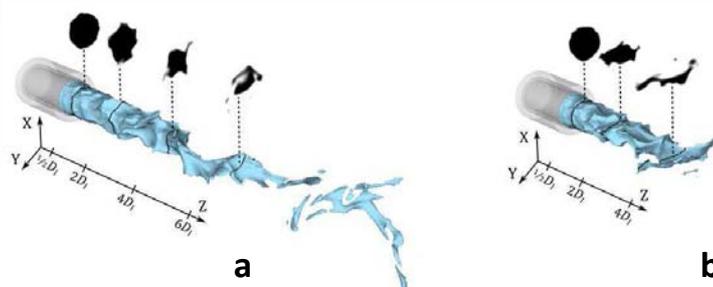
www.onera.fr/pss



Contact : Nicolas.Rutard @ onera.fr

Résumé

L'occurrence d'instabilités de combustion de haute fréquence au sein des moteurs-fusées à ergols liquides peut s'avérer dommageable pour l'intégrité des systèmes propulsifs. Par conséquent, les acteurs du spatial souhaitent renforcer leur compréhension des mécanismes à l'origine de ces instabilités. Pour cela, la simulation numérique s'est révélée au fil du temps de plus en plus attractive. Dans le cas particulier d'un fonctionnement en régime subcritique, le comburant se trouve à l'état liquide dans la chambre de combustion. Pour reproduire fidèlement les écoulements associés à ce régime de fonctionnement, la simulation numérique doit pouvoir restituer les mécanismes d'interaction entre les perturbations acoustiques et le processus d'atomisation de la phase liquide, car ils peuvent influencer la stabilité de la combustion. Dans cette optique, cette étude consiste 1) à mettre en place une méthodologie de simulation numérique de jet diphase atomisé sous excitation acoustique, 2) à valider la restitution de l'ensemble des mécanismes de réponse du jet aux ondes acoustiques, et 3) à s'appuyer sur les résultats des simulations pour progresser vers une meilleure compréhension des phénomènes physiques mis en jeu. La stratégie de simulation utilisée est basée sur le couplage entre une méthode à interface diffuse à 4 équations pour simuler le gaz et les plus grosses structures liquides de l'écoulement, et une approche statistique Eulérienne pour modéliser le spray de gouttes. Dans ces travaux, la simulation numérique d'un jet diphase atomisé soumis à une excitation acoustique de haute amplitude montre une bonne restitution de l'aplatissement du cœur liquide et de son influence sur le processus d'atomisation du jet. Notamment, le cœur liquide est raccourci et le spray s'élargit dans la direction orthogonale à l'axe de propagation acoustique. Un couplage important d'ores et déjà observé expérimentalement entre le système d'injection et la cavité acoustique ainsi que son influence sur le processus d'atomisation de la phase liquide sont également reproduits. Enfin, une modélisation simplifiée de l'écoulement destinée à compléter les résultats des simulations révèle une déviation progressive du cœur liquide, et donc des gouttes issues de son atomisation, par la force de radiation acoustique. Ces travaux ouvrent ainsi la voie à des simulations réactives capables de reproduire fidèlement le comportement de flammes diphases sous perturbation acoustique en vue d'en étudier l'impact sur la stabilité de la combustion.



Aplatissement du cœur dense représenté par une iso-surface bleue de fraction volumique de liquide $\alpha = 0,99$ et par des coupes transverses de cette même fraction volumique en échelle de gris (noir : $\alpha = 1$; blanc : $\alpha = 0$).
(a) Sans excitation acoustique et (b) après 18 ms d'excitation acoustique

**Etudier la combustion de gouttes d'aluminium
dans les conditions d'un moteur-fusée à propergol
solide pour mieux modéliser leur fonctionnement**

Mathieu MULLER

Thèse soutenue le 10 décembre 2019

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

Titre de la thèse

**Modélisation de la combustion de gouttes d'aluminium
dans les conditions d'un moteur-fusée à propergol solide**

Encadrement

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Encadrant : Dmitry Davidenko - ONERA

Directeur de thèse : Vincent Giovangigli - Ecole Polytechnique

Financement

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

Défi scientifique

La propulsion dans
toute sa complexité

www.onera.fr/pss



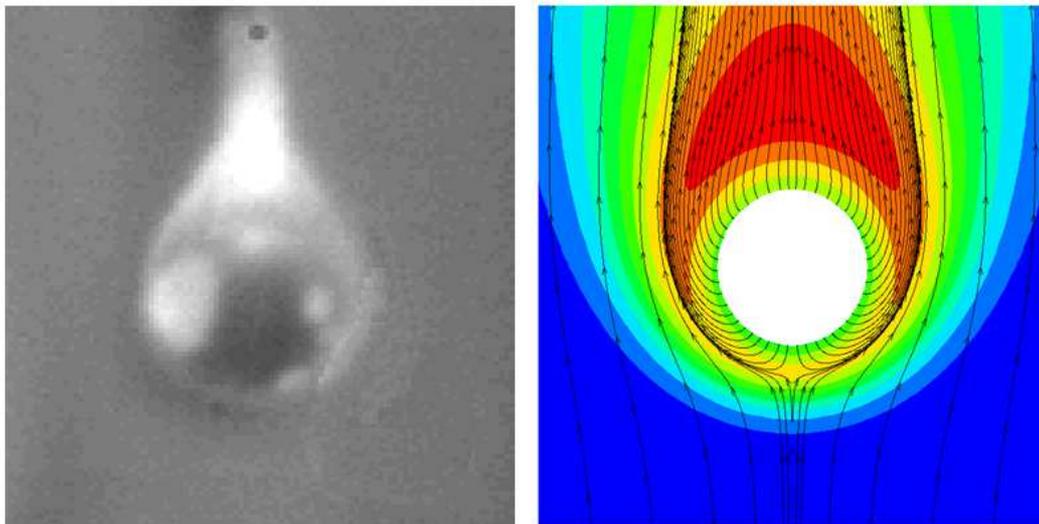
Contact : Dmitry.Davidenko @ onera.fr

Résumé

L'objet de cette thèse est d'étudier la combustion de gouttes d'aluminium (Al) dans les conditions d'un moteur-fusée à propergol solide. On a besoin de modéliser ce processus pour évaluer le temps de combustion et la taille des résidus car leur caractérisation dans les conditions réelles est très complexe.

Un modèle de combustion d'une goutte en approche multiphysique à symétrie sphérique a été développé tenant compte de nombreux phénomènes physico-chimiques. Ce modèle a été validé et utilisé pour étudier les mécanismes réactionnels en phase gazeuse et en surface. Des simulations en ambiance contrôlée ont été réalisées et les résultats obtenus sont comparés aux données expérimentales de la littérature. L'étude de la combustion de deux classes de gouttes d'Al (particule primaire et agglomérat) en ambiance typique d'un booster Ariane 5 a été menée afin d'évaluer l'effet des différentes cinétiques hétérogènes de surface sur le processus de combustion simulé.

Suite à l'intégration du modèle de surface réactive dans le code CEDRE de l'ONERA, les simulations de la combustion ont été poursuivies en approche bidimensionnelle axisymétrique afin d'étudier l'influence de la calotte en surface de la goutte et de la convection des gaz oxydants. La simulation de la combustion établie des deux classes de goutte à 5 et 9 MPa à différents stades d'avancement a permis d'évaluer les caractéristiques principales de la combustion et d'en déduire une loi de combustion globale. Enfin, la phase de chauffage avant établissement de la combustion a été étudiée pour compléter la caractérisation.



Une goutte d'aluminium en combustion dans les gaz de propergol solide visualisée par imagerie expérimentale ONERA (à gauche) et le champ d'alumine avec des lignes de courant autour d'une goutte simulée en approche 2D à l'aide du code CEDRE (à droite)

Jean-Etienne DURAND

Thèse soutenue le 17 décembre 2019

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

Titre de la thèse

**Développement et validation expérimentale
d'une modélisation numérique pour la simulation
d'un moteur hybride**

Encadrement

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Encadrant : Jean-Yves Lestrade - ONERA

Directeur de thèse : Jérôme Anthoine - ONERA

Financement

Région Occitanie & ONERA

Défi scientifique

La propulsion dans
toute sa complexité

www.onera.fr/pss



**Université
de Toulouse**

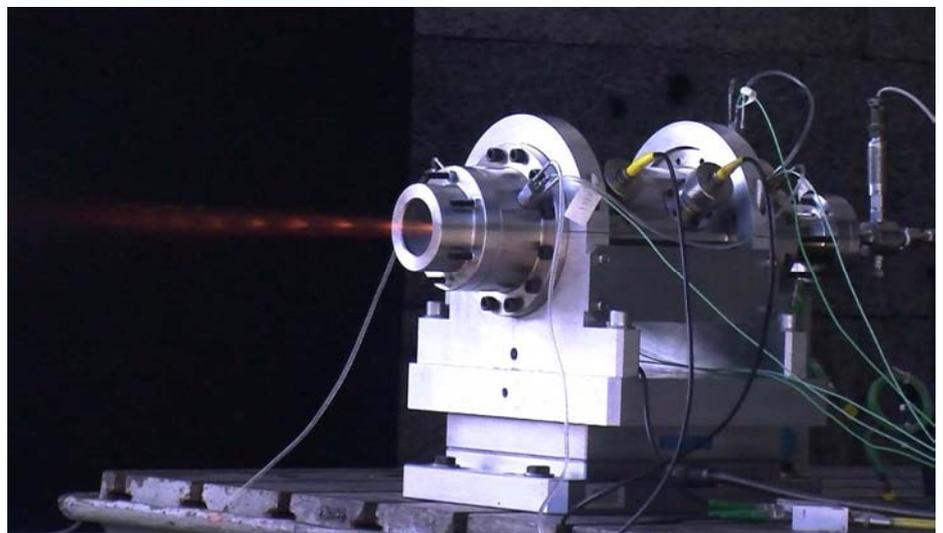


Contact : Jean-Yves.Lestrade @ onera.fr

Résumé

Grâce à ses avantages (sûreté, performances propulsives, manœuvrabilité, bon marché et faible impact environnemental), la propulsion hybride, combinant un oxydant liquide et un combustible solide, offre une alternative pertinente aux systèmes de propulsion solide et liquide pour des missions de mise à poste de satellites. Les performances du moteur hybride sont pilotées par le processus de combustion dans lequel le comportement de la régression du combustible joue un rôle déterminant. Bien qu'essentielle, la recherche expérimentale est coûteuse et ne peut fournir une description détaillée de ce processus. La simulation numérique peut en revanche fournir des données complémentaires sur l'écoulement et les transferts, non accessibles expérimentalement compte tenu des ambiances sévères. En particulier, le comportement de la régression du combustible est modélisé en prenant en compte le couplage physique entre la vitesse de régression du combustible et les processus aérothermochimiques de l'écoulement dans la couche limite turbulente, via le modèle d'Interaction Gaz-Surface (IGS) basé sur les bilans des échanges de masse et d'énergie à la surface du combustible. L'objectif de la thèse est de développer et valider expérimentalement une modélisation numérique prenant en compte le modèle IGS afin d'obtenir une représentation réaliste de la balistique interne d'un moteur hybride. Une analyse de sensibilité menée sur la modélisation mise en place a démontré que la correction du modèle de turbulence pour le soufflage pariétal proposée par Wilcox est essentielle pour représenter convenablement la vitesse de régression du combustible. En revanche, aucun modèle de combustion n'a pu être mis en évidence à cause de la complexité due au couplage entre la turbulence et les aspects chimiques. Une technique de restitution de la distribution spatiale et temporelle de la vitesse de régression expérimentale a également été développée pour définir une méthode de validation recouvrant complètement le comportement de la régression du combustible. Le processus de validation a cependant montré l'insuffisance de la modélisation à rendre compte de ce comportement.

*Moteur hybride HYCAT
dont les données expérimentales ont permis de valider le modèle développé*



Quentin LEVARD

Thèse soutenue le 20 décembre 2019

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

Titre de la thèse

**Etude expérimentale et numérique de la décomposition
d'un liquide ionique énergétique pour le développement
d'un propulseur à monergol vert**

Encadrement

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Directeurs de thèse : Jérôme Anthoine & Jean-Yves Lestrade - ONERA

Financement

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) & ONERA

Défi scientifique

La propulsion dans
toute sa complexité

www.onera.fr/pss

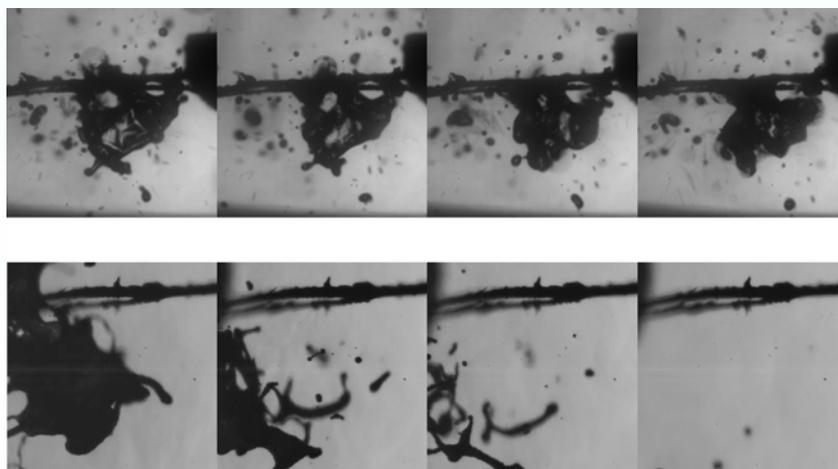


Université
de Toulouse

Contact : Jean-Yves.Lestrade @ onera.fr

Résumé

La plupart des systèmes de contrôle d'attitude et d'orbite utilisent la décomposition catalytique de l'hydrazine. La mise en œuvre de cet ergol induit de nombreuses contraintes opératoires parmi lesquelles la nécessité de préchauffer le lit catalytique pour en limiter l'usure. Par ailleurs, l'hydrazine constitue une substance hautement toxique, objet d'une potentielle interdiction à moyen terme par la réglementation REACH. Le CNES a proposé une nouvelle famille de monergols verts à base de liquides ioniques énergétiques ayant une potentialité de performance accrue par rapport aux systèmes à hydrazine. La température de flamme théorique de ces liquides énergétiques est supérieure à la température de décomposition des monergols traditionnels, et nécessite donc le développement d'une chambre de combustion spécifique. Pour cela, il est nécessaire d'étudier la décomposition de ces produits, et de caractériser la vitesse à laquelle ils libèrent leur énergie dans la chambre de combustion. Deux montages expérimentaux ont été développés dans le cadre de cette thèse. L'observation de gouttes isolées en décomposition dans une atmosphère contrôlée de 15 Pa à 1,15 MPa a permis de réaliser des mesures de vitesse de régression de goutte par méthode optique et de déterminer une pression seuil d'allumage des liquides d'étude. Ensuite, l'étude de la combustion du liquide dans une gouttière conditionnée en température avec des méthodes optiques et thermiques a permis d'observer le comportement d'une nappe en fonction de la pression et de sa température initiale. Finalement, un modèle de décomposition a été proposé sur la base des résultats expérimentaux et implémenté dans le code CEDRE de l'ONERA. La modélisation d'un spray dans une configuration simplifiée a permis de réaliser une étude de sensibilité des paramètres du modèle. Ces simulations ont permis de mettre en lumière les paramètres nécessitant une attention particulière pour la caractérisation chimique nécessaire des monergols et le dimensionnement futur d'une chambre de combustion.



Décomposition d'une goutte de monergol à basse pression (haut) et à haute pression (bas) permettant de mettre en évidence deux régimes de fonctionnement : de la fragmentation à basse pression et de l'atomisation à haute pression

**Développer des outils d'analyse d'image des
particules d'aluminium proches de la surface de
propergols solides en combustion pour améliorer
la simulation numérique des phénomènes observés**

Matthieu NUGUE

Thèse soutenue le 11 octobre 2019

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

Titre de la thèse

**Outils pour l'étude conjointe par simulation et traitement
d'images expérimentales de la combustion de particules
d'aluminium utilisées dans les propergols solides**

Encadrement

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Encadrants : Robin Devillers - ONERA

Julien Pichillou - CNES

Directeur de thèse : Guy Le Besnerais - ONERA

Financement

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) & ONERA

Défi scientifique

La propulsion dans
toute sa complexité

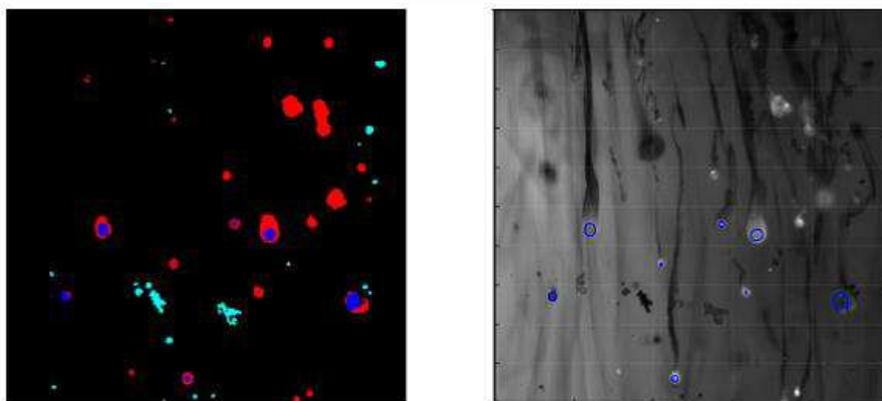
www.onera.fr/pss



Contact : Robin.Devillers @ onera.fr

Résumé

L'ajout de particules d'aluminium dans le chargement des moteurs à propergol solide améliore les performances propulsives, mais peut entraîner des phénomènes néfastes, dont des oscillations de pression. La compréhension de ces phénomènes passe par la simulation numérique, qui reste dépendante de données d'entrée sur la taille et la vitesse initiale. L'ONERA utilise un montage d'ombroscopie permettant de visualiser les particules d'aluminium proches de la surface de petits échantillons en combustion. La présente étude porte sur le développement d'outils pour analyser ces images expérimentales et améliorer l'interaction avec la simulation numérique diphasique. Une première partie concerne des échantillons de propergol contenant des particules inertes, permettant de valider les méthodes de mesure. Les outils mis en œuvre portent sur la détection et le suivi des particules dans des séquences d'image, et la localisation de la surface du propergol. Une bonne correspondance des distributions de taille a été obtenue avec les distributions de référence. La mise en vitesse des particules a été confrontée à un modèle simplifié de transport dans un écoulement constant, soulignant l'importance de la population de pistes détectées pour exploiter un profil de vitesse moyen. Une simulation numérique diphasique a ensuite été réalisée pour l'expérience d'ombroscopie. Le mouvement des particules inertes simulées a été comparé aux profils expérimentaux pour différentes stratégies d'injection, (diamètre moyen ou distribution lognormale). L'autre partie de l'étude est consacrée à l'analyse des images expérimentales de la combustion de particules d'aluminium. La complexité de ces images a conduit à utiliser une approche de segmentation sémantique par apprentissage profond, visant à classer chaque pixel de l'image en différentes classes (en particulier goutte d'Al et flamme). L'apprentissage a été mené avec une base restreinte d'images annotées en utilisant le réseau U-net avec diverses adaptations pour les images d'ombroscopie. Les résultats sont comparés à une technique de référence issue de l'étude portant sur les particules inertes. Ils montrent un net gain pour la ségrégation des gouttes d'aluminium de la flamme. Cette première démonstration de l'utilisation de réseau de neurones convolutifs profonds sur des images d'ombroscopie propergol est très prometteuse.



*Segmentation sémantique obtenue avec le réseau U-Net (à gauche)
et localisation des gouttes d'aluminium superposées sur l'image d'ombroscopie initiale (à droite)*

Développer une méthodologie pour améliorer la simulation des structures de flammes turbulentes dans les chambres de combustion aéronautiques

Adrien CHATELIER

Thèse soutenue le 26 juin 2019

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

Titre de la thèse

**Problèmes ouverts de modélisation pour les simulations
numériques de chambres de combustion aéronautiques**

Encadrement

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Encadrant : Nicolas Bertier - ONERA

Directeur de thèse : Benoît Fiorina - CentraleSupélec

Financement

ONERA

Défi scientifique

La propulsion dans
toute sa complexité

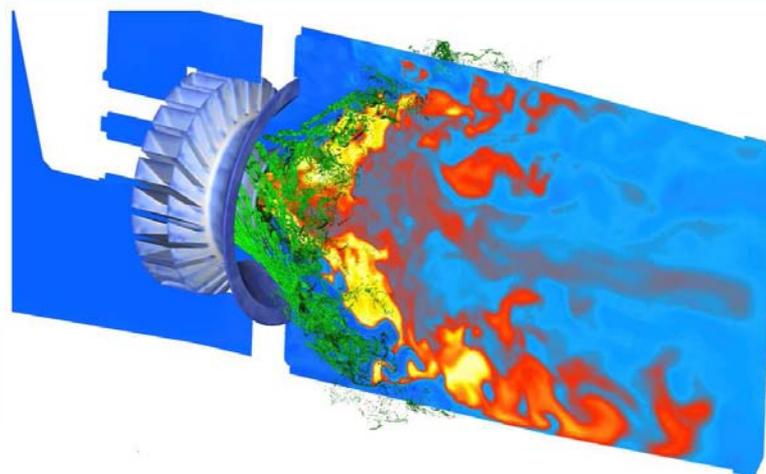
www.onera.fr/pss



Contact : Nicolas.Bertier @ onera.fr

Résumé

La conception de chambres de combustion aéronautiques requiert un compromis entre les différents phénomènes physiques présents, comme les interactions entre la flamme et la turbulence, les pertes thermiques, la dynamique de flamme ou l'évaporation du carburant et son mélange. De nombreux outils numériques existent dans la littérature pour prédire ce genre d'écoulements réactifs turbulents. Les modèles de turbulence instationnaires, par exemple LES (Large Eddy Simulation), sont un excellent compromis pour la prédiction du mélange dans des configurations réalistes. L'approche de chimie tabulée représente un équilibre attrayant entre coût de calcul et précision pour la prédiction de structure de flamme. Dans cette thèse, des modèles de turbulence avancés et de chimie tabulée sont appliqués à des configurations complexes afin d'évaluer leur capacité à prédire la structure de flammes turbulentes. La prédiction de la FDF (Flame Describing Function) par le modèle F-TACLES (Filtered TABulated Chemistry for Large Eddy Simulations) est comparé à des données expérimentales pour une flamme swirlée, prémélangée et non-adiabatique. La FDF est bien prédite pour une large plage de fréquences et deux niveaux de fluctuations de vitesse. L'origine des différences est analysée. La première application du modèle F-TACLES à un brûleur diphasique est proposée. Le brûleur choisi est la flamme jet diphasique KIAI, récemment étudié au CORIA. Une comparaison détaillée avec l'expérience est faite et montre que F-TACLES est capable de prédire la bonne forme de flamme. Le modèle ZDES (Zonal Detached Eddy Simulation) est étudié dans la configuration TLC, un injecteur aéronautique réaliste. En non-réactif, la ZDES est validée par rapport aux mesures de vitesse expérimentales et comparée à des résultats de LES. En conditions réactives, la prédiction des profils de température dans la chambre de combustion est grandement améliorée en ZDES.



*Simulation ZDES réactive diphasique avec CEDRE d'un injecteur aéronautique de type multipoints.
Champ de température et gouttes numériques de kérosène*

Physique

Défi 7 - Des structures aérospatiales plus endurantes

LAYLY Jean-Baptiste - Contacts électriques soumis à de forts courants : Aspects fondamentaux et application à l'interaction foudre - structures aéronautiques 84

Défi 8 - La propulsion dans toute sa complexité

CORBAS Vincent - Exploitation tomographique de la spectroscopie d'absorption de plusieurs faisceaux lasers à multi-longueur d'ondes pour la cartographie des espèces chimiques dans les foyers aéronautiques 86

Défi 9 - Photonique et systèmes optroniques

HOARAU Romain - Rendu interactif d'image hyper spectrale par illumination globale pour la prédiction de la signature infrarouge d'aéronefs 88

GOFAS SALAS Elena - Manipulation de la géométrie de l'illumination pour l'imagerie fonctionnelle de la rétine par ophtalmoscope plein champ 90

HERITIER SALAMA Cédric Taïssir - Stratégies d'étalonnages innovantes pour grands télescopes adaptatifs avec analyseurs de front d'onde pyramide 92

EMERIC Ludivine - Antennes optiques à nanogap : nouveaux concepts pour des sources de lumière..... 94

LI Claire - Etude des propriétés de champ proche et de champ lointain des nano-antennes infrarouges 96

DUCASSE Etienne - Cartographie fine de l'argile minéralogique par démélange d'images hyperspectrales à très haute résolution spatiale 98

LASSALLE Guillaume - Exploitation de données hyperspectrales pour l'analyse de l'état de santé de la végétation exposée aux hydrocarbures 100

Défi 10 - Electromagnétisme et radar

- VIVOS Jonathan** - Méthode de conception de déphaseurs à métamatériaux par l'utilisation de lignes composites équilibrée et non équilibrée..... 102
- SCHICHELÉ Pierre** - Modélisation de l'émission EM de faisceaux de câbles complexes dans un environnement 3D 104
- RAMBOUR Clément** - Structural Tomographic Approaches for Urban Area Analysis Using High Resolution SAR Tomography: TomoSAR..... 106
- GALMICHE Aurélien** - Modélisation de la scintillation ionosphérique en zone équatoriale : application à l'inversion de signaux GNSS pour la caractérisation de la turbulence..... 108
- TAN Uy Hour** - Méthodologie de conception de formes d'onde pour radars sol – Application au cas du radar MIMO 110
- MIAN Ammar** - Contributions to SAR Image Time Series Analysis 112

Défi 12 - Capteurs et environnement spatial

- DIBOUNE Clément** - Développement expérimental d'un capteur inertiel à atomes froids $^{87}\text{Rb}/^{85}\text{Rb}/^{133}\text{Cs}$ 114
- PERRIN Isadora** - Développement expérimental d'un capteur inertiel multi-axe à atomes froids hybride embarquable 116
- OUDAYER Pauline** - Caractérisation expérimentale et numérique de l'adhésion et de la charge électrostatique des poussières lunaires 118
- RIGOUDY Charles** - Couches minces diélectriques avec des inclusions de nanoparticules d'argent réalisées par voie plasma conçues pour le contrôle du gradient de charges électriques sous irradiation électronique pour des applications spatiales 120
- ROSTAND Neil** - Modélisation compacte de l'effet des radiations naturelles des dispositifs sub-28nm pour des applications automobiles et aéronautiques 122
- CARON Pablo** - Etude des événements singuliers induits par les électrons dans les technologies intégrées..... 124
- ZIMPECK Alexandra** - Approches au niveau du circuit pour atténuer la variabilité de fabrication et les soft errors dans les cellules logiques FinFET 126
- DEMOL Guillaume** - Etude du comportement physico-chimique et électrique de polymères spatiaux sous irradiation de haute énergie 128

CHAPELLIER Paul - MEMS piézoélectriques pour applications temps-fréquence130

SAADANI Amina - Electrodes à cristaux bidimensionnels pour micro/nano-résonateurs piézoélectriques à très haut facteur de qualité132

Modéliser à une échelle microscopique les phénomènes induits par la foudre sur des pièces en contact pour mieux comprendre les effets observés

Jean-Baptiste LAYLY

Thèse soutenue le 15 avril 2019

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

Titre de la thèse

**Contacts électriques soumis à de forts courants :
aspects fondamentaux et application à l'interaction
foudre - structures aéronautiques**

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrant : Fabien Tholin - ONERA

Directrice de thèse : Anne Bourdon - CNRS-LPP

Financement

LabEx Plas@Par (Plasmas à Paris) & ONERA

Défi scientifique

Des structures
aérospatiales
plus durantes

www.onera.fr/pss



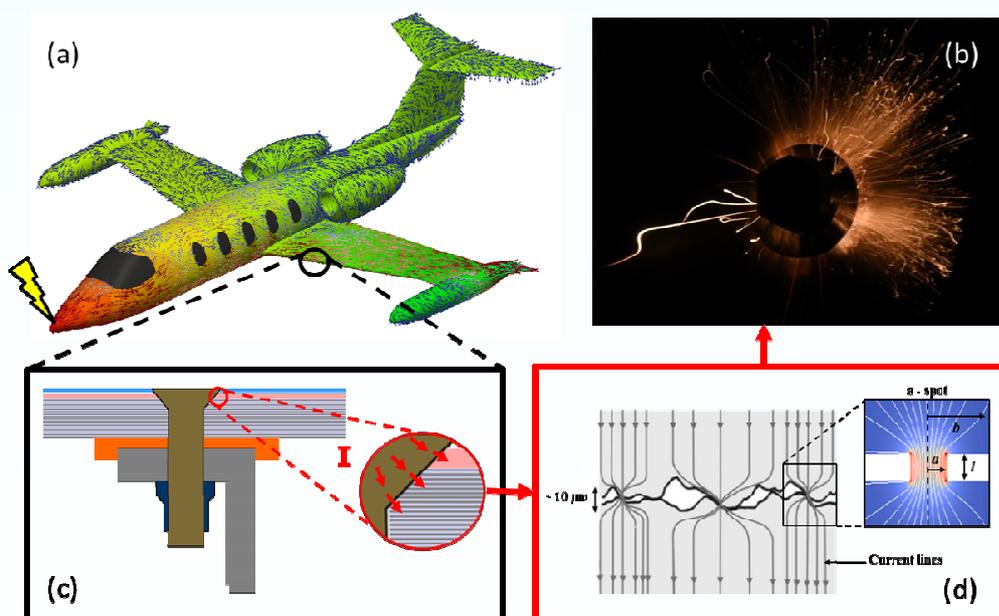
université
PARIS-SACLAY



Contact : Fabien.Tholin @ onera.fr

Résumé

La foudre est un phénomène naturel aléatoire impactant un avion de transport civil en moyenne une fois toutes les 1500 heures de vol. Les forts courants impulsionnels pouvant parcourir la structure d'un aéronef peuvent induire des contraintes physiques et des endommagements qui ont de fortes implications en termes de sûreté aérienne. En particulier, quand un assemblage est parcouru par un courant de type foudre, des champs électriques ainsi que des effets Joule importants peuvent engendrer différents phénomènes de décharge électrique. Le risque d'étincelage est particulièrement critique au niveau des réservoirs de carburant, et différentes technologies de protection et procédures de certification sont employées pour maîtriser ce risque. L'amorçage de ces décharges est intimement lié à la dynamique non-linéaire sous fort courant des résistances électriques de contact au niveau des interfaces entre les différentes pièces des assemblages. Le but de cette thèse est de modéliser les phénomènes multi-physiques qui se produisent à une échelle microscopique au niveau de tels contacts soumis à de forts courants impulsionnels. Un modèle phénoménologique 0D est proposé, qui repose sur une simplification géométrique des états de surface et une modélisation du fort couplage électrique, thermique et mécanique des contacts sous fort courant. Enfin, un modèle de décharge plasma est ajouté à ce modèle, qui a permis de proposer une explication physique à certains comportements non-linéaires et fortement contre-intuitifs observés.



Foudroiement et circulation du courant foudre dans un aéronef (a) ; Image expérimentale de l'étincelage d'un contact électrique dans un assemblage de voilure (b).

La thèse porte sur la modélisation physique microscopique de ces décharges apparaissant aux bornes des contacts soumis à de forts courants (c-d)

Développer une méthode de caractérisation optique permettant d'obtenir des cartographies de concentrations d'espèces chimiques, de température et de pression dans les flammes

Distinction

Meilleur papier
"Étudiants" - domaine
"Propulsion Physics" -
EUCASS (2019)

Vincent CORBAS

Thèse soutenue le 5 décembre 2019

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

Titre de la thèse

Exploitation tomographique de la spectroscopie d'absorption de plusieurs faisceaux lasers à multi-longueur d'ondes pour la cartographie des espèces chimiques dans les foyers aéronautiques

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Directeur de thèse : Ajmal Khan Mohamed - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

La propulsion dans toute sa complexité

www.onera.fr/pss

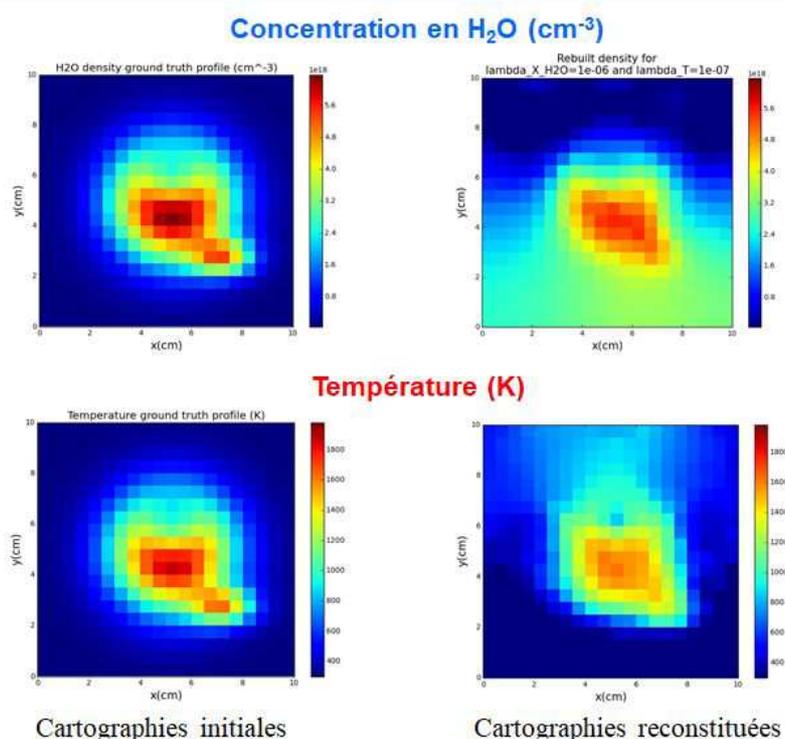


Contact : [Ajmal_Khan.Mohamed @ onera.fr](mailto:Ajmal_Khan.Mohamed@onera.fr)

Résumé

La concentration des espèces chimiques comme H_2O , CO_2 , CO , K , HCl ainsi que les grandeurs thermodynamiques comme la pression et la température sont des paramètres clés pour comprendre les réactions de combustion. La thèse a permis de développer une méthode de caractérisation optique non-intrusive permettant d'obtenir des cartographies de concentrations d'espèces chimiques, de température et de pression dans les flammes. Cette méthode consiste à acquérir des spectres d'absorption à plusieurs positions et angles dans l'écoulement réactif. L'inversion spectrale de ces données permettra de remonter quantitativement aux concentrations chimiques, à la pression et à la température. Nous avons choisi de combiner cette inversion spectrale à un algorithme de tomographie permettant d'améliorer la résolution spatiale. La méthode développée est appelée Tunable Diode Laser Absorption Tomography (TDLAT). Deux axes de recherches ont été poursuivis. Le premier a consisté à développer plusieurs spectromètres d'absorptions associés à un système mécanique de balayage spatial de la flamme. Dans un second temps, nous avons développé un algorithme de tomographie non-linéaire permettant d'exploiter les séries de spectres pour obtenir la résolution spatiale. Les principaux résultats obtenus en simulation ont permis d'optimiser l'algorithme et aussi d'adapter son fonctionnement aux configurations de mesures représentatives des bancs de combustion. Les principaux résultats de mesures ont été enregistrés dans une flamme de laboratoire et sur un banc de combustion de propergol solide.

Test de l'algorithme de tomographie TDLAT pour restituer les cartographies de la température et de la concentration de H_2O d'une flamme de combustion simulée



Développer une nouvelle méthode de prédiction de la signature infrarouge d'aéronefs pour en réduire le temps de calcul

Distinction

Prix du meilleur article
conférence
AFIG/EGFR (2017)

Romain HOARAU

Thèse soutenue le 19 décembre 2019

Ecole doctorale : ED 184 - Mathématique et Informatique - Marseille

Titre de la thèse

Rendu interactif d'image hyper spectrale par illumination globale pour la prédiction de la signature infrarouge d'aéronefs

Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrant : Eric Coiro - ONERA

Directeurs de thèse : Romain Raffin & Sébastien Thon - LSIS

Financement

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

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

www.onera.fr/pss



Contact : Eric.Coiro @ onera.fr

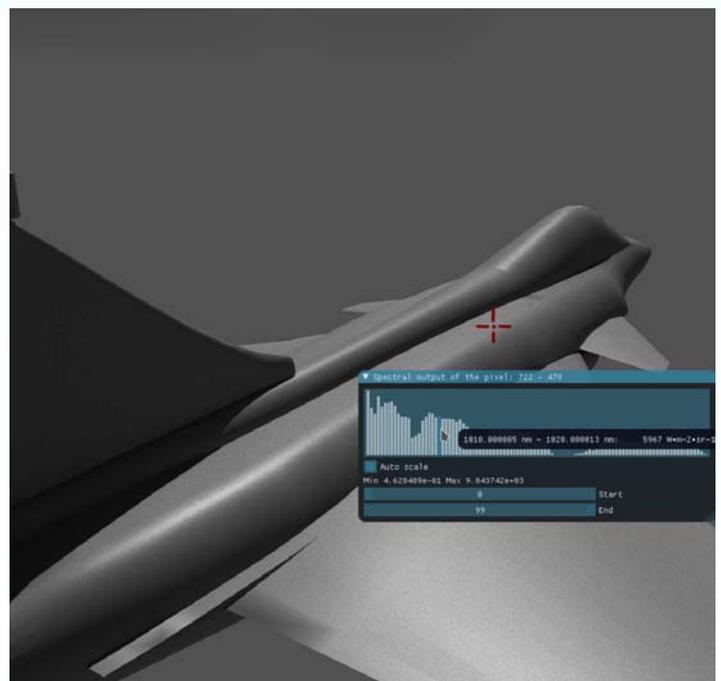
Résumé

Le dimensionnement de capteur est un enjeu majeur pour le domaine de la détection d'aéronefs dans les bandes infrarouge et visible. Dans cette optique, il est nécessaire de simuler ces capteurs via des modèles et un nombre conséquent d'images spectrales d'aéronefs dans divers scénarios. L'obtention de ces images via des campagnes aériennes de mesure est malheureusement onéreuse, chronophage et difficile. une simulation rapide et robuste de ces données s'impose donc. Afin de répondre aux besoins de précision, la complexité spectrale des scènes aériennes, combinée à l'évolution technologique de la furtivité des aéronefs nous amène à utiliser des algorithmes d'illumination globale à haute dimension spectrale. Dans ces conditions, ces algorithmes posent d'importants problèmes de consommation mémoire et de temps de calcul. Le projet de recherche de cette thèse s'inscrit dans le cadre de ces problématiques.

Dans un premier temps, nous nous sommes focalisés sur l'algorithme du Path Tracing et la parallélisation GPU pour le rendu d'images spectrales. Nous avons d'abord analysé les problèmes de ce type de rendu sur GPU. Nous avons ensuite proposé le DPEPT (Deferred Path Evaluation Path Tracing) et un schéma de parallélisation spectral qui permettent de réduire significativement la consommation mémoire et les temps de calcul. Dans un second temps, nous avons cherché à réduire la charge de calcul spectrale de la simulation en prenant soin de ne pas dégrader la précision. À cet égard, nous avons proposé de généraliser le rendu spectral stochastique d'image dans l'espace CIE XYZ en rendu d'image spectrale stochastique.

Cette nouvelle méthode permet de rendre directement et de manière plus précise et rapide les canaux d'un capteur en diminuant la dimension spectrale de la simulation, quand les données spectrales d'entrée sont complexes. Pour conclure, les travaux de cette thèse permettent de simuler de manière précise des images multi, hyper et ultra spectrales. Le temps interactif peut être atteint dans notre cas (rendu d'image à faible résolution spatiale pour des scènes de complexité moyenne) en multi et hyper spectrale.

*Image hyperspectrale d'un avion
calculée avec la méthode
DPEPT dans le proche infra-
rouge (SWIR)*



Concevoir et intégrer dans un ophtalmoscope des techniques permettant de réaliser une imagerie fonctionnelle de la rétine

Elena GOFAS SALAS

Thèse soutenue le 8 janvier 2019

Ecole doctorale : ED 394 - Physiologie, physiopathologie et thérapeutique

Titre de la thèse

Manipulation de la géométrie de l'illumination pour l'imagerie fonctionnelle de la rétine par ophtalmoscope plein champ

Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Directeurs de thèse : Michel Paques - Sorbonne Université
Serge Meimon - ONERA

Financement

Institut de la Vision & ONERA

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

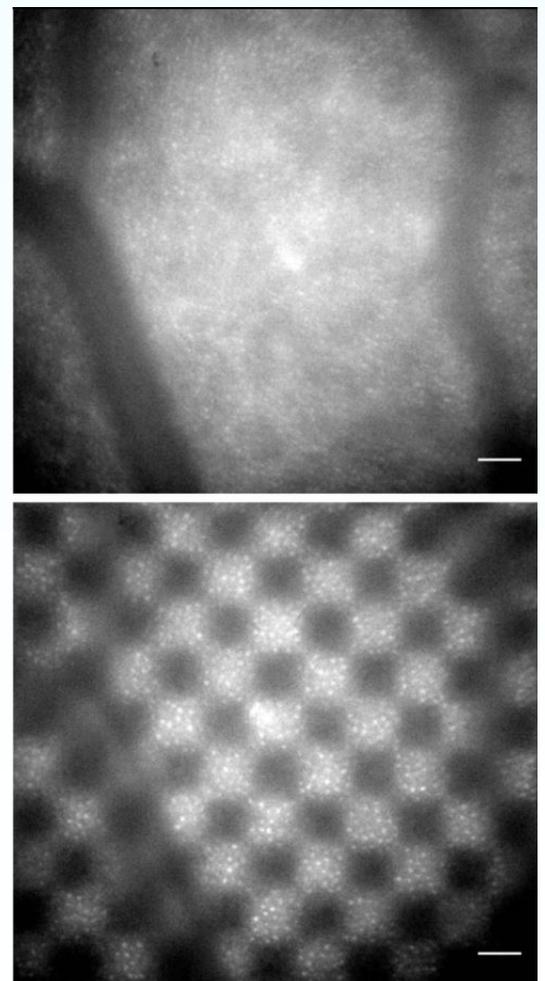
www.onera.fr/pss



Contact : Serge.Meimon @ onera.fr

Résumé

L'œil étant la seule fenêtre optique transparente de notre corps, il donne un accès unique à l'observation de réseaux neuronaux et vasculaires. Mais aujourd'hui, une nouvelle ère s'ouvre pour l'imagerie haute résolution, qui ne doit plus se contenter de donner accès aux structures des tissus, mais aussi d'en apprécier les fonctions. En effet, on peut trouver dans l'imagerie rétinienne des biomarqueurs du fonctionnement de l'ensemble du corps humain. Des maladies neurodégénératives (Parkinson, Alzheimer) ou l'hypertension artérielle pourraient être ainsi précocement diagnostiquées par une imagerie de haute précision de la rétine. L'optique adaptative, adaptée à l'imagerie rétinienne dès 1997, a amélioré nettement la résolution spatiale des images rétinienne entraînant la multiplication des études de rétine par ophtalmoscope. Elle a notamment été couplée avec l'ophtalmoscope à balayage, qui devint le choix le plus populaire par sa supériorité en résolution spatiale et sectionnement optique par rapport au plein champ. Cependant, contrairement aux systèmes à balayage, l'ophtalmoscope plein champ produit des images grand champ à forte cadence d'acquisition et sans distorsion. Dans ce travail de thèse, on a cherché à montrer qu'un tel système, associé à des modalités d'imagerie jouant sur la géométrie d'éclairage, pourrait apporter à la recherche sur la rétine. Pour atteindre cet objectif ambitieux, nous avons modifié l'ophtalmoscope plein champ construit au Centre Hospitalier National des Quinze-Vingts avec un traitement d'image spécifique et deux nouveaux instruments inspirés de la microscopie plein champ. Nous avons intégré ces instruments dans le trajet d'illumination de l'ophtalmoscope afin de manipuler la géométrie de l'éclairage de la rétine. Ces nouvelles implémentations nous permettent de mettre en œuvre des techniques d'imagerie plus avancées, comme par exemple l'imagerie en champ sombre ou l'angiographie non invasive en proche infrarouge. Ces modalités d'imagerie ont été exploitées pour imager la rétine de façon fonctionnelle. Nous nous sommes intéressés principalement à la fonction de couplage de lumière des photorécepteurs et à la perfusion sanguine.



Rétine humaine en Optique Adaptative plein champ avec illumination homogène (haut) et illumination en damier (bas)

Optimiser les procédures d'étalonnage des analyseurs de lumière des futurs télescopes géants pour exploiter pleinement leur potentiel scientifique

Cédric Taïssir HERITIER SALAMA

Thèse soutenue le 7 novembre 2019

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

Titre de la thèse

Stratégies d'étalonnages innovantes pour grands télescopes adaptatifs avec analyseurs de front d'onde pyramide

Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrants : Benoit Neichel - LAM

Sylvain Oberti - ESO

Directeur de thèse : Thierry Fusco - ONERA

Financement

European Southern Observatory (ESO), Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) & ONERA

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

www.onera.fr/pss

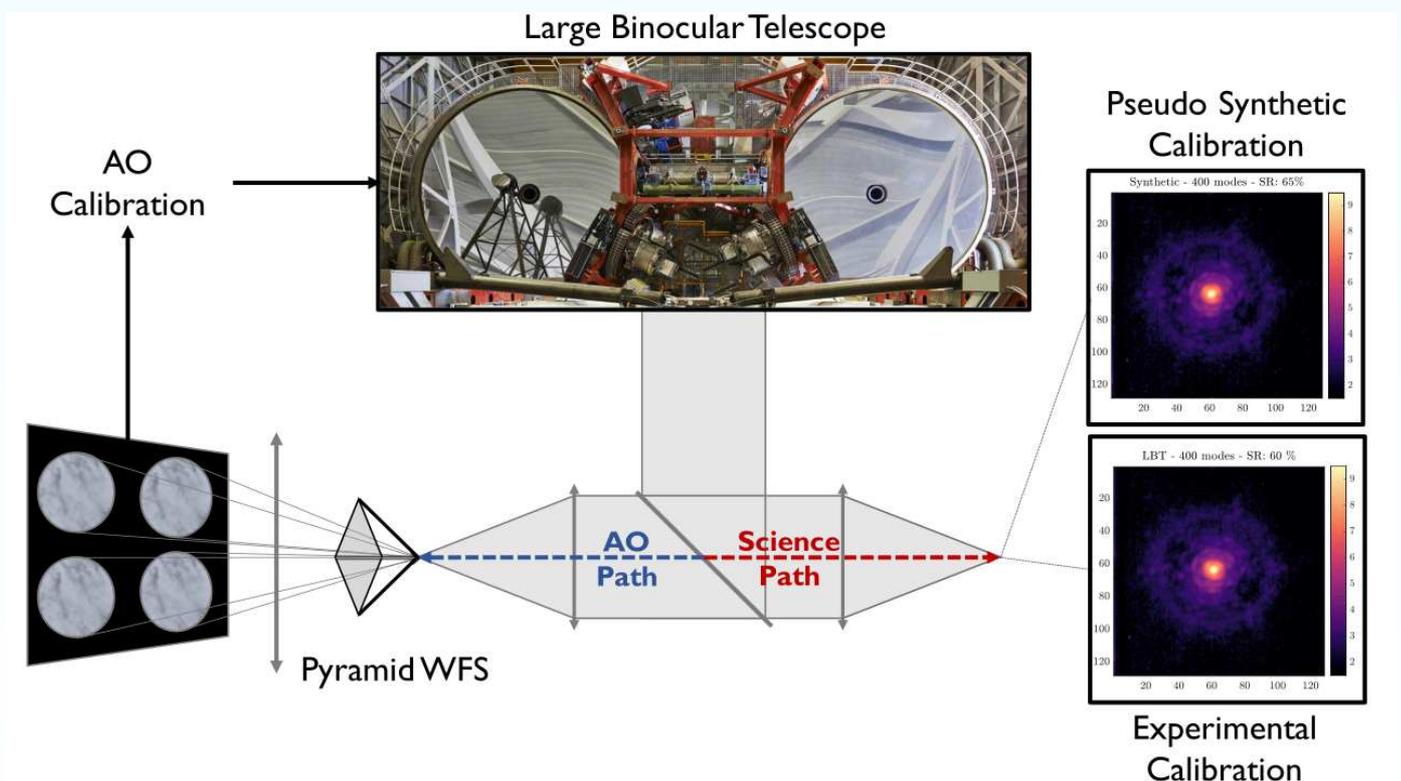


Contact : [Thierry.Fusco @ onera.fr](mailto:Thierry.Fusco@onera.fr)

Stratégies d'étalonnages innovantes pour grands télescopes adaptatifs avec analyseurs de front d'onde pyramide

Résumé

Le développement des futurs Télescopes Géants (ELT) va révolutionner l'observation depuis le sol avec des diamètres allant jusqu'à 39 m. Pour exploiter pleinement leur potentiel scientifique, il sera nécessaire de les équiper de systèmes d'Optique Adaptative (OA) qui nécessiteront des étalonnages précis avant et pendant les opérations. Le design de ces télescopes et la complexité de l'Analyseur Pyramide (PWFS) demandent de repenser et d'optimiser ces stratégies d'étalonnages. Nous proposons d'utiliser des modèles pseudo-synthétiques pour générer numériquement les données d'étalonnage, en identifiant les paramètres clés du modèle à partir de données expérimentales. Dans cette thèse, sont présentés le développement et la validation expérimentale d'un tel modèle pseudo-synthétique pour les systèmes d'OA du Large Binocular Telescope avec PWFS. En complément de ces premiers travaux, différentes stratégies sont étudiées permettant un suivi des paramètres du modèle durant les opérations.



Développement d'un modèle Pseudo-Synthétique des systèmes d'OA du Large Binocular Telescope avec ASO Pyramide. En ajustant les paramètres du modèle, il est possible de calculer numériquement une matrice d'étalonnage qui peut être utilisée au télescope. Les Fonctions d'Étalement du Point obtenues avec l'instrument scientifique LUCI sont données sur la droite de la figure en utilisant une matrice expérimentale (bas) et une matrice Pseudo-Synthétique générée avec le modèle (haut)

Mieux comprendre la physique des résonateurs optiques à nanogap pour concevoir un nouveau type de source de lumière

Ludivine EMERIC

Thèse soutenue le 25 novembre 2019

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

Titre de la thèse

Antennes optiques à nanogap : nouveaux concepts pour des sources de lumière

Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrant : Riad Haïdar - ONERA

Directeurs de thèse : Jean-Luc Pelouard & Claire Deeb - CNRS/C2N

Financement

ONERA

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

www.onera.fr/pss

université
PARIS-SACLAY

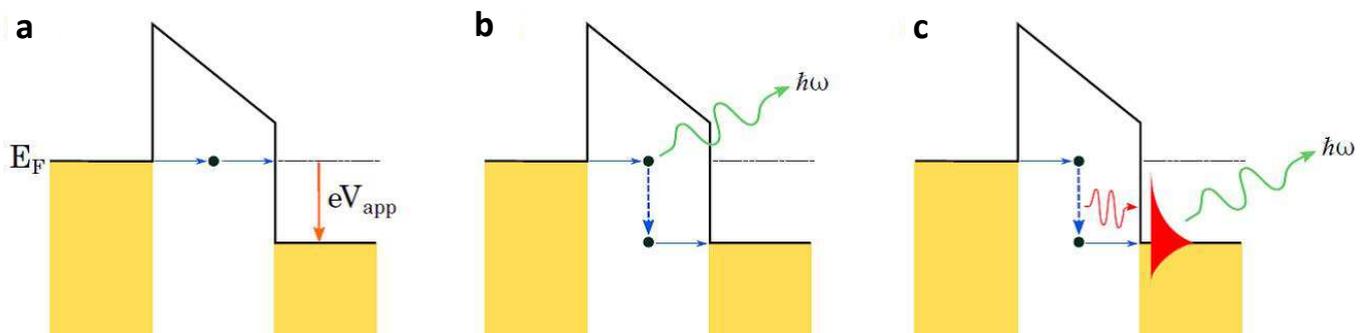
ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Contact : Riad.Haidar @ onera.fr

Résumé

La forte exaltation de l'interaction lumière-matière au sein de résonateurs optiques présentant un confinement du champ électromagnétique dans un espace nanométrique ouvre la voie à de nouvelles applications dans l'infrarouge, dans les domaines de l'optique, l'opto-électronique, la chimie ou la biologie. La théorie de l'électromagnétisme prévoit que les résonateurs de type métal-isolant-métal présentent un confinement d'autant plus grand que l'épaisseur de l'isolant est faible. Cependant, pour des épaisseurs de l'ordre du nanomètre, les électrons ont une probabilité non-négligeable de passer d'une couche métallique à l'autre par effet tunnel. Cet effet quantique qui remet en cause leur description dans la théorie classique, a été mis en évidence et étudié dans différents types de résonateurs optiques à nanogap : entre une pointe AFM et un substrat, entre deux nanoparticules, au sein d'une constriction métallique...

Dans cette thèse, nous avons utilisé un nanorésonateur MIM qui, par son empilement de couches solides, permet une bonne maîtrise de la géométrie et de son évolution dans le temps. Son objectif est double : accéder de façon quantitative à la physique mise à l'oeuvre et tester son potentiel applicatif. Des procédés de nanofabrication ont été spécifiquement développés et validés par les caractérisations optiques et électriques des nanorésonateurs. Dans le régime quantique, les spectres mesurés en réflexion ne peuvent pas être interprétés par l'approche largement répandue dans la littérature qui introduit un terme de conduction électrique dans l'isolant. De plus le décalage spectral mesuré sous polarisation électrique est très faible ($\Delta\lambda/\lambda/V_{\text{app}} \sim 3 \times 10^{-3} \text{V}^{-1}$) et de signe opposé aux prédictions de la littérature. Ces résultats mettent en lumière des comportements inexpliqués qui ouvrent la voie à de nouvelles recherches sur les résonateurs optiques à nanogap.



(a) Effet tunnel direct d'un électron. (b) Effet tunnel accompagné de l'émission d'un photon. (c) Effet tunnel accompagné d'une émission de plasmon, qui va se désexciter radiativement

Développer des méthodes de caractérisation de la réponse optique de nano-antennes infrarouges pour mieux comprendre leur comportement collectif

Distinction

Best student paper -
conférence PIERS
Singapour (2017)

Claire LI

Thèse soutenue le 19 décembre 2019
Ecole doctorale : ED 564 (PIF) - Physique en Ile de France

Titre de la thèse

Etude des propriétés de champ proche et de champ lointain des nano-antennes infrarouges

Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrant : Patrick Bouchon - ONERA
Valentina Krachmalnicoff - ESPCI

Directeurs de thèse : Yannick DeWilde - ESPCI
Riad Haïdar - ONERA

Financement

LabEx WIFI (Waves and Imaging : From Fundamentals to Innovation) & ONERA

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

www.onera.fr/pss



Laboratoires d'excellence
PROJET WIFI



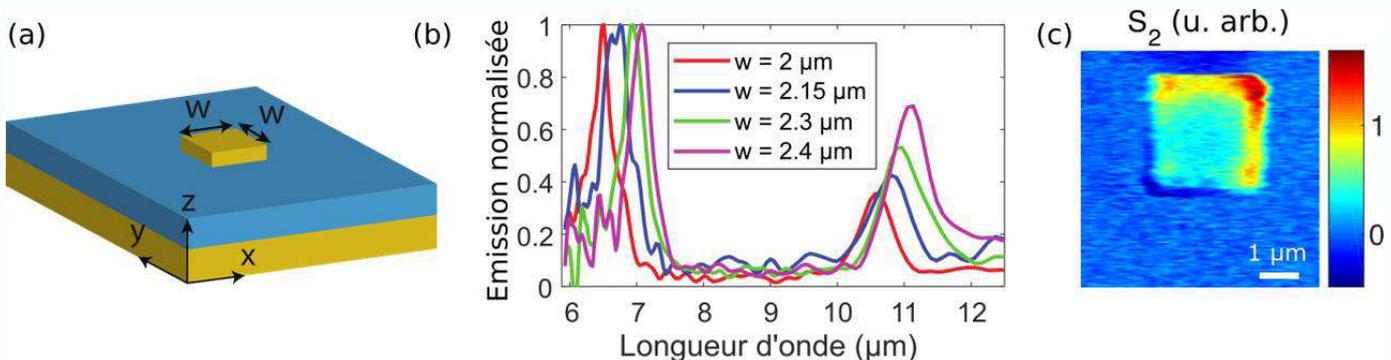
ESPCI  **PARIS**

Contact : Patrick.Bouchon @ onera.fr

Résumé

Les nano-antennes permettent la manipulation spatiale et spectrale de la lumière à des échelles petites devant la longueur d'onde. Elles peuvent être arrangées en réseaux en périodisant un motif afin de réaliser des métasurfaces aux propriétés optiques spatialement homogènes et accordables. Une application prometteuse est l'utilisation de nano-antennes en tant qu'émetteurs thermiques pour la conception de sources infrarouges performantes qui s'affranchissent des limitations des sources conventionnelles. Cependant, les mesures effectuées sur de tels ensembles font survenir des effets collectifs comme du couplage inter-antenne, qui sont susceptibles de perturber la réponse optique globale par rapport à celle de la cellule unité. L'objectif de cette thèse est de développer des méthodes expérimentales à haute sensibilité et résolution pour caractériser la réponse optique intrinsèque d'un objet sub-longueur d'onde de sorte à mieux comprendre les processus résonants à l'échelle de la nano-antenne unique.

L'étude repose sur deux axes de recherche principaux, l'un dédié à une technique d'imagerie de champ proche faisant appel à un microscope à effet tunnel à rayonnement thermique capable d'atteindre la superrésolution, l'autre consacré au développement d'un montage expérimental original permettant d'extraire le spectre d'émission d'une nano-antenne unique en champ lointain. Suite aux résultats obtenus avec des nanoantennes uniques, des structures plus complexes comportant plusieurs nano-antennes sont examinées pour caractériser leur interaction. Ces travaux ouvrent des perspectives intéressantes pour améliorer la conception de structures nano-photoniques basées sur les nano-antennes et maîtriser leur comportement à la fois dans le champ proche et le champ lointain.



(a) Schéma d'une nano-antenne MIM. (b) Spectres d'émission en champ lointain de nano-antennes uniques de différentes tailles w .

(c) Image de champ proche d'une nano-antenne de taille $w = 2.3 \mu\text{m}$

Développer de nouvelles méthodes pour permettre la cartographie à haute résolution de l'argile minéralogique par télédétection

Etienne DUCASSE

Thèse soutenue le 3 avril 2019

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

Titre de la thèse

Cartographie fine de l'argile minéralogique par démélange d'images hyperspectrales à très haute résolution spatiale

Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrantes : Karine Adeline - ONERA
Audrey Hohmann & Anne Bourguignon - BRGM

Directeurs de thèse : Xavier Briottet - DOTA
Gilles Grandjean - BRGM

Financement

Agence de l'Innovation de Défense (AID) & Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM)

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

www.onera.fr/pss



Université
de Toulouse

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

Contact : [Karine.Adeline @ onera.fr](mailto:Karine.Adeline@onera.fr)

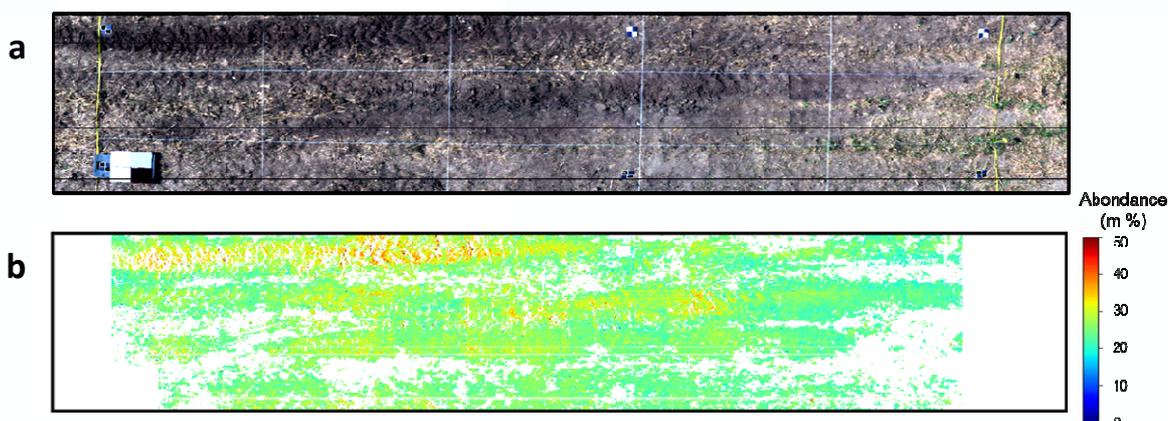
Résumé

La quantification des argiles gonflantes est nécessaire pour évaluer la traficabilité d'une région ou le risque de retrait-gonflement des sols, responsable de dégâts sur le bâti. Les smectites (comme la montmorillonite) ont des propriétés de gonflement plus importantes que les autres argiles en milieu tempéré. La télédétection hyperspectrale est une technique intéressante pour cartographier les argiles, mais est limitée par deux phénomènes :

- (i) les minéraux sont mélangés de manière intime dans les sols avec d'autres composants ;
- (ii) à l'échelle aéroportée, le signal réfléchi du sol nu est mélangé à celui de la végétation au sein d'un pixel (résolution spatiale de l'ordre du mètre).

Le développement de caméras hyperspectrales embarquées sur drone couvrant le domaine [0,4 - 2,5 μm] avec une haute résolution spatiale (environ 10 cm) ouvre de nouvelles perspectives.

L'objectif de cette thèse est de montrer l'intérêt de l'utilisation de méthodes de démélange sur des données hyperspectrales à très haute résolution spatiale pour estimer le contenu en minéraux argileux du sol et en particulier d'une smectite. Tout d'abord, des méthodes de démélange existantes linéaires et non-linéaires sont utilisées sur une base de données d'images hyperspectrales acquises en laboratoire de mélanges contrôlés contenant des argiles (montmorillonite, illite, kaolinite) et d'autres minéraux courants dans les sols (quartz, calcite). Les résultats obtenus montrent que les algorithmes non-linéaires ont des performances similaires aux algorithmes linéaires. De plus, l'effet de la variabilité des données sur la précision de l'estimation des abondances a pu être réduit en utilisant des prétraitements spectraux. Ensuite, l'étude est étendue à des mesures hyperspectrales de terrain, acquises depuis une nacelle (12 m de hauteur environ, 1,5 cm de résolution spatiale). Les mesures sont complétées par l'analyse d'échantillons de sol par DRX (estimation quantitative des minéraux) pour validation. L'impact d'un sol naturel (composé aussi de matières carbonées, avec une rugosité de surface...) est étudié sur les performances des méthodes précédemment présentées. Les performances obtenues (moins de 15 % RMSE sur l'estimation de la montmorillonite) ouvrent des perspectives quant à l'application de ces méthodes sur des capteurs embarqués sur drone, pour la cartographie de la traficabilité et de l'aléa de retrait-gonflement des sols.



(a) Composition colorée de l'image HySpex. (b) Carte d'abondance de Montmorillonite

Développer une méthode indirecte d'analyse de l'état de santé de la végétation pour détecter la présence de pétrole brut ou de produits pétroliers masqués par le feuillage

Guillaume LASSALLE

Thèse soutenue le 17 octobre 2019

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

Titre de la thèse

Exploitation de données hyperspectrales pour l'analyse de l'état de santé de la végétation exposée aux hydrocarbures

Encadrement

Département Optique et Techniques Associées (DOTA)

Encadrants : Pierre Borderies & Jean-Pascal Monvoisin - ONERA

Georges Bertoni - INRA

Anthony Credo, Dominique Dubucq & Rémy Hédacq - TOTAL

Directeurs de thèse : Arnaud Elger - Ecolab

Sophie Fabre - ONERA

Financement

TOTAL

Défi scientifique

Photonique
et systèmes
optroniques

www.onera.fr/pss



Université
de Toulouse

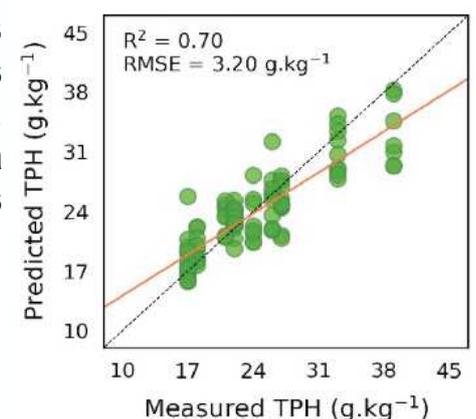


Contact : Sophie.Fabre @ onera.fr

Résumé

L'exploration pétrolière et le monitoring de la contamination demeurent très limités dans les régions colonisées par la végétation. La présence de suintements naturels et de fuites d'installations pétrolières est souvent masquée par le feuillage, rendant inopérantes les technologies actuelles de détection du pétrole brut et des produits pétroliers. L'exposition de la végétation à ces composés affecte toutefois son état de santé et, par conséquent, ses propriétés optiques dans le domaine [400:2500] nm. Cela suggère de pouvoir détecter les suintements et les fuites d'installations de manière indirecte, en analysant l'état de santé de la végétation au travers de sa réflectance spectrale. Basée sur cette hypothèse, cette thèse évalue le potentiel de l'imagerie hyperspectrale aéroportée à très haute résolution spatiale pour détecter et quantifier la contamination pétrolière en région tempérée végétalisée. Pour cela, une approche multi-échelles en trois étapes a été adoptée. La première étape a eu pour objet de développer une méthode de détection et de caractérisation de la contamination en conditions contrôlées, exploitant les propriétés optiques de *Rubus fruticosus* L. La méthode proposée combine 14 indices de végétation en classification et permet de détecter divers contaminants pétroliers avec précision, depuis l'échelle de la feuille jusqu'à celle du couvert. Son utilisation en conditions naturelles a été validée sur un bourbier de production contaminé, colonisé par la même espèce. Au cours de la seconde étape, une méthode de quantification des hydrocarbures pétroliers totaux, basée sur l'inversion d'un modèle de transfert radiatif, a été développée. Cette méthode exploite le contenu en pigments des feuilles, estimé à partir de leur signature spectrale, afin de prédire précisément le taux de contamination en hydrocarbures du sol. La dernière étape de l'approche a démontré la robustesse des deux méthodes en imagerie aéroportée. Celles-ci se sont montrées très performantes pour détecter et quantifier la contamination des bourbiers. Une autre méthode de quantification, basée sur la régression multiple, a également été proposée. Les trois méthodes proposées ont été validées pour une utilisation sur le terrain, à l'échelle de la feuille et du couvert, ainsi qu'en imagerie hyperspectrale aéroportée à très haute résolution spatiale. Leurs performances dépendent toutefois de l'espèce, de la saison et du niveau de contamination du sol. Une approche similaire a été conduite en conditions tropicales, permettant de mettre au point une méthode de quantification de la contamination adaptée à ce contexte. En vue d'une utilisation opérationnelle, un effort important reste nécessaire pour étendre le champ d'application des méthodes à d'autres contextes et envisager leur application sur les futurs capteurs hyperspectraux embarqués sur satellite et sur drone. Enfin, l'apport de la télédétection active (radar et LiDAR) est à considérer dans les recherches futures, afin de lever certaines limites propres à l'utilisation de la télédétection optique passive.

Performance de la méthode de quantification des hydrocarbures appliquée à une image hyperspectrale aéroportée



Concevoir des nouveaux circuits utilisant les propriétés des métamatériaux pour améliorer les performances des charges utiles de satellites

Jonathan VIVOS

Thèse soutenue le 14 novembre 2019

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

Titre de la thèse

Méthode de conception de déphaseurs à métamatériaux par l'utilisation de lignes composites équilibrée et non équilibrée

Encadrement

Département Electromagnétisme et Radar (DEMR)

Encadrants : Vincent Gobin - ONERA

Michel-François Foulon - Thales Alenia Space

Directeurs de thèse : Jérôme Sokoloff - LAPLACE

Thomas Crépin - Airbus

Financement

Thales Alenia Space (TAS) & ONERA

Défi scientifique

Electromagnétisme
et radar

www.onera.fr/pss



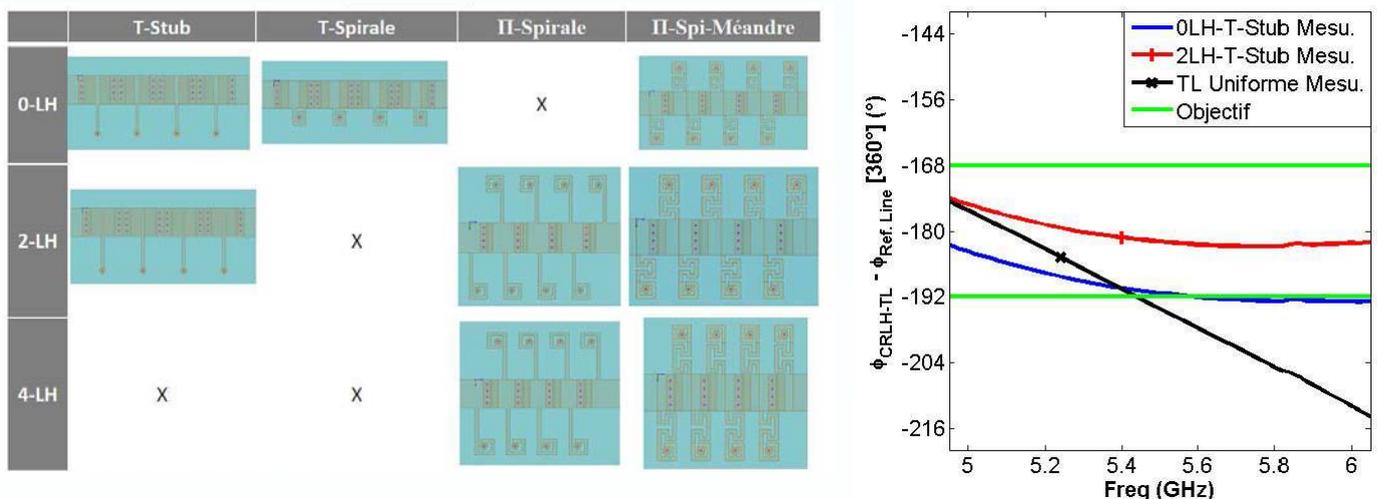
Université
de Toulouse

Contact : Vincent.Gobin @ onera.fr

Résumé

Pour effectuer une recombinaison sans pertes des signaux dans des structures parallèles telles que les matrices de Butler, il est nécessaire d'utiliser des déphaseurs, structures généralement constituées de deux lignes de transmissions déphasées entre elles. Le contrôle du déphasage dans ces équipements peut être obtenu par l'ajustement de la longueur d'une des lignes, ou par le rajout d'éléments en parallèle tels des lignes couplées ou des stubs. Cependant, ces solutions ne permettent pas de répondre aux nombreuses spécifications du déphaseur dans un contexte industriel. Les métamatériaux, structures composées de plusieurs éléments très petits devant la longueur d'onde, pourraient répondre aux différentes contraintes de par leur grand nombre de degrés de liberté. Il existe des lignes à métamatériaux déjà utilisées dans ce but. Cependant un cas particulier de ligne, la ligne équilibrée, est utilisée lors de la conception des déphaseurs.

L'objectif de cette thèse est alors de concevoir des déphaseurs à métamatériaux en exploitant au maximum leurs degrés de liberté, c'est-à-dire sans se restreindre aux cas des lignes équilibrées. Pour cela, nous avons mis en œuvre une méthode de conception dédiée permettant d'obtenir à partir du cahier des charges d'un déphaseur des solutions aux performances suffisantes à leur intégration dans des systèmes industriels très contraints. Nous avons réalisé à l'aide de la méthode des prototypes de déphaseurs 180° sur une largeur de bande de 20% en bande C [4.95 GHz—6.05 GHz] afin de valider notre méthode de conception et d'en démontrer l'efficacité.



Variantes de déphaseurs réalisés et performances de phase mesurées

Modéliser les interactions entre les câblages aéronautiques et les champs électromagnétiques générés pour la sécurité des systèmes

Pierre SCHICHELÉ

Thèse soutenue le 18 décembre 2019

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

Titre de la thèse

Modélisation de l'émission EM de faisceaux de câbles complexes dans un environnement 3D

Encadrement

Département Electromagnétisme et Radar (DEMR)

Encadrant : Jean-Philippe Parmantier - ONERA

Directeur de thèse : Xavier Ferrières - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

Electromagnétisme
et radar

www.onera.fr/pss



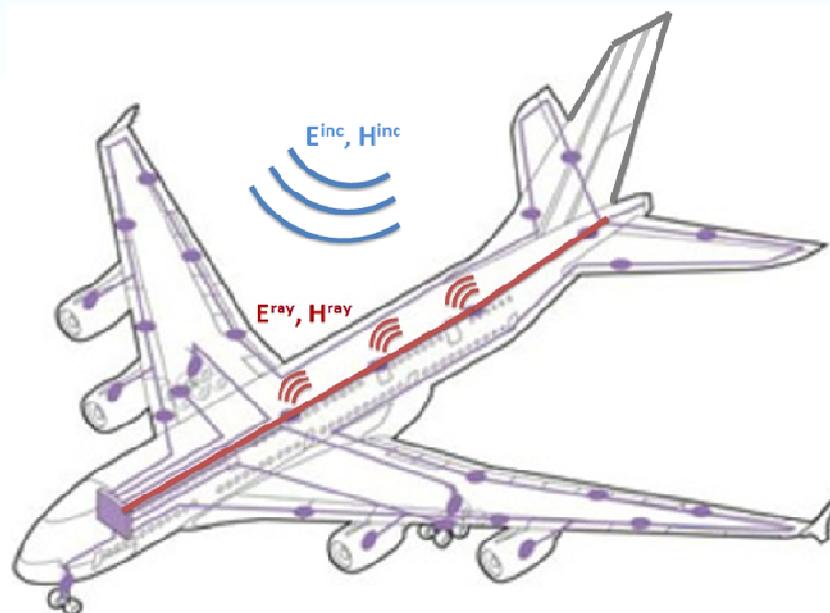
Université
de Toulouse



Contact : Jean-Philippe.Parmantier @ onera.fr

Résumé

En raison des évolutions technologiques, le nombre de composants électriques dans les avions a considérablement augmenté. Les normes de certification sont donc devenues plus exigeantes en termes de CEM. C'est pourquoi, dans les essais et les simulations numériques, il est devenu indispensable de bien prendre en compte les effets liés aux phénomènes électromagnétiques. C'est dans ce contexte que s'inscrit cette thèse, qui a pour objectif de modéliser les câblages aéronautiques dans toute leur complexité et leurs interactions avec les champs électromagnétiques en vue d'étudier les perturbations potentiellement induites. Pour cela, nous avons élaboré une stratégie d'hybridation dans le domaine temporel entre les calculs de champs électromagnétiques diffractés par la structure de l'avion et les calculs des courants sur les câbles électriques. Nous rappelons d'abord différentes méthodes pouvant être utilisées pour évaluer les champs et nous introduisons une approche de réseaux de lignes de transmission multiconducteurs dans le domaine temporel pour tenir compte des faisceaux comportant différents types de câbles et différentes connectiques. Ensuite, un couplage entre cette dernière méthode et les méthodes de calcul de champ est proposé et étudié à la fois mathématiquement et numériquement puis validé sur différentes configurations génériques. Enfin, nous mettons en œuvre cette stratégie sur une configuration complexe comportant un réseau de torons de câbles multifilaires avec différentes charges d'extrémité, le tout installé à l'intérieur d'une structure tridimensionnelle. Grâce à cette approche, nous calculons les courants induits par une perturbation extérieure sur chaque conducteur du réseau de câbles, ce que nous ne pouvions pas faire avec les outils existant avant ce travail de thèse.



Différents types de sources de perturbations électromagnétiques à considérer dans un avion (d'après "usine nouvelle")

Développer de nouvelles techniques de traitement d'images radar pour en extraire une information de hauteur sur la zone observée

Clément RAMBOUR

Thèse soutenue le 18 février 2019

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

Titre de la thèse

Structural Tomographic Approaches for Urban Area Analysis Using High Resolution SAR Tomography: TomoSAR

Encadrement

Département Electromagnétisme et Radar (DEMR)

Directeurs de thèse : Florence Tupin - Telecom ParisTech

Hélène Oriot - ONERA

Loïc Denis - Université de Saint-Etienne

Financement

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

Défi scientifique

Electromagnétisme
et radar

www.onera.fr/pss



Contact : Helene.Oriot @ onera.fr

Résumé

La tomographie SAR est une technique consistant à exploiter la différence de phase entre les images d'une même pile pour extraire la distribution spatiale des objets au sol. En zone urbaine, l'intensité très variable des réflecteurs et les phénomènes de projections de plusieurs objets dans les mêmes pixels ou d'occultations de bâtiments peuvent perturber l'estimation de la scène.

La complexité propre au milieu urbain peut être abordée à travers son aspect très structuré. En effet, il est raisonnable de s'attendre à ce que les murs soient verticaux, les toits et le sol plats et horizontaux. Deux approches sont abordées dans cette thèse pour tirer parti de ces propriétés :

- Analyser les redondances dans les images SAR et estimer les paramètres du signal en utilisant les pixels les plus similaires entre eux ;
- Estimer la distribution de réflecteurs qui explique le mieux le signal reçu et réponde aux contraintes structurelles propres au milieu urbain.

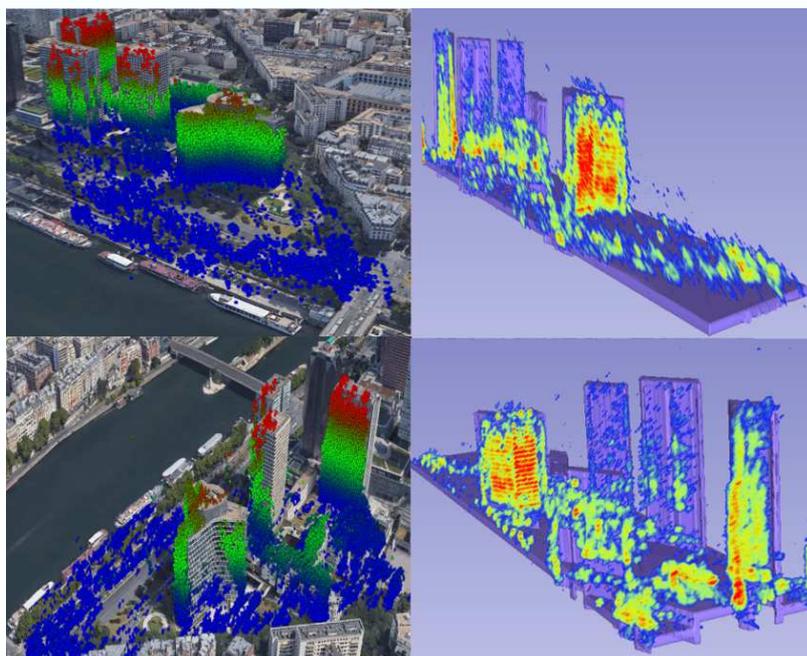
La première contribution de cette thèse correspond à la construction d'un critère de similarité adapté aux larges piles d'images SAR permettant de discriminer efficacement les pixels en fonction de l'intensité et la localisation des réflecteurs qui le composent.

La seconde contribution reprend les méthodes de l'état de l'art s'appuyant sur l'estimation parcimonieuse du signal mais rajoute l'utilisation contraintes géométriques favorisant les distributions de réflecteurs en plans horizontaux et verticaux.

La troisième contribution de cette thèse est un algorithme de segmentation de surface urbaine *ie.* la surface contenant les éléments observés par le capteur (murs, sol, toits). Cette surface doit répondre à des *a priori* structurels et physiques et est estimée par coupure de graphe.

La quatrième contribution correspond à l'estimation conjointe de la réflectivité ainsi que de la surface urbaine par un algorithme itératif.

Cette thèse présente quatre contributions originales à travers deux axes de recherche. L'utilisation de contraintes structurelles pour la reconstruction de zones urbaines a permis une réelle amélioration de l'état de l'art et ouvre la voie à l'utilisation de l'information contextuelle dans ce domaine.



*Reconstruction d'une scène urbaine
par tomographie SAR projetée ou non
sur l'image optique correspondante*

Exploiter les perturbations des signaux des systèmes de positionnement par satellites pour étudier la turbulence de l'ionosphère

Aurélien GALMICHE

Thèse soutenue le 20 février 2019

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

Titre de la thèse

**Modélisation de la scintillation ionosphérique en zone
équatoriale : application à l'inversion de signaux GNSS
pour la caractérisation de la turbulence**

Encadrement

Département Electromagnétisme et Radar (DEMR)

Encadrant : Sébastien Rougerie - CNES

Directeurs de thèse : Laurent Feral - UPS/LAPLACE
Vincent Fabbro - ONERA

Financement

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

Défi scientifique

Electromagnétisme
et radar

www.onera.fr/pss

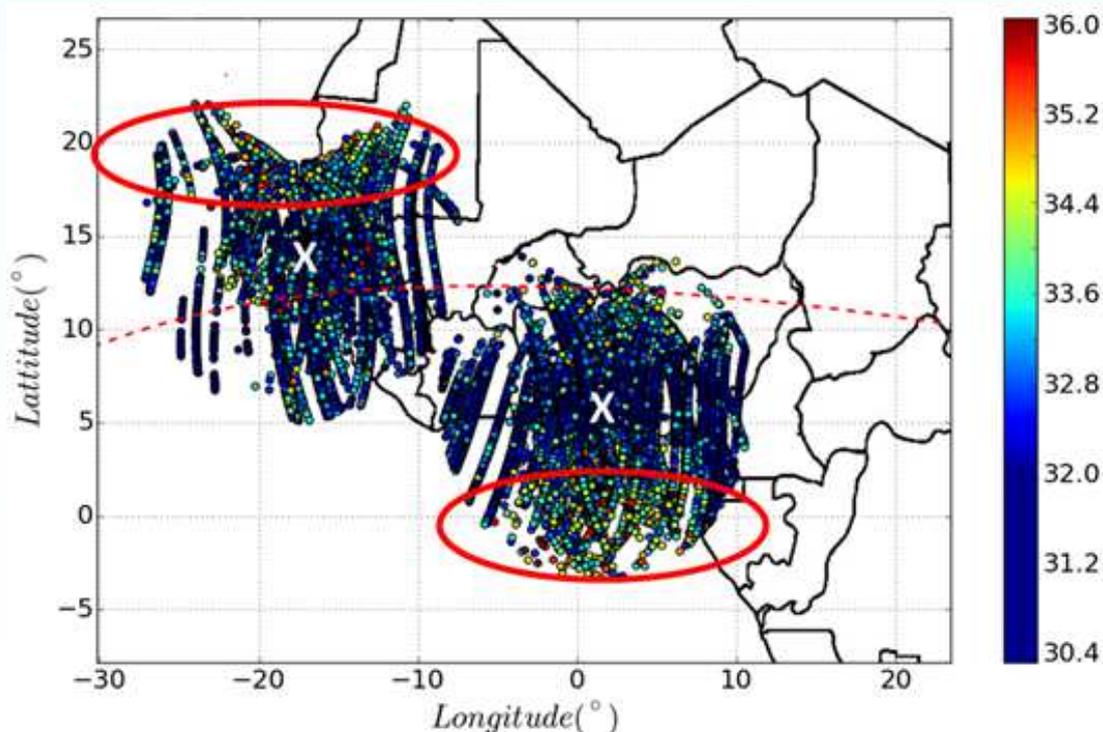


Contact : Vincent.Fabbro @ onera.fr

Résumé

L'ionosphère est un milieu ionisé dont les variations spatiales et temporelles de densité électronique perturbent la propagation des ondes électromagnétiques. En particulier, la nature turbulente du plasma ionosphérique conduit à des fluctuations rapides de l'amplitude et de la phase des signaux radioélectriques : c'est le phénomène de scintillation ionosphérique dont les effets sont particulièrement sensibles aux latitudes équatoriales sur les systèmes ayant un besoin accru de précision, de disponibilité et d'intégrité de la mesure, tel que les systèmes de localisation GNSS.

L'objectif de cette thèse est d'exploiter de façon opportune les effets de la scintillation ionosphérique sur le signal pour proposer un sondage des caractéristiques de l'ionosphère turbulente par inversion des mesures GNSS. Dans un premier temps, les spécificités de la dynamique du plasma ionosphérique équatorial responsable des effets de scintillation sont rappelées. Ensuite, à partir d'une description spectrale des fluctuations turbulentes de densité électronique, une modélisation analytique puis numérique de la propagation transionosphérique sont proposées. Celles-ci sont complétées par la prise en compte du récepteur GNSS, finalisant la modélisation du problème direct. À ce stade, un algorithme d'inversion original des données GNSS est proposé. Son application intensive à la base de données SAGAIE collectée en Afrique équatoriale démontre alors la capacité de l'approche inverse à restituer divers paramètres descriptifs de la turbulence ionosphérique.



En couleurs, force des irrégularités ionosphériques à 350 km d'altitude, mesurées à partir de Lomé et Dakar en Afrique

Développer de nouvelles méthodes pour optimiser la génération des signaux radar MIMO

Uy Hour TAN

Thèse soutenue le 13 juin 2019

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

Titre de la thèse

Méthodologie de conception de formes d'onde pour radars sol – Application au cas du radar MIMO

Encadrement

Département Electromagnétisme et Radar (DEMR)

Encadrant : Olivier Rabaste - ONERA

Directeur de thèse : Jean-Philippe Ovarlez - ONERA

Financement

CIFRE Défense Thalès

université
PARIS-SACLAY



Défi scientifique

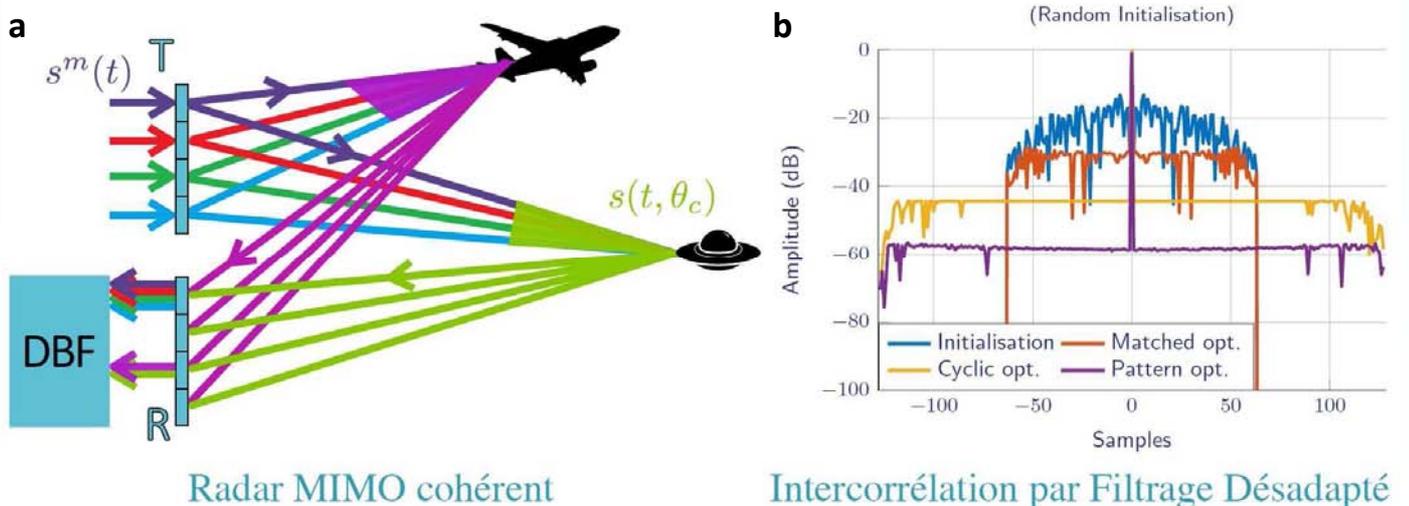
Electromagnétisme et radar

www.onera.fr/pss

Contact : Jean-Philippe.Ovarlez @ onera.fr

Résumé

Cette thèse se focalise sur le concept du radar MIMO co-localisé. L'acronyme MIMO -- pour Multiple-Input Multiple-Output -- indique l'utilisation de plusieurs émetteurs et de plusieurs récepteurs, tandis que le terme co-localisé signifie que ces éléments sont étroitement espacés. Chaque émetteur envoie une forme d'onde qui lui est propre : un radar MIMO émet donc simultanément un ensemble de signaux. Cette thèse a ainsi pour but d'établir une méthodologie permettant de générer cet ensemble de signaux, tout en respectant certaines contraintes opérationnelles. Cela nous permettra de déterminer les apports éventuels de ce radar. Nous nous sommes intéressés en particulier aux codes de phase, pour des raisons de couplage (qu'on peut traduire ici par la capacité), lors du traitement, à distinguer la position angulaire d'une cible de sa distance). La méthodologie proposée se synthétise simplement en une modélisation sous la forme d'un problème d'optimisation. Contrairement à la littérature et à des précédents résultats théoriques, nous avons décidé d'évaluer l'orthogonalité des signaux émis par le radar en différentes directions, et non l'orthogonalité des signaux élémentaires. Ce problème, plus réaliste, est malheureusement non-convexe et à grande échelle : un benchmark sur différentes méthodes d'optimisation nous a permis de constater l'efficacité des algorithmes basés sur le gradient. Optimiser cette orthogonalité sous-entend l'utilisation de filtres adaptés. Cependant, en pratique, le traitement radar s'effectue à l'aide de filtres désadaptés. Nous suggérons ainsi un problème d'optimisation jointe, permettant de générer de manière simultanée un ensemble de formes d'onde (pour le radar MIMO, entre autres) et les filtres désadaptés associés. Des simulations ont permis de montrer l'efficacité de la méthode. Celle-ci est en particulier préférable aux algorithmes cycliques habituellement utilisés.



(a) Principe général de l'émission colorée du radar MIMO cohérent. (b) Illustration du niveau de lobes secondaires atteignable par des techniques d'optimisation de codes radar par filtrage désadapté

Développer des méthodes de détection de changements dans les séries d'images radar pour améliorer les capacités de traitement de ces images

Distinction

Prix doctorant de l'ED STIC Paris-Saclay (2019)

Ammar MIAN

Thèse soutenue le 26 septembre 2019

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

Titre de la thèse

Contributions to SAR Image Time Series Analysis

Encadrement

Département Electromagnétisme et Radar (DEMR)

Encadrant : Abdourahmane M. Atto - Université Savoie Mont Blanc

Directeurs de thèse : Jean-Philippe Ovarlez - ONERA

Guillaume Ginolhac - Université Savoie Mont Blanc

Financement

CentraleSupélec

Défi scientifique

Electromagnétisme et radar

www.onera.fr/pss

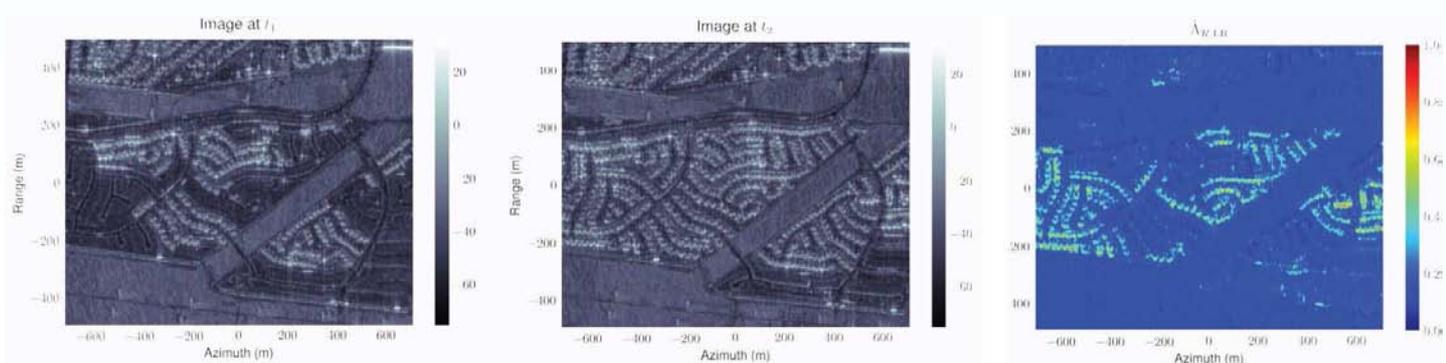


Contact : Jean-Philippe.Ovarlez @ onera.fr

Résumé

La télédétection par Radar à Synthèse d'Ouverture (RSO) offre une opportunité unique d'enregistrer, d'analyser et de prédire l'évolution de la surface de la Terre. La dernière décennie a permis l'avènement de nombreuses missions spatiales équipées de capteurs RSO (Sentinel-1, UAVSAR, TerraSAR X, etc.), ce qui a engendré une rapide amélioration des capacités d'acquisition d'images de la surface de la Terre. Le nombre croissant d'observations permet maintenant de construire des bases de données caractérisant l'évolution temporelle d'images, augmentant considérablement l'intérêt de l'analyse de séries temporelles pour caractériser des changements qui ont lieu à une échelle globale. Cependant, le développement de nouveaux algorithmes pour traiter ces données très volumineuses est un défi qui reste à relever.

Dans ce contexte, l'objectif de cette thèse consiste ainsi à proposer et à développer des méthodologies relatives à la détection de changements dans les séries d'images RSO à très haute résolution spatiale. Le traitement de ces séries pose deux problèmes notables. En premier lieu, les méthodes d'analyse statistique performantes se basent souvent sur des données multivariées caractérisant, dans le cas des images RSO, une diversité polarimétrique, interférométrique, par exemple. Lorsque cette diversité n'est pas disponible et que les images RSO sont monocanal, de nouvelles méthodologies basées sur la décomposition en ondelettes ont été développées. Celles-ci permettent d'ajouter une diversité supplémentaire spectrale et angulaire représentant le comportement physique de rétrodiffusion des diffuseurs présents la scène de l'image. Dans un second temps, l'amélioration de la résolution spatiale sur les dernières générations de capteurs engendre une augmentation de l'hétérogénéité des données obtenues. Dans ce cas, l'hypothèse gaussienne, traditionnellement considérée pour développer les méthodologies standards de détection de changements, n'est plus valide. En conséquence, des méthodologies d'estimation robuste basée sur la famille des distributions elliptiques, mieux adaptée aux données, ont été développées. L'association de ces deux aspects a montré des résultats prometteurs pour la détection de changements.



Carte des changements (figure de droite) entre l'image de gauche et l'image du milieu

Développer un accéléromètre à trois espèces atomiques pour améliorer les performances des capteurs inertiels

Clément DIBOUNE

Thèse soutenue le 16 mai 2019

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

Titre de la thèse

Développement expérimental d'un capteur inertiel à atomes froids $87\text{Rb}/85\text{Rb}/133\text{Cs}$

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrant : Nassim Zahzam - ONERA

Directrice de thèse : Laurence Pruvost - Laboratoire Aimé Cotton

Financement

ONERA

Défi scientifique

Capteurs
et environnement
spatial

www.onera.fr/pss

université
PARIS-SACLAY

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Contact : Nassim.Zahzam @ onera.fr

Résumé

Cette thèse porte sur le développement expérimental d'un accéléromètre à trois espèces atomiques : $^{87}\text{Rb}/^{85}\text{Rb}/^{133}\text{Cs}$ et s'inscrit dans le contexte de l'amélioration des performances des capteurs inertiels. Pour chaque espèce, l'accéléromètre se base sur l'utilisation de transitions Raman stimulées à deux photons permettant de manipuler les ondes de matière et de mettre en place un interféromètre de type Mach-Zehnder. Un dispositif expérimental complet permettant d'atteindre cet objectif a été réalisé pendant cette thèse. Il a été mis en place avec le développement original d'un système laser fibré, d'un système micro-onde et d'une enceinte à vide rendant possible la manipulation simultanée des trois espèces atomiques. Le système laser fibré est composé uniquement de quatre sources laser permettant de générer les deux longueurs d'onde nécessaires, à 780 nm pour le rubidium et à 852 nm pour le césium en se basant sur l'utilisation de la technologie télécom et celle émergente à 2 μm . Le laser césium est réalisé par somme de fréquence d'une source à 1560 nm et d'une source à 1878 nm. Celui pour les deux isotopes du rubidium est réalisé par doublage de fréquence d'une source à 1560 nm. L'ensemble des raies lasers nécessaires au refroidissement, à la manipulation et à la détection des espèces atomiques est généré par modulation de phase. Des résultats préliminaires à l'obtention de l'interféromètre multi-espèce ont été la réalisation d'un piège magnéto-optique avec les trois espèces atomiques ainsi que la mesure de l'accélération de pesanteur avec l'isotope ^{87}Rb .



*Images de nuages d'atomes froids piégés, obtenues avec une caméra CCD.
a) piège de ^{85}Rb , b) piège de ^{87}Rb , c) piège de $^{85}\text{Rb} + ^{87}\text{Rb}$*

Développer un capteur quantique mesurant l'accélération, la pesanteur et le gradient de gravité

Isadora PERRIN

Thèse soutenue le 23 septembre 2019

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

Titre de la thèse

Développement expérimental d'un capteur inertiel multi-axe à atomes froids hybride embarquable

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrant : Yannick Bidel - ONERA

Directeur de thèse : François Nez - Laboratoire Kastler Brossel

Financement

ONERA

Défi scientifique

Capteurs
et environnement
spatial

www.onera.fr/pss



Contact : Yannick.Bidel @ onera.fr

Résumé

Cette thèse porte sur le développement expérimental d'un capteur inertielle à atomes froids hybridé avec des capteurs classiques permettant la mesure de l'accélération de pesanteur, de la composante verticale du gradient de gravité et de l'accélération horizontale. Les choix technologiques ont été réalisés dans le but d'obtenir un futur capteur embarquable.

La mesure des différentes grandeurs inertielle est basée sur l'interrogation d'un nuage d'atomes froids en chute libre par interférométrie atomique. Pour cela, les atomes froids sont soumis à une série d'impulsions lasers qui réalisent des transitions Raman stimulées à deux photons.

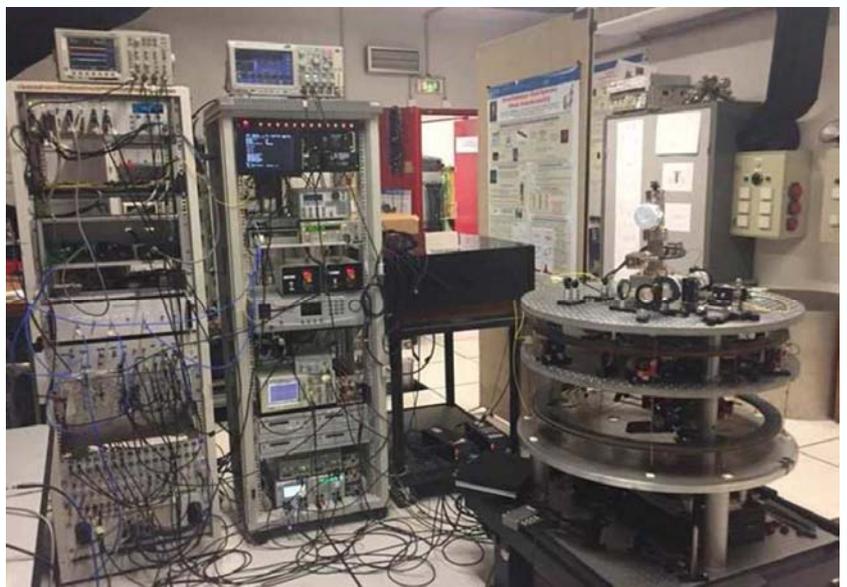
Pendant cette thèse, a été développé un dispositif expérimental qui génère un nuage d'atomes froids de rubidium 87 et qui permet d'effectuer des séquences d'interférométrie atomique avec des faisceaux lasers Raman verticaux ou horizontaux sur une distance de chute maximale de 20 cm.

L'accélération de la pesanteur a été mesurée en utilisant un interféromètre atomique de type Mach-Zehnder avec une sensibilité de $6,8 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} / \text{Hz}^{1/2}$ et une résolution optimale de $1,4 \cdot 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} / \text{Hz}^{1/2}$ après 6000 s.

Le gradient de gravité a été mesuré avec une méthode originale reposant sur un interféromètre de type « double boucle » hybridé avec un accéléromètre classique. Une démonstration de principe de la méthode a été réalisée ainsi qu'une étude des effets systématiques permettant d'évaluer l'exactitude. Une extrapolation avec une distance de chute de 1 m donne une sensibilité de l'ordre de $13 \cdot 10^{-9} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} / \text{Hz}^{1/2}$.

Enfin, une mesure de l'accélération horizontale a été réalisée avec une technique originale basée sur le balayage en fréquence du laser Raman qui permet d'interroger les atomes avec une vitesse nulle suivant l'axe de mesure. Hybridé avec un accéléromètre classique, une mesure de l'accélération horizontale a été obtenue avec une sensibilité de $3,2 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} / \text{Hz}^{1/2}$ et une résolution optimale de $2 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} / \text{Hz}^{1/2}$ après 1000 s d'intégration.

Dispositif expérimental permettant la mesure de l'accélération, de la pesanteur et du gradient de gravité



Mieux comprendre la dynamique de la charge et de l'adhésion des poussières lunaires en environnement spatial pour mieux caractériser cette contamination

Pauline OUDAYER

Thèse soutenue le 12 novembre 2019

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

Titre de la thèse

Caractérisation expérimentale et numérique de l'adhésion et de la charge électrostatique des poussières lunaires

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrant : Jean-Charles Matéo-Vélez - ONERA

Directeur de thèse : Jean-François Roussel - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

Capteurs
et environnement
spatial

www.onera.fr/pss



Université
de Toulouse



Contact : Jean-Charles.Mateo_Velez @ onera.fr

Résumé

Les missions Apollo ont rapporté le problème de l'adhésion des grains de l'épaisse couche de poussières présente à la surface de la Lune sur les combinaisons spatiales et sur les équipements techniques et scientifiques. Cette contamination reste un frein pour la suite de l'exploration spatiale. Les forces responsables de l'adhésion sont les forces de Van der Waals ainsi que les forces électrostatiques. La force de Van der Waals a été évaluée à l'aide d'un dispositif centrifuge dimensionné et implanté dans le caisson DROP. Effectuée en partenariat avec l'IRSN, la campagne d'essais a montré le rôle de la rugosité, de la composition du substrat et de la forme de la particule. Des mesures XPS ont montré une forte oxydation de surface des échantillons suite à leur mise en contact avec l'atmosphère suggérant une modification des forces. Deux phénomènes participent à l'établissement de la charge électrostatique sur un grain de poussière : la collection de courant chargeant (vent solaire, photoémission) et le courant de fuite (conduction) à travers les surfaces environnantes. L'étude du courant de conduction a été effectuée au travers de plusieurs couches de poussière grâce à deux techniques de mesures : la spectroscopie diélectrique dynamique (SDD) au CIRIMAT et une mesure de courant DC réalisée à l'ONERA. Les données expérimentales obtenues ont permis de corroborer un modèle développé durant cette thèse. La collection des courants chargeants a ensuite été étudiée avec le logiciel SPIS. Ces modélisations ont mis en évidence un phénomène de charge complexe à l'échelle d'un grain microscopique, avec des zones positives et négatives. L'utilisation de SPIS permet de reproduire au premier ordre la charge et l'écoulement des charges. A l'issue de cette thèse, on préconise de développer un modèle pleinement 3D pour affiner le calcul du transport à l'intérieur et à l'interface entre grains et effectuer un calcul précis des forces électrostatiques.



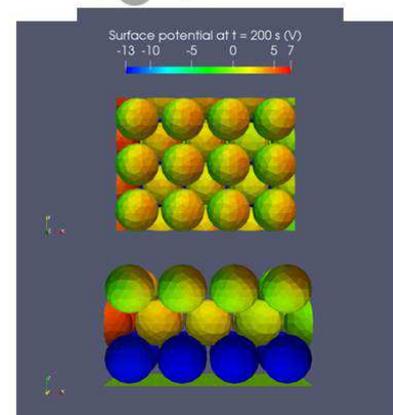
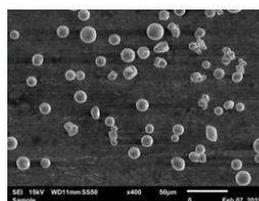
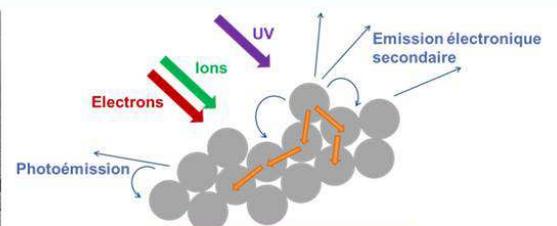
A gauche en haut : Astronaute des missions Appolo dont la combinaison est couverte de poussières.

A gauche au milieu : exemple de poudre utilisée expérimentalement

A gauche en bas : centrifugeuse sous vide

A droite en haut : phénomènes régissant la charge des poussières

A droite en bas : simulation de la charge en environnement lunaire



Explorer les potentialités de matériaux nano-composites pour améliorer le comportement des composants soumis à l'environnement spatial

Distinction

Prix de
l'Ecole doctorale
GEET (2019)

Charles RIGOUDY

Thèse soutenue le 18 décembre 2019

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

Titre de la thèse

Couches minces diélectriques avec des inclusions de nanoparticules d'argent réalisées par voie plasma conçues pour le contrôle du gradient de charges électriques sous irradiation électronique pour des applications spatiales

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrant : Mohamed Belhaj - ONERA

Directeurs de thèse : Laurent Boudou - Université Toulouse 3
Kremena Makasheva - CNRS-LAPLACE

Financement

Projet IDEX SEPHIR (Secondary Electron Phenomena from Innovative Functional Materials in Space Environment)

Défi scientifique

Capteurs
et environnement
spatial

www.onera.fr/pss



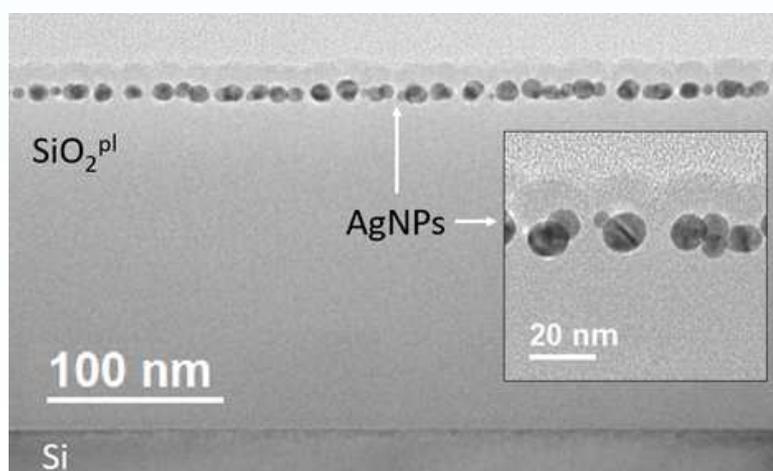
Université
de Toulouse

Contact : Mohamed.Belhaj @ onera.fr

Résumé

Le phénomène d'émission électronique est étudié dans de nombreux domaines fondamentaux de la physique et pose le principe de fonctionnement d'un grand nombre de dispositifs tels que les écrans à émission de champ, les propulseurs Hall, etc. Il est mieux compris pour les métaux. Cependant pour les matériaux isolants, il constitue un phénomène critique limitant la fiabilité des composants dans les applications spatiales où les phénomènes de décharge et de claquage sont entièrement contrôlés par l'émission électronique. Selon l'énergie des électrons incidents et les propriétés des diélectriques, les électrons peuvent être piégés au sein du matériau. Ce travail de thèse se situe à l'interface de trois domaines de recherche : le dépôt par plasma de couches minces nanocomposites, le piégeage et le transport de charges électriques dans les diélectriques, et la caractérisation des matériaux sous irradiation. Il explore l'effet des nanoparticules d'argent (AgNPs) enterrées dans les couches minces de silice, sur les mécanismes physiques (injection, piégeage, transport de charges et émission électronique secondaire) responsables du chargement diélectrique et des émissions d'électrons, afin de moduler ces phénomènes.

Des couches minces nanostructurées de silice contenant un plan d'AgNPs ont été élaborées par procédé plasma combinant dans un même réacteur la pulvérisation d'une cible métallique et le dépôt chimique en phase vapeur activé par plasma (PECVD). Il a été constaté que le taux total d'émission d'électrons (TEEY) des couches minces de silice sans AgNPs présente une forme atypique avec un minimum local situé à environ 1 keV. Un modèle de TEEY a été développé. Il considère le champ électrique interne résultant de l'accumulation de charges électriques dans la couche diélectrique. L'irradiation d'un matériau diélectrique fait intervenir le mécanisme de conductivité induite par irradiation (RIC), également prise en compte dans le modèle.



Imagerie TEM en coupe transverse qui fait apparaître les nanoparticules de Ag incorporées dans la silice plasma

Développer un modèle physique robuste et rapide d'exécution pour évaluer le risque induit par les événements singuliers dans les circuits électroniques soumis aux radiations naturelles

Neil ROSTAND

Thèse soutenue le 19 novembre 2019

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

Titre de la thèse

Modélisation compacte de l'effet des radiations naturelles des dispositifs sub-28nm pour des applications automobiles et aéronautiques

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrant : Sébastien Martinie - CEA-Leti

Directeur de thèse : Guillaume Hubert - ONERA

Financement

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

Défi scientifique

Capteurs
et environnement
spatial

www.onera.fr/pss



Université
de Toulouse

Contact : Guillaume.Hubert @ onera.fr

Résumé

L'effet des radiations naturelles sur l'électronique est une problématique majeure pour tout circuit électronique embarqué dans l'espace, aux altitudes avioniques ou au niveau du sol (automobile). L'effet de ces particules à l'échelle du transistor est la génération de porteurs libres engendrant un pulse en courant transitoire aux électrodes du composant que l'on appelle « Single Event Transient » (SET). Ce pulse est alors capable de perturber le fonctionnement du circuit en générant des erreurs dans le traitement/stockage de l'information : « soft errors ». Par ailleurs, une exposition permanente des circuits aux radiations peut engendrer des dérives dans les caractéristiques électriques des transistors, que l'on nomme effets de dose (« Total Ionizing Dose effects ») (TID). La modélisation de ces phénomènes permet d'évaluer le risque d'erreurs des fonctions assurées par un circuit en incluant ces modèles dans les simulateurs de circuit (simulateurs utilisant le langage Verilog-A pour décrire les modèles des composants du circuit considéré). L'intégration technologique implique de devoir intégrer des modèles physiques toujours plus fins, en particulier pour les échelles nanométriques. Le principal objectif de cette thèse a été de développer un modèle compact SET pour les technologies sub-28nm. La simulation TCAD (physique du semi-conducteur) a servi d'outil de validation et a également supporté le développement du modèle via l'investigation fine de la physique sous-jacente des SETs. Un autre objectif de cette thèse a été d'élaborer un modèle compact TID pour la technologie FDSOI, la littérature ne proposant de tels modèles que pour la technologie BULK. Ce modèle a été inclus dans le modèle standard du FDSOI Leti-UTSOI et a été validé à l'aide de simulations TCAD. Il a finalement été utilisé pour extraire les densités de pièges d'interfaces et d'oxydes de transistors FDSOI irradiés. Enfin, le modèle compact SET a été couplé à la plateforme de simulation MUSCA SEP3 afin d'étudier l'influence de certains phénomènes physiques sur l'estimation des sections efficaces SBU/MCU (amplification bipolaire, morphologie 3D de la charge déposée et couplage SET/circuit).

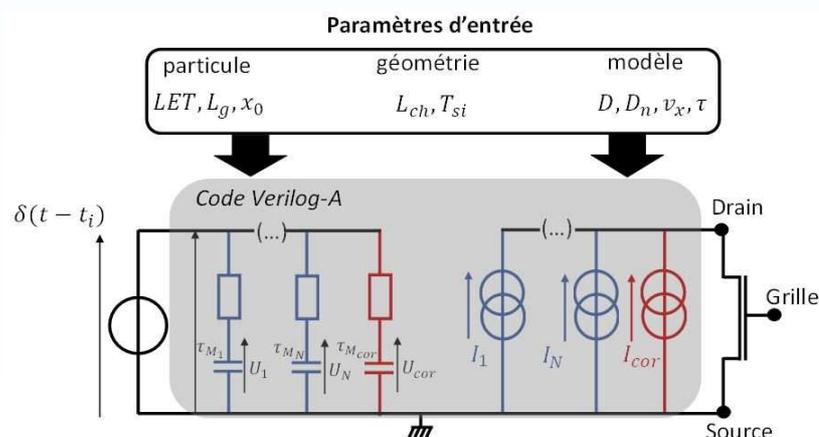


Illustration du modèle SET du point de vue utilisateur. Il s'agit d'un macro-composant implémenté dans le simulateur de circuits. L'utilisateur a alors accès aux paramètres particules, aux paramètres du modèle, ainsi qu'aux paramètres géométriques

Comprendre et modéliser les effets des particules de basses énergies sur les nouvelles technologies microélectroniques embarquées durant les missions spatiales

Distinction

Prix doctorant ONERA
(2019)

Pablo CARON

Thèse soutenue le 9 décembre 2019

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

Titre de la thèse

Etude des évènements singuliers induits par les électrons dans les technologies intégrées

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrants : Laurent Artola - ONERA
Robert Ecoffet - CNES

Directeur de thèse : Christophe Inguibert - ONERA

Financement

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) & ONERA

Défi scientifique

Capteurs
et environnement
spatial

www.onera.fr/pss

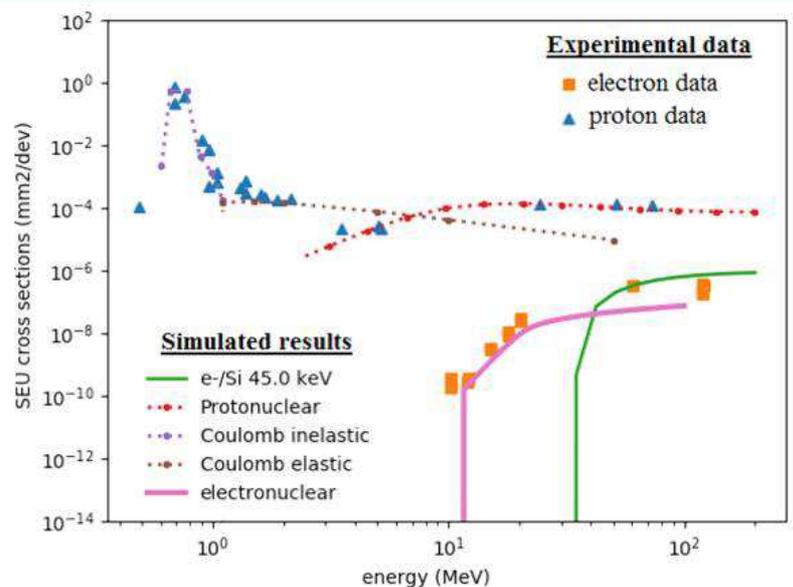


Université
de Toulouse

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

Résumé

Les microélectroniques embarquées durant les missions spatiales sont vulnérables aux environnements radiatifs. Mais avec l'intégration croissante des dispositifs et la volonté des agences à explorer des planètes comme Jupiter auxquelles sont associés des environnements particulièrement intenses, cette problématique prend un nouvel essor. En effet, en 2014, l'Université de Vanderbilt a mis en évidence la sensibilité aux SEUs (Single Event Upset) de certaines mémoires aux électrons. C'est une première : des particules légères aux faibles pouvoirs ionisants peuvent désormais être contraignantes pour les missions spatiales. Cette thèse s'inscrit dans la continuité de cette découverte, en proposant plusieurs études qui soulignent la participation de nouveaux mécanismes (et pas uniquement en environnement électrons) dans les déclenchements d'erreur.



*A gauche, mesures expérimentales de SEU réalisées à l'ONERA dans l'enceinte GEODUR.
A droite, comparaison de résultats de simulations (GEANT4) et expérimentaux pour une mémoire irradiée en environnement protons et électrons*

Evaluer des approches de durcissement des circuits sub-nanométriques pour limiter les effets de variabilité de fabrication et de soft errors

Alexandra ZIMPECK

Thèse soutenue le 24 septembre 2019

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

Titre de la thèse

Approches au niveau du circuit pour atténuer la variabilité de fabrication et les soft errors dans les cellules logiques FinFET

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Directeurs de thèse : Ricardo Reis - UFRGS

Guillaume Hubert & Laurent Artola - ONERA

Financement

Université fédérale du Rio Grande do Sul (UFRGS) & ONERA

Défi scientifique

Capteurs
et environnement
spatial

www.onera.fr/pss



Université
de Toulouse

Contact : Laurent.Artola @ onera.fr

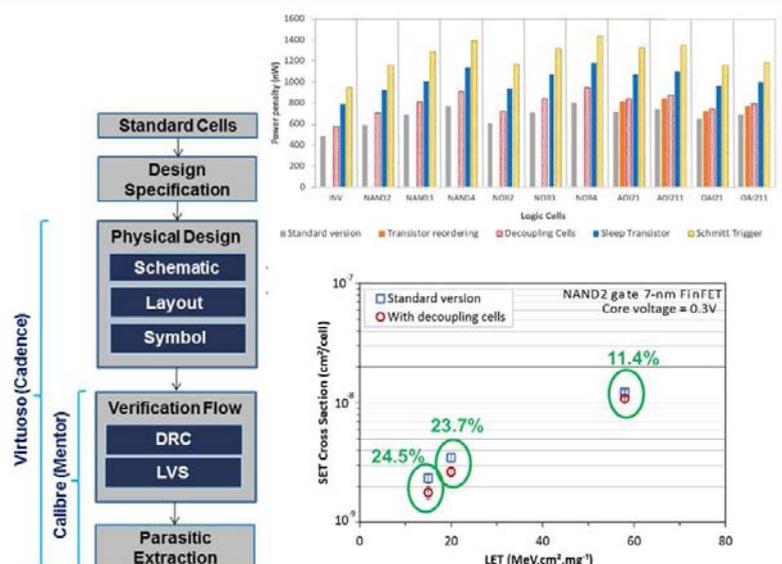
Résumé

Les contraintes imposées par la roadmap technologique sub-nanométrique imposent aux fabricants de microélectronique une réduction de la variabilité de fabrication mais également de durcissement vis-à-vis des erreurs logiques induits par l'environnement radiatif naturel (spatial, avionique et terrestre) afin d'assurer un haut niveau de fiabilité. Certains travaux ont mis en évidence l'influence de la variabilité de fabrication et SET sur les circuits basés sur les technologies FinFET. Cependant jusqu'à lors, aucune approche pour les atténuer n'ont pu être présentée pour les technologies FinFET. Pour ces raisons, du point de vue de la conception, des efforts considérables doivent être déployés pour comprendre et réduire les impacts générés par ces deux problématiques de fiabilité.

Cette thèse a été menée en co-tutelle entre l'ONERA (établissement ISAE-SUPAERO) et l'Université de Rio Grande du Sud (Brésil). Dans ce contexte, ses contributions principales sont :

- 1) étudier le comportement des cellules logiques (technologie FinFET 7nm) en fonction des variations et des effets de rayonnement ;
- 2) évaluer quatre approches de durcissement au niveau du circuit afin de limiter les effets de variabilité de fabrication et les soft errors (SE); Lors de cette thèse, la variabilité de fabrication a été évaluée par des simulations Monte Carlo (MC) avec une fluctuation des travaux de sortie modélisée par une fonction Gaussienne et en utilisant des simulation SPICE. La susceptibilité SE a été estimée à partir de d'outil de simulation MC de radiations, MUSCA SEP3 (développé à l'ONERA). Cet outil est également basé sur des calculs MC afin de rendre compte des caractéristiques de l'environnement radiatif du design et des paramètres électriques des composants analysés ;
- 3) fournir une comparaison globale entre toutes les techniques proposées (transistor reordering, decoupling cells, Schmitt Triggers, Sleep transistors) ;
- 4) proposer le meilleur compromis selon les objectifs missions (consommation, performances, robustesse).

Protocole de simulation et résumé des résultats de l'évaluation (radiation et performances) des solutions de durcissement par design



Comprendre le comportement particulier des matériaux polymères en environnement spatial, à l'état neuf et vieilli afin d'améliorer les modèles de prédiction

Distinctions

Prix du meilleur poster -
18th International Symposium on Luminescence Spectrometry (2018)

Prix de la meilleure communication orale - congrès GEET (2019)

Guillaume DEMOL

Thèse soutenue le 19 décembre 2019

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

Titre de la thèse

Etude du comportement physico-chimique et électrique de polymères spatiaux sous irradiation de haute énergie

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrant : Denis Payan - CNES

Directeur de thèse : Thierry Paulmier - ONERA

Financement

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) & ONERA

Défi scientifique

Capteurs et environnement spatial

www.onera.fr/pss



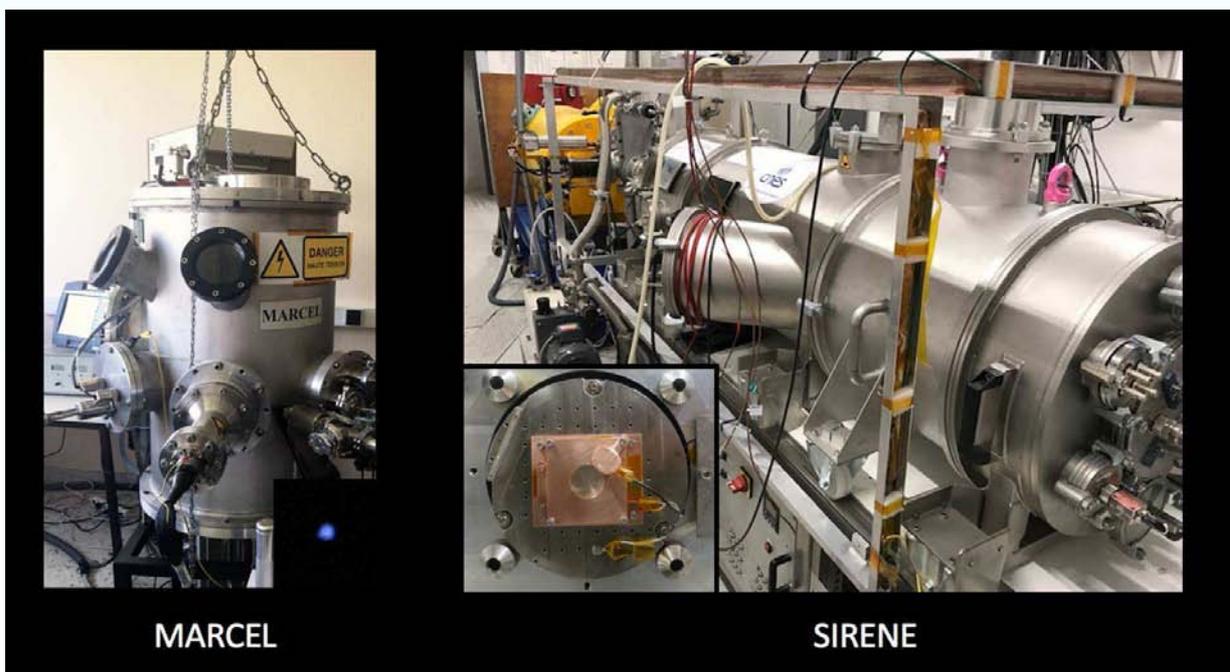
Université de Toulouse

Contact : Thierry.Paulmier @ onera.fr

Résumé

En environnement spatial, les satellites doivent faire face à des radiations de particules énergétiques de forte intensité, pouvant conduire à l'amorçage de décharges électrostatiques et d'arcs électriques. Pour minimiser ces risques pouvant être néfastes pour les engins spatiaux et le déroulement des missions en vol, des stratégies de prédiction et de prévention sont mises en place par les agences spatiales. Afin de développer des modèles prédictifs, il est nécessaire de comprendre le comportement en charge des matériaux spatiaux, et plus particulièrement d'un point de vue microscopique, les interactions particules chargées-matériau, les processus de transport de charges et les effets de vieillissement.

Pour mettre en lumière ces phénomènes et extraire les paramètres physiques nécessaires aux codes de prédiction, de nouvelles techniques de caractérisation expérimentales ont été développées : il s'agit du courant thermostimulé (CTS) et de la cathodoluminescence (CL). Ces techniques complémentaires ont permis de sonder énergétiquement les niveaux de pièges induits par les défauts physico-chimiques présents à l'état neuf ou générés par l'irradiation, de mettre en évidence des transitions radiatives ainsi que les processus de vieillissement sur différentes familles de polymères à usage spatial (poly-aromatiques, fluoropolymères et polyoléfinés). Ces mesures ont permis d'optimiser les modèles physiques, permettant ainsi une meilleure description du comportement en charge des matériaux spatiaux.



*Moyens d'irradiation par la caractérisation électrique et physique
des matériaux polymères spatiaux*

Mettre au point un procédé de fabrication original pour réduire l'encombrement, le coût et la consommation des oscillateurs hautes performances

Distinction

Projet Jeune Docteur
retenu par la SATT
Paris-Saclay (2019)

Paul CHAPPELLIER

Thèse soutenue le 9 décembre 2019

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

Titre de la thèse

MEMS piézoélectriques pour applications temps-fréquence

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrant : Pierre Lavenus - ONERA

Directeur de thèse : Bernard Dulmet - FEMTO-St

Financement

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) & ONERA

Défi scientifique

Capteurs
et environnement
spatial

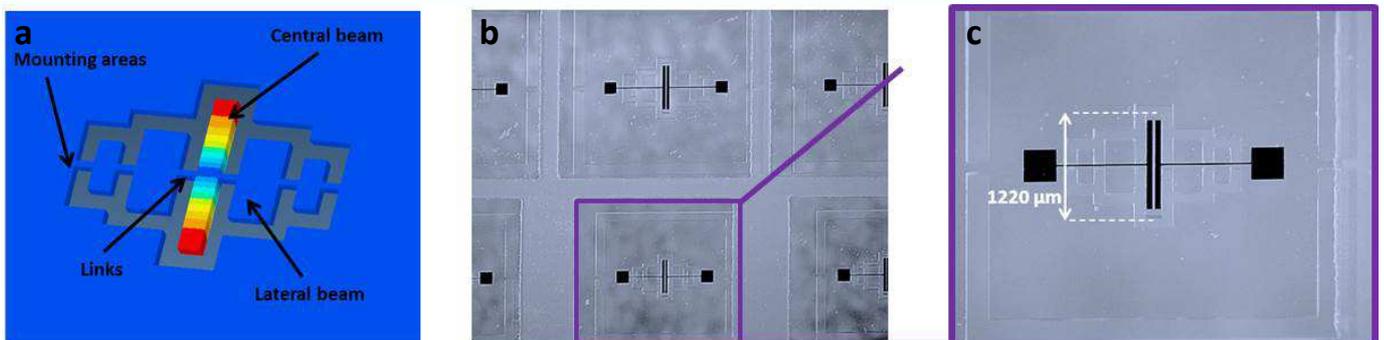
www.onera.fr/pss



Contact : Pierre.Lavenus @ onera.fr

Résumé

Les oscillateurs hautes performances mettent en œuvre un résonateur mécanique présentant un facteur de qualité élevé et vibrant à une fréquence typique de 10 MHz. Le résonateur est généralement une pastille de quartz, réalisée par usinage individuel, d'environ 200 mm³, et placée dans une enceinte thermalisée. Dans le contexte de miniaturisation des composants électroniques, conséquence du développement des technologies embarquées, des objets connectés et des nouvelles normes de télécommunication, une réduction du volume du résonateur et l'utilisation de procédés de fabrication collectifs permettraient une réduction importante de l'encombrement, du coût et de la consommation de ces oscillateurs. Pour répondre aux besoins de ces technologies émergentes, un résonateur planaire en quartz à haut facteur de qualité et réalisable à large échelle a été développé. Au cours de cette thèse, nous avons mis au point un procédé de fabrication original utilisant la gravure réactive ionique profonde du quartz pour pallier l'impossibilité de graver le résonateur par l'usinage chimique standard par voie humide. L'optimisation d'une recette de gravure ionique adaptée à l'usinage de 100 μm de quartz, et ce, de manière anisotrope et présentant une faible rugosité ainsi que le développement du masque de gravure associé ont fait l'objet d'une attention particulière. La montée en maturité des moyens de fabrication a été validée par la réalisation de prototypes de résonateurs. Ces derniers ont présenté des facteurs de qualité à l'état de l'art des micro-résonateurs en quartz. Un premier prototype d'oscillateur intégrant un des résonateurs miniatures a également été caractérisé. Les performances et les pistes d'amélioration identifiées confirment la pertinence du résonateur développé pour des applications d'oscillateurs alliant hautes performances, faible consommation et encombrement réduit.



a) Structure du résonateur sur laquelle est représentée l'amplitude de déplacement dans le mode d'intérêt i.e. avec la poutre centrale en extension-compression (amplitude croissante du bleu au rouge) b-c) image de microscopie optique de résonateurs fabriqués par usinage DRIE

Identifier et étudier des solutions alternatives aux électrodes métalliques sur des résonateurs en quartz pour les miniaturiser sans perte de performances

Amina SAADANI

Thèse soutenue le 12 décembre 2019

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

Titre de la thèse

Electrodes à cristaux bidimensionnels pour micro/nano-résonateurs piézoélectriques à très haut facteur de qualité

Encadrement

Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY)

Encadrant : Olivier Le Traon & Pierre Lavenus - ONERA

Directeur de thèse : Fabrice Sthal - FEMTO-St

Financement

LabEx First-TF (Formation, Innovation, Recherche, Services et Transfert en Temps-Fréquence) & ONERA

Défi scientifique

Capteurs et environnement spatial

www.onera.fr/pss

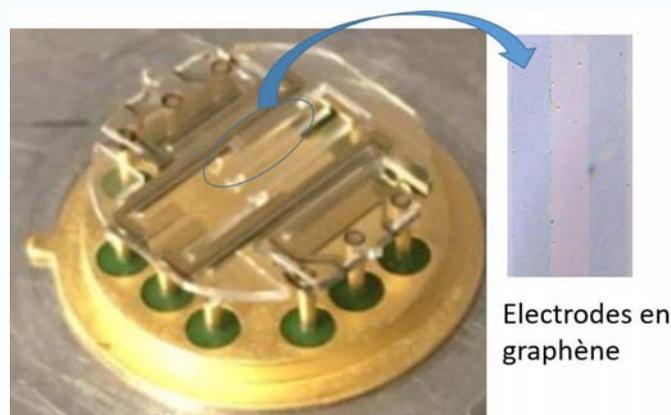


Contact : [Olivier.Le_Traon @ onera.fr](mailto:Olivier.Le_Traon@onera.fr)

Résumé

La mise en vibration d'un résonateur piézoélectrique nécessite généralement le dépôt d'électrodes conductrices à la surface du matériau cristallin afin d'exciter et de détecter les modes de vibration. Les électrodes conventionnelles sont réalisées par dépôt de couches métalliques d'environ 200 nm d'épaisseur. Dans le cadre de la miniaturisation des résonateurs, ces électrodes métalliques s'avèrent intrusives et limitent le facteur de qualité de ces résonateurs, ce qui impacte les performances du résonateur, notamment en termes de bruit de phase et de stabilité de fréquence.

Ces travaux de thèse ont pour but d'identifier et d'étudier des solutions alternatives aux électrodes métalliques sur des résonateurs en quartz (gyromètre, accéléromètre, résonateur pour le temps-fréquence). Les cristaux bidimensionnels (2D) ainsi que les encres conductrices, qui allient à la fois de bonnes propriétés électroniques et une faible épaisseur, sont les deux alternatives envisagées. Trois approches permettant la mise en œuvre de ces électrodes alternatives sont présentées. La première consiste à transférer le graphène sur le résonateur et de mettre en forme les électrodes par des moyens de fabrication issus de la microtechnique. Dans la deuxième approche, le graphène transféré est mis en forme par un faisceau d'ions focalisé. Enfin, des électrodes à base de nanoparticules d'or sont déposées en couches minces sur un gyromètre dans la troisième approche. Les performances des résonateurs réalisés sont analysées et discutées.



Prototype de résonateur en quartz avec électrodes en graphène mis en œuvre pendant la thèse

Simulation Numérique Avancée

Défi 4 - Vers la maîtrise de la turbulence

ARCESE Emanuele - Numerical Modeling of Microwave Plasma Actuators for Aerodynamic Flow Control..... 138

Défi 5 - CFD 2030

MAUNOURY Matthieu - Méthode de visualisation adaptée aux simulations d'ordre élevé. Application à la compression-reconstruction de champs rayonnés pour des ondes harmoniques..... 140

LANGENAIS Adrien - Adaptation des méthodes et outils aéroacoustiques pour les jets en interaction dans le cadre des lanceurs spatiaux..... 142

NADDEI Fabio - Simulation adaptative des grandes échelles d'écoulements turbulents fondée sur une méthode Galerkin discontinue 144

MORETTI Rocco - Etude et amélioration des méthodologies de couplage Aérothermique fluide-structure 146

POUSTIS Jean-François - Amélioration de la précision et réduction du temps de calcul de l'approche Lagrangienne pour la simulation d'écoulements gaz-particules..... 148

JEANMASSON Guillaume - Méthode explicite à pas de temps local pour la simulation des écoulements turbulents instationnaires 150

Défi 7 - Des structures aérospatiales plus endurantes

BOUDA Pascal - Méthode des Champs Virtuels pour la caractérisation du comportement dynamique de matériaux métalliques sous chargement purement inertiel..... 152

BALMASEDA AGUIRRE Mikel - Reduced Order Models for Nonlinear Dynamic Analysis of Rotating Structures: Application to Turbomachinery Blades..... 154

DAVAZE Valentin - Modélisation numérique de l'amorçage et la propagation des fissures dans les tôles métalliques ductiles pour les simulations de crash..... 156

Défi 10 - Electromagnétisme et radar

PATRIZIO Matthieu - Etude et conception d'une stratégie couplée de post-maillage/résolution pour optimiser l'efficacité numérique de la méthode Galerkin discontinue appliquée à la simulation des équations de Maxwell instationnaires..... 158

Mieux comprendre l'interaction des ondes électromagnétiques avec un plasma dans les gaz pour optimiser les actionneurs plasma

Emanuele ARCESE

Thèse soutenue le 5 juillet 2019

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

Titre de la thèse

**Numerical Modeling of Microwave Plasma Actuators
for Aerodynamic Flow Control**

Encadrement

Département Traitement de l'information et Systèmes (DTIS)

Directeurs de thèse : Jean-Pierre Bœuf - LAPLACE

François Rogier - ONERA

Financement

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

Défi scientifique

Vers la maîtrise
de la turbulence

à la page

www.onera.fr/pss



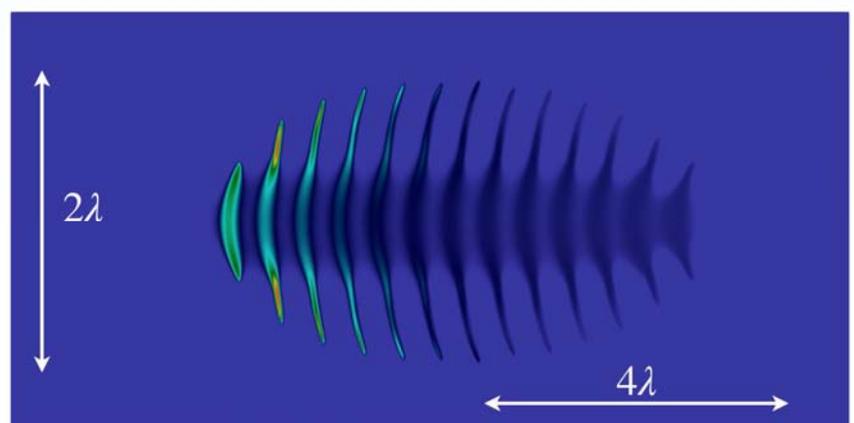
Université
de Toulouse

Contact : [Francois.Rogier @ onera.fr](mailto:Francois.Rogier@onera.fr)

Résumé

The design and optimization of plasma actuators as flow control technique require a comprehensive understanding of the complex physics involved that the sole experiments are incapable to provide. In this context, we have interest in the numerical modeling of the mutual interaction of electromagnetic waves with plasma and gas in order to better understand the nature of microwave discharges and their applicability. A solution is provided by this thesis work which addresses both physics and applied mathematics questions related to microwave plasma modeling. The first part of this doctorate deals with validity matters of the physical model of microwave breakdown based on the local effective field concept. Because of large plasma density gradients, the local effective field approximation is questionable and thus a second-order plasma fluid model is developed, where the latter approximation is replaced by the local mean energy approximation. This modeling approach enables to take into account the non-locality in space of the electron energy balance that provides a more accurate description of the energy deposition by microwave plasma leading to the shock waves formation into the gas. Concerning the mathematical aspects, the thesis work focuses on the design and the analysis of a multiscale method for numerically solving the problem of electromagnetic wave propagation in microwave plasma. The developed approach relies on a Schwartz-type domain decomposition method, based on a variational formulation of the standard Yee's scheme, using two levels of nested Cartesian grids. A local patch of finite elements is applied to calculate in an iterative manner the solution in the plasma region where a better precision is required. A theoretical analysis of the convergence behavior of the iterative algorithm combined with an explicit or implicit time marching is then carried out. In the last part, a series of numerical simulations of microwave breakdown and the filamentary plasma array formation in air are performed. The consequences of the different types of physical approximations adopted in the plasma fluid model are analyzed in depth. The numerical experiments then demonstrate the accuracy and the computational efficiency of the proposed patch correction method for the problem of interest.

Numerical simulation of the MIT experiment [1] : plasma density number at $t=100\text{ns}$ for a 124.5 GHz, 6.3 MV/m amplitude of the incident wave (from left to right) at 750 Torr



[1] S. C. Schaub, J. S. Hummelt, W. C. Guss, M. A. Shapiro, and R. J. Temkin. Electron density and gas density measurements in a millimeter-wave discharge. *Phys. Plasmas*, 23:083512, 2016

Développer de nouvelles méthodes de visualisation pour améliorer l'analyse des résultats de calculs de haute précision

Matthieu MAUNOURY

Thèse soutenue le 30 janvier 2019

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

Titre de la thèse

**Méthode de visualisation adaptée aux simulations
d'ordre élevé. Application à la compression-reconstruction
de champs rayonnés pour des ondes harmoniques**

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Encadrant : Vincent Mouysset - ONERA

Directeurs de thèse : Christophe Besse - Université Toulouse II Paul Sabatier
Sébastien Pernet - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

CFD 2030

www.onera.fr/pss



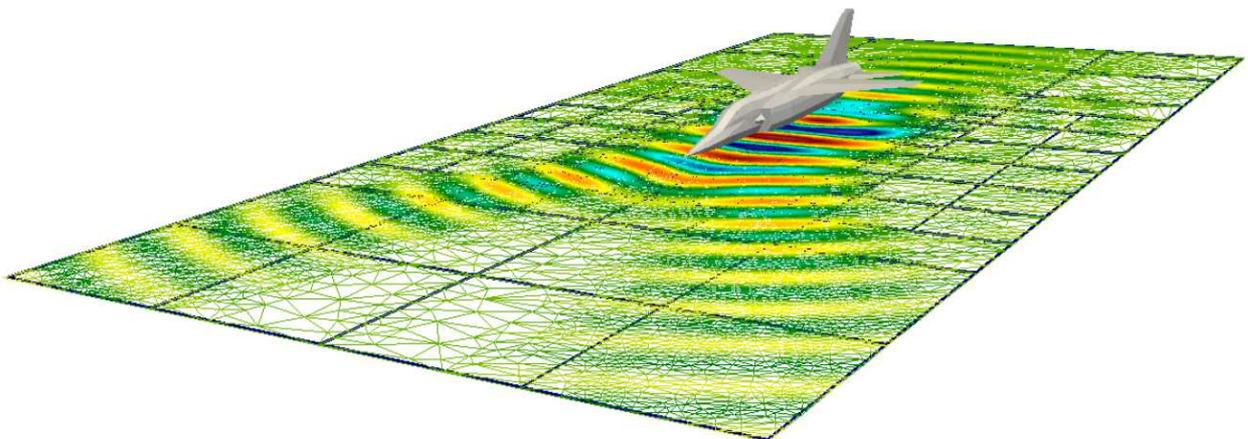
Université
de Toulouse



Contact : Vincent.Mouysset @ onera.fr

Résumé

Bien que les méthodes d'ordre élevé permettent de réaliser des simulations très précises et peu coûteuses, il y a un manque d'outils pour analyser et exploiter les résultats obtenus par ces nouveaux schémas. L'objectif de cette thèse est de mettre en place un cadre et des algorithmes efficaces pour visualiser des solutions calculées par des méthodes d'ordre élevé. Notre approche est basée sur la construction d'une approximation affine optimisée de la solution numérique qui peut être post-traitée dans un logiciel de visualisation standard. Un maillage de représentation est créé via un indicateur d'erreurs a posteriori qui contrôle l'erreur de visualisation entre la solution numérique et sa représentation ponctuellement. Une stratégie est établie afin d'assurer que les (dis)continuités soient bien rendues. Un travail particulier est développé pour traiter les éléments d'ordre élevé (éléments courbes) et utilise notamment des indicateurs d'erreurs a posteriori spécifiques. Des exemples numériques montrent le potentiel de la méthode de visualisation. Dans une seconde partie, nous nous intéressons au calcul et à la reconstruction de champs rayonnés pour des problèmes d'ondes en régime harmonique. Nous proposons une méthodologie pour générer une reconstruction précise de champs rayonnés tout en limitant le nombre d'informations nécessaires (i.e. en compressant les données). Pour ce faire, nous nous appuyons sur des fonctions de base composées de polynômes d'ordre élevé et d'ondes planes, ainsi que sur un développement du noyau de la formule intégrale servant au rayonnement. La méthode de visualisation permet alors de représenter fidèlement (décompression) les cartographies obtenues.



Reconstruction de champs acoustiques par rayonnement d'une solution calculée en équation intégrale : sous-domaines de compression utilisés et maillage de représentation généré

Améliorer la compréhension et l'estimation du bruit généré par les jets des moteurs-fusées pour mieux prévoir l'ambiance acoustique au décollage d'un lanceur

Distinctions

Prix jeune chercheur
CNES (2017)

Most Artistic Flow
Visualization Animation
- congrès AIAA (2017)

Adrien LANGENAI

Thèse soutenue le 7 février 2019

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

Titre de la thèse

**Adaptation des méthodes et outils aéroacoustiques pour
les jets en interaction dans le cadre des lanceurs spatiaux**

Encadrement

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Encadrant : François Vuillot - ONERA

Directeur de thèse : Christophe Bailly - Ecole Centrale de Lyon

Financement

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) & ONERA

Défi scientifique

CFD 2030

www.onera.fr/pss

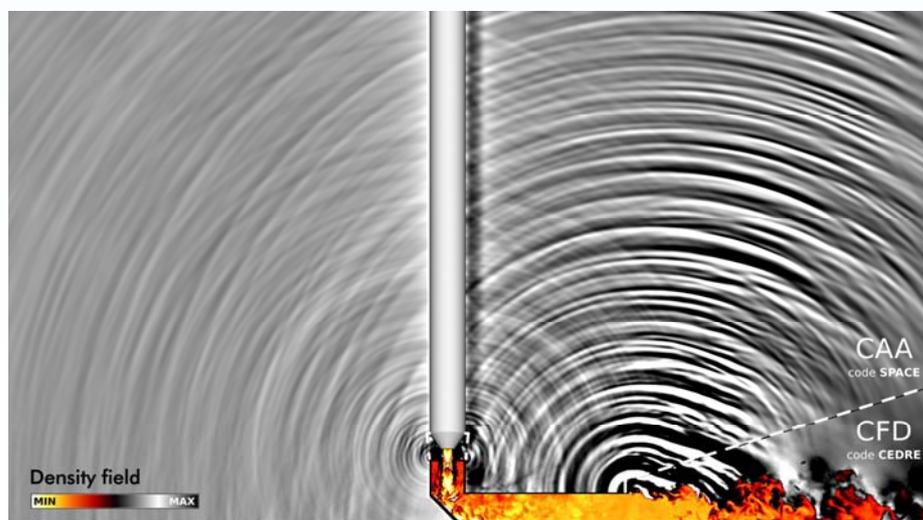


Contact : Adrien.Langenaix@onera.fr

Résumé

Lors d'un lancement spatial, le bruit des jets supersoniques chauds, générés par les moteurs-fusées au décollage et en interaction avec le pas de tir, est dommageable pour le lanceur et en particulier sa charge utile. Par conséquent, les acteurs du spatial cherchent à renforcer leur compréhension et leur maîtrise de cette ambiance acoustique, entre autres grâce à des méthodes et outils numériques. Toutefois, ils ne disposent pas d'une approche numérique globale capable de prendre en compte simultanément la génération fidèle du bruit, la propagation acoustique non-linéaire, les effets d'installation complexes et les géométries réalistes, pourtant inhérents aux applications spatiales. Dans cette optique, cette étude consiste à mettre en place et valider une méthodologie de simulation numérique par couplage fort Navier-Stokes–Euler, puis à l'appliquer à des cas réalistes de bruit de jet supersonique. L'objectif est d'affiner les capacités de prévision et de contribuer à la compréhension des mécanismes de génération de bruit dans de tels jets. Le solveur Navier-Stokes repose sur une méthode LES sur maillage non-structuré et le solveur acoustique sur une méthode de Galerkin discontinue d'ordre élevé sur maillage non-structuré. La méthodologie est tout d'abord évaluée sur des cas académiques visant à valider la simulation par couplage fort. Après des calculs préliminaires, la méthodologie est appliquée à la simulation du bruit d'un jet libre supersonique à Mach 3.1. Une méthode de déclenchement géométrique de la turbulence est implémentée sous la forme d'une marche à la paroi de la tuyère. La simulation aboutit à des estimations du bruit très proches des mesures réalisées au banc MARTEL et met en évidence des effets non-linéaires significatifs ainsi qu'un mécanisme singulier de rayonnement des ondes de Mach. Dans une démarche de progression vers des cas toujours plus réalistes, l'ensemble de l'approche numérique est finalement adaptée avec succès à la simulation du bruit d'un jet en présence d'un carneau. À terme, elle pourra être étendue à des configurations multi-jets réactifs, avec injection d'eau, voire à l'échelle 1.

Champ instantané de densité de la simulation par couplage fort Navier-Stokes - Euler du jet supersonique MARTEL en présence d'un carneau



Distinction

Prix doctorant ONERA
(2019)

Fabio NADDEI

Thèse soutenue le 8 octobre 2019
Ecole doctorale : ED 447 (EDX) - Polytechnique

Titre de la thèse

**Simulation adaptative des grandes échelles d'écoulements
turbulents fondée sur une méthode Galerkin discontinue**

Encadrement

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Encadrants : Marta de la Llave Plata & Vincent Couaillier - ONERA

Directeur de thèse : Frédéric Coquel - École polytechnique

Financement

Bourse européenne Marie Skłodowska-Curie - projet SSeMID

Défi scientifique

CFD 2030

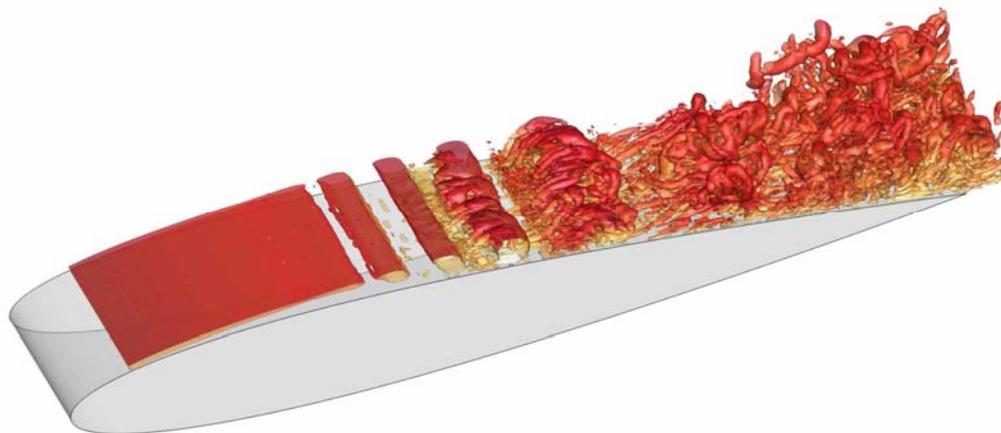
www.onera.fr/pss



Contact : Marta.De_La_Llave_Plata@onera.fr

Résumé

L'objectif principal de ce travail est d'améliorer la précision et l'efficacité des modèles LES au moyen des méthodes Galerkinie discontinues (DG). Deux thématiques principales ont été étudiées: les stratégies d'adaptation spatiale et les modèles LES pour les méthodes d'ordre élevé. Concernant le premier thème, dans le cadre des méthodes DG la résolution spatiale peut être efficacement adaptée en modifiant localement soit le maillage (adaptation-h) soit le degré polynômial de la solution (adaptation-p). L'adaptation automatique de la résolution nécessite l'estimation des erreurs pour analyser la qualité de la solution locale et les exigences de résolution. L'efficacité de différentes stratégies de la littérature est comparée en effectuant des simulations h- et p-adaptatives. Sur la base de cette étude comparative, des algorithmes statiques et dynamiques p-adaptatifs pour la simulation des écoulements instationnaires sont ensuite développés et analysés. Les simulations numériques réalisées montrent que les algorithmes proposés peuvent réduire le coût de calcul des simulations des écoulements transitoires et statistiquement stationnaires. Un nouvel estimateur d'erreur est ensuite proposé. Il est local, car n'exige que des informations de l'élément et de ses voisins directs, et peut être calculé en cours de simulation pour un coût limité. Il est démontré que l'algorithme statique p-adaptatif basé sur cet estimateur d'erreur peut être utilisé pour améliorer la précision des simulations LES sur des écoulements turbulents statistiquement stationnaires. Concernant le second thème, une nouvelle méthode, consistante avec la discrétisation DG, est développée pour l'analyse a priori des modèles DG-LES à partir des données DNS. Elle permet d'identifier le transfert d'énergie idéal entre les échelles résolues et non résolues. Cette méthode est appliquée à l'analyse de l'approche VMS (Variational Multiscale). Il est démontré que pour les résolutions fines, l'approche DG-VMS est capable de reproduire le transfert d'énergie idéal. Cependant, pour les résolutions grossières, typique de la LES à nombres de Reynolds élevés, un meilleur accord peut être obtenu en utilisant un modèle mixte Smagorinsky-VMS.



Simulation avec adaptation p de l'écoulement transitionnel autour d'un profil d'aile NACA à $Re = 50\,000$ et angle d'attaque $\alpha = 5^\circ$: isosurfaces du critère Q colorées par la vitesse longitudinale

Améliorer les méthodologies de couplage fluide-structure pour réduire les temps de calculs des simulations aérothermiques

Rocco MORETTI

Thèse soutenue le 4 décembre 2019

Ecole doctorale : ED 621 (ISMME) - Ingénierie des Systèmes, Matériaux,
Mécanique, Énergétique - Mines ParisTech - PSL

Titre de la thèse

**Etude et amélioration des méthodologies de couplage
aérothermique fluide-structure**

Encadrement

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Encadrant : Marc-Paul Errera - ONERA

Directeur de thèse : Frédéric Feyel - SafranTech

Financement

ONERA

Défi scientifique

CFD 2030



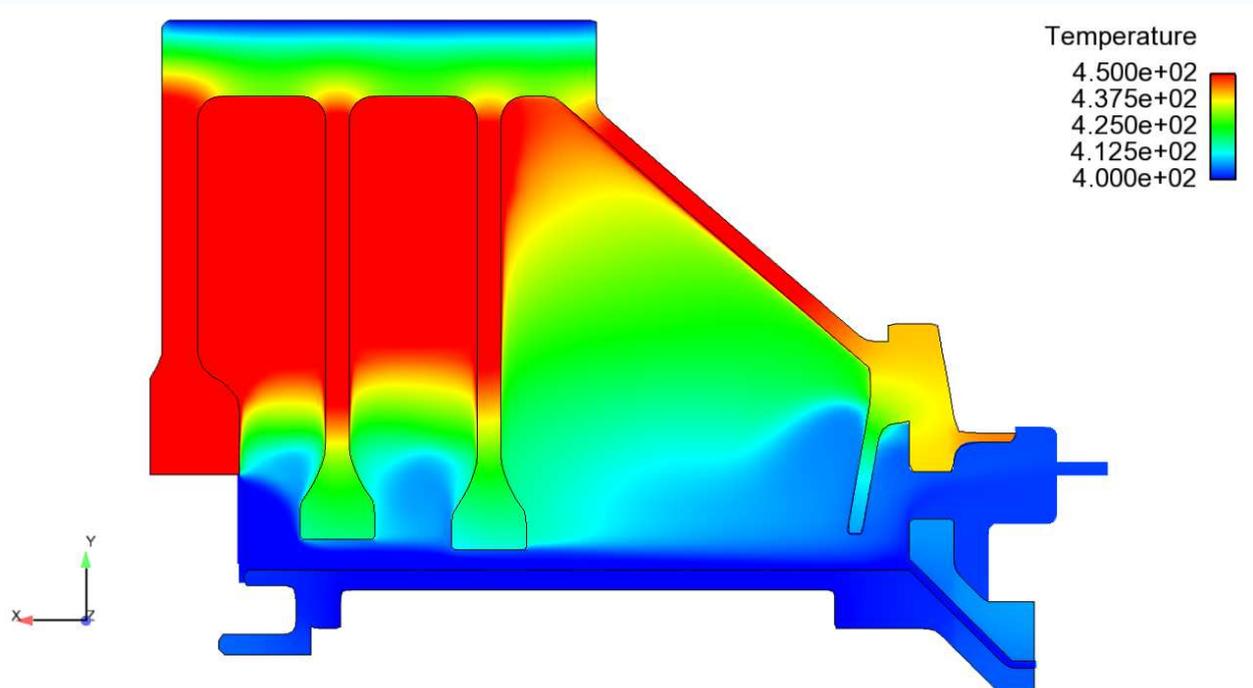
www.onera.fr/pss

Contact : Marc.Errera @ onera.fr

Résumé

Ces travaux s'inscrivent dans la résolution de problèmes couplés aérothermiques. Il s'agit notamment d'améliorer les méthodes de couplage en termes de précision et de robustesse. La stabilité du couplage aérothermique en régime permanent a été d'abord étudiée (couplage faible). Un nombre de Biot numérique a été défini ce qui permet d'évaluer l'intensité de l'interaction thermique fluide-structure. Plusieurs méthodes (Dirichlet-Robin, Neumann-Robin et Robin-Robin) ont été étudiées et leur domaine de validité a été défini.

La méthode Dirichlet-Robin avec un coefficient de sécurité s'est avérée la plus robuste et simple à mettre en œuvre. La prise en compte du rayonnement implique une déstabilisation majeure du problème aérothermique. La méthode de stabilisation a donc été modifiée afin de pouvoir stabiliser ce type de calcul. Dans un deuxième temps, la résolution de problèmes couplés aérothermiques en régime transitoire a été étudiée via l'algorithme partitionné quasi-stationnaire. Il s'agit d'une procédure itérative (couplage fort) entre le solide en régime transitoire et des état fluides en régime stationnaire, assurant ainsi l'égalité des flux de chaleur et de la température à chaque instant de couplage. La précision de cet algorithme a été analysée et améliorée. Enfin, l'algorithme quasi-stationnaire a été analysé sur des problèmes aérothermiques quasi-industriels de disques de turbine et compresseur aéronautiques.



Champ de température instantané d'un tambour de compresseur aéronautique haute-pression calculé via un couplage thermique fluide-structure

Développer de nouvelles méthodes numériques pour améliorer la précision et la robustesse des simulation d'écoulements gaz-particules

Jean-François POUSTIS

Thèse soutenue le 9 décembre 2019

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

Titre de la thèse

Amélioration de la précision et réduction du temps de calcul de l'approche Lagrangienne pour la simulation d'écoulements gaz-particules

Encadrement

Département Multi-Physique pour l'Energétique (DMPE)

Directeurs de thèse : Philippe Villedieu & Jean-Mathieu Senoner - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

CFD 2030

www.onera.fr/pss



**Université
de Toulouse**

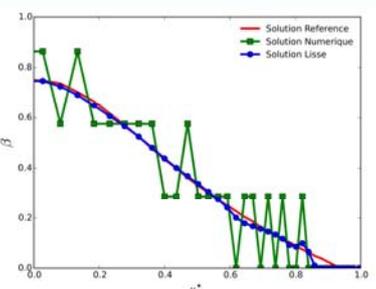


Contact : Jean-Mathieu.Senoner @ onera.fr

Résumé

Les écoulements gaz-particules sont présents dans de nombreux phénomènes naturels (formation des nuages, éruptions volcaniques,...) et de nombreux processus industriels (combustion, lits fluidisés,...). Les approches numériques basées sur un suivi Lagrangien de chaque particule couplé à une résolution Eulérienne des équations de Navier-Stokes restent couramment utilisées pour simuler ces phénomènes, du fait notamment de la simplicité d'implémentation de modèles et d'un coût de calcul modéré. Dans la formulation élémentaire des approches Euler-Lagrange, les particules sont représentées comme des inclusions ponctuelles vis-à-vis de la phase porteuse. La reconstruction de champs particulaires sur la grille de calcul Eulérienne, notamment des termes de réaction des particules sur la phase porteuse, consiste alors à reporter l'intégralité de la contribution de chaque particule dans la cellule du maillage qui la contient. De ce fait, la reconstruction des champs particulaires dépend du niveau de raffinement en maillage. L'objectif de cette étude est de développer deux nouvelles méthodologies numériques pour rendre les approches Lagrangiennes convergentes en maillage et ainsi améliorer leur précision et/ ou leur robustesse.

Tout d'abord, une nouvelle méthode de régularisation implicite des termes sources Lagrangiens a été développée. Celle-ci permet d'adapter l'échelle de longueur de régularisation à la valeur locale du rapport entre la taille de la particule considérée et le pas de maillage local. Cette méthodologie de régularisation est basée sur la résolution d'une équation de diffusion non-linéaire couplée à une méthode de reconstruction de la vitesse gaz non-perturbée au centre de chaque particule. Elle a ensuite été implémentée dans le code DYJEAT et a permis de reproduire fidèlement la dynamique de particules en sédimentation, indépendamment du maillage utilisé. Ensuite, une méthodologie de lissage de champs Eulériens reconstruits à partir d'une phase dispersée Lagrangienne a été développée. La longueur de lissage est localement définie par la distance inter-particules et des équations de transport Lagrangiennes simplifiées sont utilisées pour reconstruire dynamiquement cette grandeur à moindre coût. Les champs Eulériens sont ensuite lissés grâce à la résolution successive de deux équations de diffusion dont la première est utilisée pour imposer localement la bonne longueur de lissage. Cette méthode a notamment permis de reconstruire le champ surfacique de taux de dépôt de gouttelettes d'eau sur un profil d'aile d'avion.



Gauche : problème étudié, i.e. dépôt de gouttes d'eau sur un profil d'aile.

Droite : profils adimensionnés par la hauteur maximale du profil (abscisse) et le débit infini amont (ordonnée). Rouge : solution de référence obtenue pour un très grand nombre de particules. Vert : solution obtenue pour un nombre de particules très réduit combinée au lissage de termes sources proposé (à comparer à la référence)

Développer une nouvelle méthode numérique pour réduire le temps de simulation d'écoulements turbulents

Guillaume JEANMASSON

Thèse soutenue le 19 décembre 2019

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

Titre de la thèse

Méthode explicite à pas de temps local pour la simulation des écoulements turbulents instationnaires

Encadrement

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Encadrant : Ivan Mary - ONERA

Directeur de thèse : Luc Mieussens - Université de Bordeaux

Financement

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

Défi scientifique

CFD 2030

www.onera.fr/pss



université
de BORDEAUX

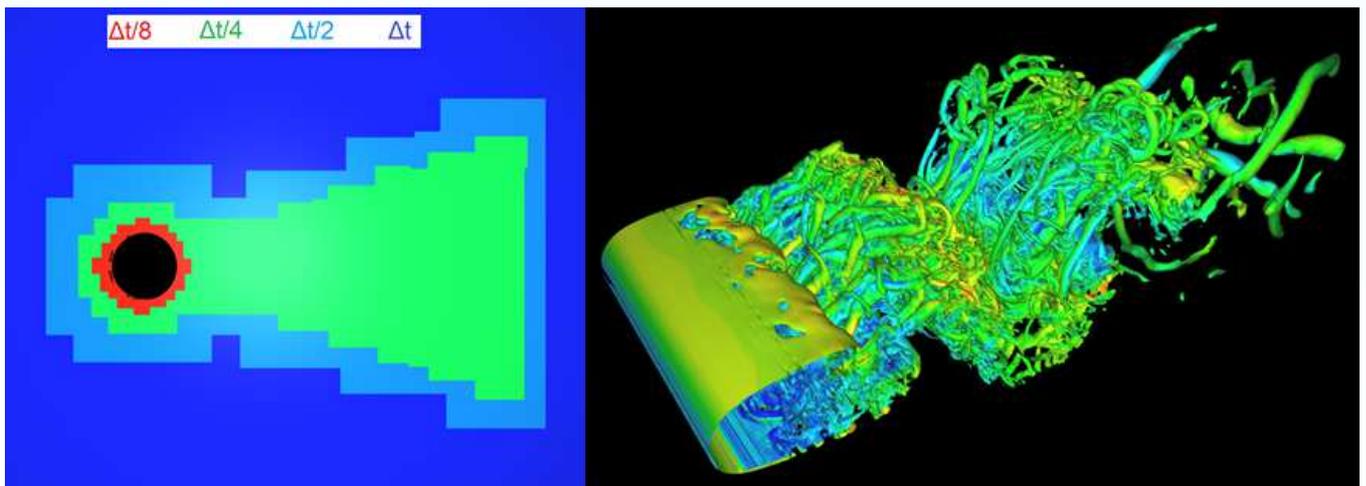


Contact : Ivan.Mary@onera.fr

Méthode explicite à pas de temps local pour la simulation des écoulements turbulents instationnaires

Résumé

La simulation instationnaire d'écoulements turbulents (LES : Large Eddy Simulation, par exemple) reste à l'heure actuelle coûteuse en terme de temps de calcul. Un travail sur les méthodes numériques d'intégration temporelle des équations de la mécanique des fluides peut rendre ce type de simulation plus accessible. Les méthodes d'intégration temporelle explicites présentent des propriétés intéressantes telles qu'une bonne précision et une bonne compatibilité avec les techniques HPC (parallélisation, vectorisation...). Néanmoins, le pas de temps de ces méthodes est fortement limité : il est choisi de manière à respecter la contrainte CFL la plus restrictive sur le maillage. Ceci rend ces méthodes généralement très coûteuses. Dans le cas des méthodes explicites à pas de temps local, le pas de temps varie sur le maillage en s'adaptant à différentes contraintes CFL locales. Le pas de temps est plus optimal sur l'ensemble du maillage, ce qui réduit les temps de simulation par rapport à une méthode explicite à pas de temps global (uniforme). Les schémas à pas de temps local de la littérature sont essentiellement utilisés sur des cas-test académiques, et on recense peu d'applications de ces schémas en CFD. L'objectif de cette thèse est de montrer que ce type de schéma peut être utilisé de manière efficace pour la LES. Pour atteindre cet objectif, deux nouveaux schémas à pas de temps local ont d'abord été mis en place. Deux simulations LES ont ensuite été réalisées à l'aide de notre schéma à pas de temps local le plus performant. Ces deux simulations ont démontré la bonne précision et l'efficacité de notre schéma à pas de temps local pour la simulation d'écoulements turbulents.



LES d'un écoulement autour d'un cylindre réalisée à l'aide de la méthode explicite à pas de temps local. A gauche : répartition des pas de temps sur le maillage. A droite : critère Q de l'écoulement au temps final

Développer une méthode d'optimisation numérique d'essais mécaniques analysés par imagerie rapide pour la caractérisation du comportement dynamique de matériaux

Pascal BOUDA

Thèse soutenue le 11 mars 2019

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

Titre de la thèse

Méthode des Champs Virtuels pour la caractérisation du comportement dynamique de matériaux métalliques sous chargement purement inertiel

Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrants : Bertrand Langrand & Thomas Fourest - ONERA
Delphine Notta-Cuvier - Université de Valenciennes

Directeurs de thèse : Eric Markiewicz - Université de Valenciennes
Fabrice Pierron - University of Southampton

Financement

Région Hauts de France & ONERA

Défi scientifique

Des structures
aérospatiales
plus durantes

www.onera.fr/pss



Région
Hauts-de-France



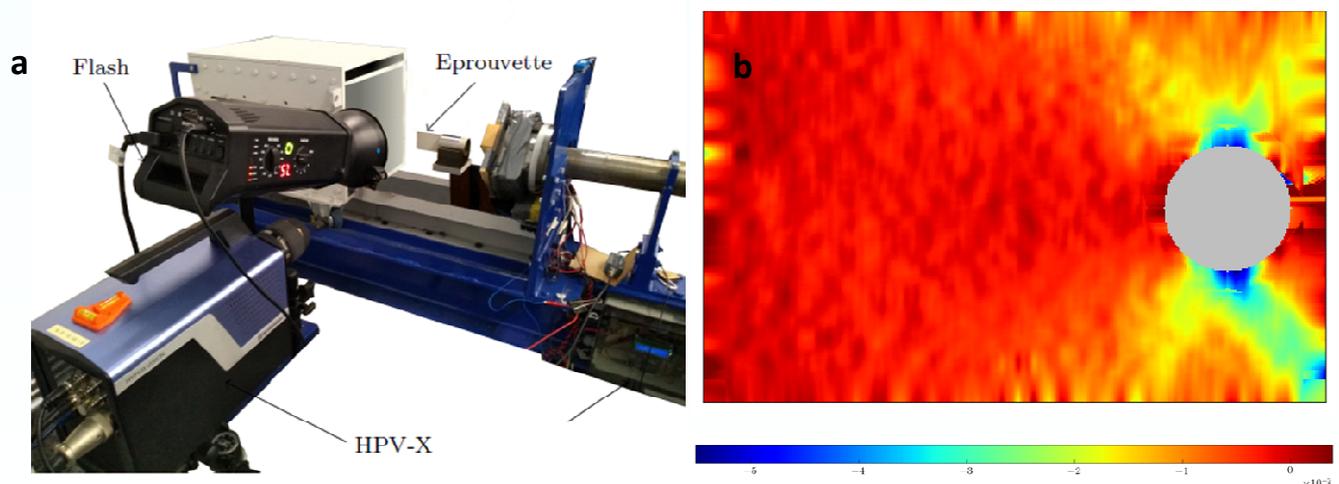
Université
Polytechnique
HAUTS-DE-FRANCE



Contact : Bertrand.Langrand @ onera.fr

Résumé

Les travaux de la thèse visent à mettre en place une méthodologie innovante de caractérisation du comportement viscoplastique des matériaux métalliques sous chargement purement inertiel. Sous chargements mécaniques extrêmes (e.g., crash, impact ou explosions) leur comportement mécanique présente en effet pour nombre d'entre eux une sensibilité à la vitesse de déformation. Des approches dites statiquement déterminées sont majoritairement utilisées pour caractériser leur comportement, mais elles requièrent de nombreux essais dont les conditions expérimentales sont souvent contraintes comme par exemple l'homogénéité de la vitesse de déformation qui doit être maintenue constante en temps par exemple. En revanche, des approches dites statiquement indéterminées permettent l'exploitation d'essais mécaniques avec peu d'hypothèses (voire sans) sur les conditions d'essai. Une méthodologie fondée sur un essai d'impact purement inertiel est mise en œuvre ici pour identifier le comportement viscoplastique de ces matériaux. Avec la Méthode des Champs Virtuels, la méthodologie permet l'identification des paramètres matériaux en exploitant uniquement la mesure des champs de déformation et d'accélération, potentiellement hétérogènes en temps et en espace. Ainsi, celui-ci peut être caractérisé sur une large gamme de déformations et de vitesses de déformation plastiques en procédant à un nombre limité d'expériences. La méthode repose sur le développement d'un simulateur d'images avancé permettant de définir au préalable l'ensemble du dispositif expérimental (géométrie de l'éprouvette et conditions expérimentales). Optimisées numériquement pour prescrire les paramètres d'essai critiques, les réalisations expérimentales menées sur un alliage de Titane utilisé dans l'industrie aéronautique ont permis d'identifier les paramètres d'un modèle de Johnson-Cook sur un spectre de déformations et de vitesses de déformation plastiques prédéterminé. Les incertitudes de la mesure sont également intégrées et analysées dans ce travail.



Identification de paramètres de comportement viscoplastique par essai d'impact inertiel à 70m/s.
(a) Dispositif expérimental d'impact au lanceur. (b) Champ de déformation mesuré 20 microsecondes après l'impact par imagerie ultra-rapide et méthode des grilles

Développer un nouveau modèle d'ordre réduit appliqué à l'étude dynamique des structures tournantes pour en réduire le temps de calcul

Mikel BALMASEDA AGUIRRE

Thèse soutenue le 19 septembre 2019

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

Titre de la thèse

Reduced Order Models for Nonlinear Dynamic Analysis of Rotating Structures: Application to Turbomachinery Blades

Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrant : Antoine Placzek - ONERA

Directeurs de thèse : Georges Jacquet-Richardet - INSA de Lyon
Duc Minh Tran - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

Des structures
aérospatiales
plus durantes

www.onera.fr/pss

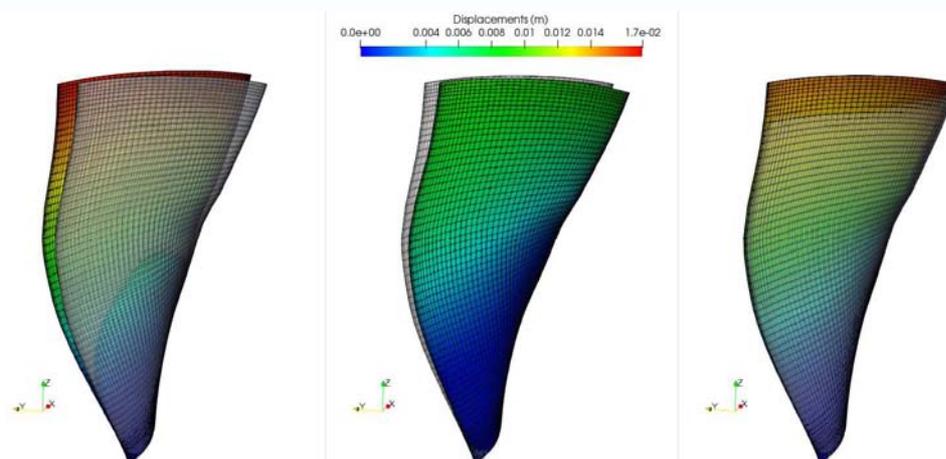


Contact : Antoine.Placzek @ onera.fr

Résumé

Rotating structures in industry such as fan or compressor blades, helicopter blades or wind turbine blades among others are submitted to large displacement nonlinearities during their life cycle. The latter is especially true in the actual context where the design tendency is to create more flexible and larger slender structures leading to an amplification of the nonlinear effects due to larger displacements. These effects create a dependency of the structure's behaviour with respect to its displacement state. Furthermore, additional friction contact nonlinearities should be considered when studying the interaction between the disk and blades root or between blades and rubbing systems. These interactions impact the behaviour of the structure as they lead to energy dissipation as well as to possible effects such as wear or induced vibrations.

In the present work reduced order models (ROM) that are independent from the full order finite element models (FOM) considering geometrical non linearities are developed and applied to the dynamic study of rotating structures. The structure is considered to present nonlinear vibrations around the pre-stressed equilibrium induced by rotation enhancing the classical linearised approach. The reduced nonlinear forces are represented by a polynomial expansion obtained by the Stiffness Evaluation Procedure (STEP) and then corrected by means of an original procedure by means of a Proper Orthogonal Decomposition (POD) that filters the full order nonlinear forces before projection. The latter model is named STEP with Correction (StepC). Different types of reduced basis are presented and tested. Some of these bases are parametrised with respect to the rotating velocity reducing considerably the construction of the ROM. The results obtained with the StepC ROM are in good agreement with the solutions of the FOM and are capable of reproducing the coupled motion of the structure. Furthermore they are more accurate than the classical Linearised ROM solutions and than the STEP ROM without correction. The proposed StepC ROM provides the best compromise between accuracy and time consumption of the ROM.



Displacements of the Linear ROM (left), STEP ROM (center), StepC ROM (right) and the reference FOM solution in gray at 100% of the nominal rotation speed

Développer et implanter une stratégie numérique pour mieux prédire la fissuration de tôles métalliques lors d'un crash automobile

Valentin DAVAZE

Thèse soutenue le 11 décembre 2019

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

Titre de la thèse

Modélisation numérique de l'amorçage et la propagation des fissures dans les tôles métalliques ductiles pour les simulations de crash

Encadrement

Département Matériaux et Structures (DMAS)

Encadrants : Sylvia Feld-Payet & Bertrand Langrand - ONERA
Laurent Rota - Groupe PSA

Directeur de thèse : Jacques Besson - Centre des Matériaux Mines ParisTech

Financement

CIFRE Groupe PSA

Défi scientifique

Des structures
aérospatiales
plus durantes

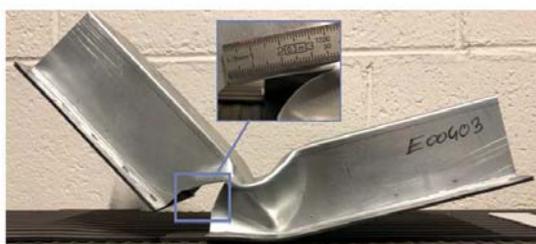
www.onera.fr/pss



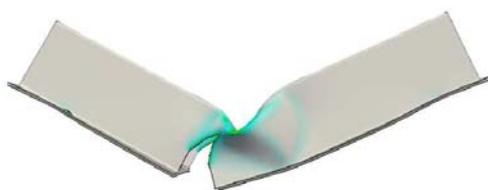
Contact : Sylvia.Feld-Payet @ onera.fr

Résumé

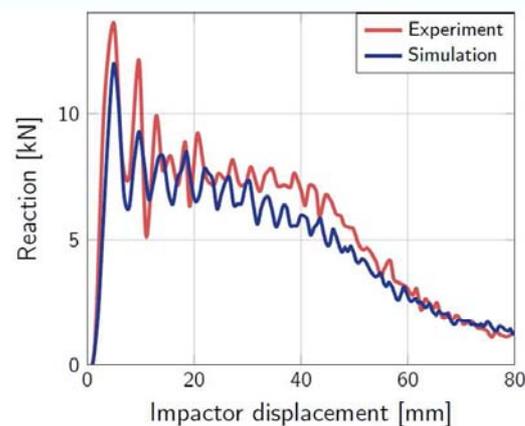
Lors d'un crash automobile, les pièces faites de tôles métalliques sont sujettes à rupture. La rupture des matériaux ductiles n'est actuellement pas prédite de manière fiable dans un contexte industriel, entraînant des coûts et délais supplémentaires sur la conception. Cette problématique est alors abordée dans cette thèse CIFRE du Groupe PSA menée en collaboration avec l'Onera et le Centre des Matériaux. L'objectif de ces travaux est de développer et d'implanter une stratégie numérique fiable de prédiction de fissure par la méthode des Éléments Finis (EF) dans les calculs de crash automobile. Une première partie de ce travail consiste en la caractérisation puis la modélisation du comportement jusqu'à l'amorçage d'un matériau ductile représentatif : les tôles d'acier DP450. Pour ce faire, des essais sont réalisés sur une large gamme de vitesses de chargement, de triaxialités, et à différentes températures. A partir des résultats obtenus, un modèle numérique de comportement est établi en tenant compte des différents phénomènes observés influençant la fissuration : la plasticité, les effets de vitesse et l'endommagement. Le modèle ainsi défini permet de tenir compte de la plupart des phénomènes observés. Cependant, le recours aux modèles adoucissants pour la modélisation de l'endommagement et des effets thermiques à haute vitesse entraîne une dépendance pathologique des résultats au maillage utilisé (taille, orientation). Ce problème est résolu par l'implantation d'une méthode de régularisation non-locale adaptée aux calculs en dynamique rapide. Une variable non-locale est alors calculée à travers l'enrichissement d'éléments finis (solides et coques). Celle-ci est traitée comme un nouveau degré de liberté, facilitant ainsi l'échange de l'information entre les éléments tout en conservant la parallélisation du code. Cette variable est ensuite introduite dans les équations constitutives permettant par la suite d'obtenir l'indépendance des résultats au maillage. La validation de l'approche proposée est finalement réalisée grâce à la confrontation avec des résultats expérimentaux.



Experiment $V_0 = 2.5 \text{ m.s}^{-1}$



Simulation $V_0 = 2.5 \text{ m.s}^{-1}$



Reaction forces – displacement.

Comparaison expérience-simulation pour un essai de flexion 3 points sur une structure en tôle d'acier

Distinction

Meilleur article
doctorant -
congrès CEM018
(2018)

Matthieu PATRIZIO

Thèse soutenue le 3 mai 2019
Ecole doctorale : ED 475 (MITT) - Mathématiques Informatique
Télécommunications de Toulouse

Titre de la thèse

**Etude et conception d'une stratégie couplée de post-maillage/
résolution pour optimiser l'efficacité numérique de la méthode
Galerkin discontinue appliquée à la simulation des équations
de Maxwell instationnaires**

Encadrement

Département Traitement de l'information et Systèmes (DTIS)

Encadrant : Vincent Mouysset - ONERA

Directeurs de thèse : Xavier Ferrières - ONERA
Bruno Fonet - Nuclétudes

Financement

CIFRE-Défense Nuclétudes

Défi scientifique

Electromagnétisme
et radar

www.onera.fr/pss



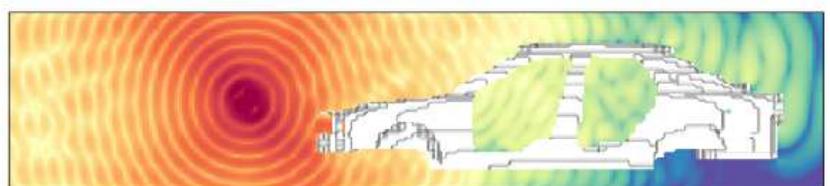
Université
de Toulouse

Contact : Vincent.Mouysset @ onera.fr

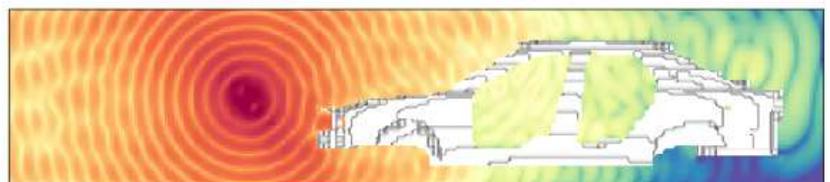
Résumé

Dans cette thèse, nous nous intéressons à l'amélioration des performances numériques de la méthode Galerkin Discontinu en Domaine Temporel (GDDT), afin de valoriser son emploi industriel pour des problèmes de propagation d'ondes électromagnétiques. Pour ce faire, nous cherchons à réduire le nombre d'éléments des maillages utilisés en appliquant une stratégie de h déraffinement/ p -enrichissement. Dans un premier temps, nous montrons que si ce type de stratégie permet d'améliorer significativement l'efficacité numérique des résolutions dans un cadre conforme, son extension aux maillages non conformes peut s'accompagner de contre-performances rédhibitoires limitant fortement leur intérêt pratique. Après avoir identifié que ces dernières sont causées par le traitement des termes de flux non-conformes, nous proposons une méthode originale de condensation afin de retrouver des performances avantageuses. Celle-ci se base sur une redéfinition des flux non-conformes à partir d'un opérateur de reconstruction de traces, permettant de recréer une conformité d'espaces, et d'un produit scalaire condensé, assurant un calcul approché efficace. La stabilité et la consistance du schéma GDDT ainsi défini sont établies sous certaines conditions portant sur ces deux quantités. Dans un deuxième temps, nous détaillons la construction des opérateurs de trace et des produits scalaires associés. Nous proposons alors des flux condensés pour plusieurs configurations non-conformes, et validons numériquement la convergence du schéma GDDT résultant. Puis, nous cherchons à concevoir un algorithme de h -déraffinement/ p -enrichissement automatisé, dans le but de générer des maillages hp minimisant les coûts de calcul du schéma. Ce processus est traduit sous la forme d'un problème d'optimisation combinatoire sous plusieurs contraintes de natures très diverses. Nous présentons alors un algorithme de post-maillage basé sur un parcours efficace de l'arbre de recherche des configurations admissibles, associé à un processus de déraffinement hiérarchique. Enfin, nous mettons en oeuvre la chaîne de calcul développée sur plusieurs cas-tests d'intérêt industriel, et évaluons son apport en termes de performances numériques.

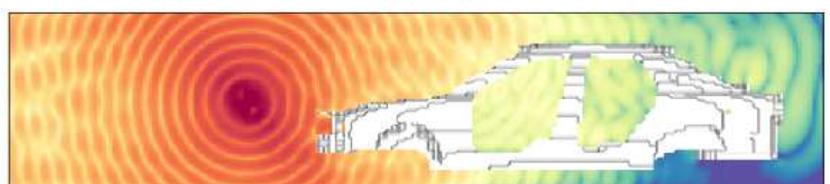
Cartographie de l'énergie électromagnétique dans un plan de coupe, pour la résolution GDDT de référence, hybride classique, et hybride condensée



(a) résolution de référence $Q^1(h)$



(b) résolution hybride $Q^1(h)/Q^2(3h)$ avec les flux classiques



(c) résolution hybride $Q^1(h)/Q^2(3h)$ avec flux condensés

Traitement de l'Information et Systèmes

Défi 1 - Optimisation pluridisciplinaire et évaluation

- SGUEGLIA Alessandro** - Sizing and Optimisation Priorities Applied to a Blended Wing-Body with Distributed Electric Ducted Fans 164
- VITI Andrea** - Conceptual Multidisciplinary Aircraft Design Using Aerostructural Adjoint-based Method 166
- DERENNES Pierre** - Mesures de sensibilité de Borgonovo: estimation des indices d'ordre un et supérieur, et application à l'analyse de fiabilité 168

Défi 2 - Systèmes intelligents

- CUNIS Torbjørn** - Modeling, Analysis, and Control for Upset Recovery - from System Theory to Unmanned Aircraft Flight 170
- KERGUS Pauline** - Data-driven Model Reference Control in the Frequency-domain: From Model Reference Selection to Controller Validation 172
- FLAYAC Emilien** - Coupled Methods of Nonlinear Control and Estimation Applicable to Terrain-Aided Navigation 174
- SAHAI Aisha** - Agentivité conjointe lors des Interactions Homme-Machine : comment concevoir des agents plus coopératifs ? 176
- DAIGMORTE Hugo** - Analyse des interactions entre flux synchrones et flux asynchrones dans les réseaux temps réel 178
- CÔME David** - Analyse de la qualité du code via une approche logique et application à la robotique 180
- MATIEDJE TAWA Jeanne** - Extension événementielle d'une méthode formelle légère et application à l'analyse du protocole distribué Chord 182
- BONNEMAINS Vincent** - Formal Ethical Reasoning and Dilemma Identification in a Human-artificial Agent System 184
- OTHMANI-GUIBOURG Mehdi** - Supervised Learning for Distribution of Centralised Multiagent Patrolling Strategies 186

DELAMER Jean-Alexis - Planification de stratégies de navigation et de guidage pour des drones autonomes dans des milieux encombrés 188

LE Viet Hoang - Une couverture combinant tests et preuves pour la vérification formelle 190

Défi 8 - La propulsion dans toute sa complexité

SAROTTE Camille - Improvement of Monitoring and Reconfiguration Processes for Liquid Propellant Rocket Engines 192

Défi 11 - Perception artificielle multimodale

PINHEIRO DE CARVALHO Marcela - Apprentissage de profondeur par flou de défocalisation : réseaux de neurones pour l'estimation de la profondeur mono-image 194

FERRERA Maxime - Monocular Visual-Inertial-Pressure Fusion for Underwater Localization and 3D Mapping 196

Explorer et évaluer les performances de configurations non conventionnelles utilisant des concepts de propulsion innovants pour de futurs véhicules aériens

Alessandro SGUEGLIA

Thèse soutenue le 10 décembre 2019

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

Titre de la thèse

Sizing and Optimisation Priorities Applied to a Blended Wing-Body with Distributed Electric Ducted Fans

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Directeurs de thèse : Joseph Morlier - ISAE-SUPAERO

Nathalie Bartoli - ONERA

Financement

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

Défi scientifique

Optimisation
pluridisciplinaire
et évaluation

www.onera.fr/pss

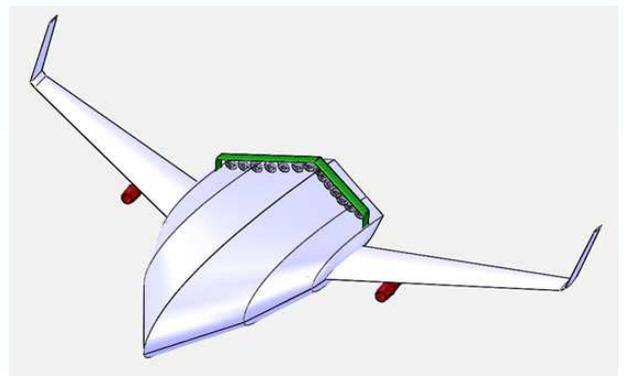
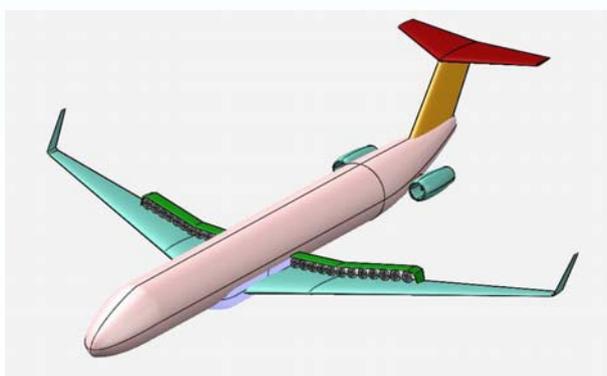


Contact : Nathalie.Bartoli@onera.fr

Résumé

The continuous increase of air traffic and its future projections pose a key challenge towards aviation's carbon neutral growth objective. To cope with this societal goal, the next generations of airplanes will have to integrate disruptive technologies in order to reduce their environmental impact. This Ph.D. research thus focuses on the development of a methodology dedicated to the exploration, evaluation and optimisation of unconventional configurations using innovative propulsion concepts. The use case to be considered is the optimisation at conceptual level of a Blended Wing-Body with distributed electric propulsion, a promising concept which combines high aerodynamic performances and benefits from electric propulsion.

Divided into two activities, the research aims at improving the existing design process and also at evaluating the benefits of the proposed new aircraft concepts. Regarding the process, the optimisation loop, based on FAST, the ISAE-SUPAERO / ONERA aircraft sizing tool, has been implemented within OpenMDAO, the NASA open-source multidisciplinary analysis and optimisation framework. Results show that the use of gradients in the optimisation procedure speeds up the process against a gradient-free method up to 70%. This is an important gain in time that facilitates designer's tasks. For the disruptive concept performances, results have been compared to the ones obtained for a conventional A320 type aircraft based on the same top level requirements and technological horizon. Overall, the hybrid electric propulsion concept is interesting as it allows zero emissions for Landing/Take-Off operations, improving the environmental footprint of the aircraft: fuel can be saved for missions below a certain range. This limitation is associated to the presence of batteries as they introduce a relevant penalty in weight that cannot be countered by benefits of electrification for long ranges. Additional simulations indicate that a Blended Wing-Body concept based on a turbo-electric architecture is constantly performing better than the baseline within the limits of the assumptions.



*(left) Visualisation of the hybrid aircraft with distributed electric propulsion,
(right) Visualisation of the Blended Wing Body with distributed electric propulsion,
150 passengers*

Développer de nouvelles méthodes d'optimisation multi-disciplinaire pour améliorer l'efficacité énergétique des nouvelles générations d'avions

Andrea VITI

Thèse soutenue le 17 août 2019
Ecole doctorale : Imperial College London

Titre de la thèse

**Conceptual Multidisciplinary Aircraft Design Using
Aerostructural Adjoint-Based Method**

Encadrement

Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique (DAAA)

Encadrants : Antoine Dumont & Gérald Carrier - ONERA

Directeur de thèse : Robert Hewson - Imperial College London

Financement

Bourse européenne Marie Skłodowska-Curie - projet AMADEO

Défi scientifique

Optimisation
pluridisciplinaire
et évaluation

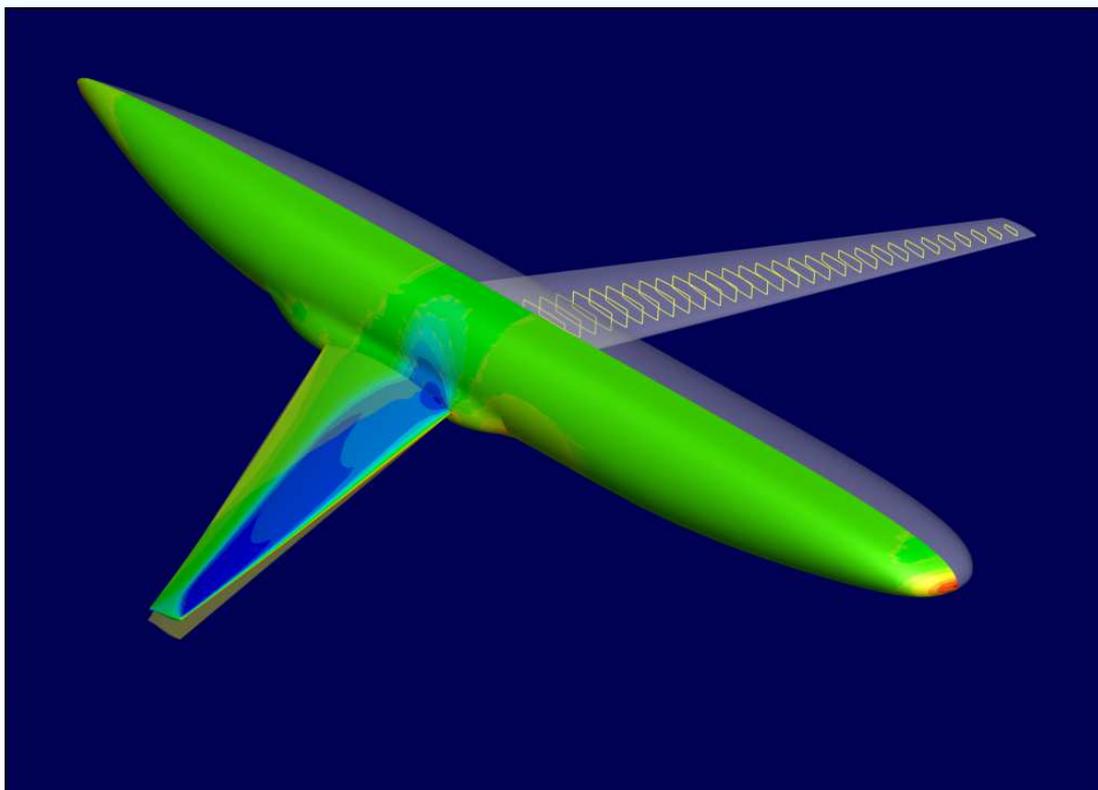
www.onera.fr/pss



Contact : Antoine.Dumont @ onera.fr

Résumé

Nowadays, on the one hand aircraft design reached very high-fidelity level and aircraft manufacturers obtained such experience that they deeply rely on their design work-flow, models and tests. On the other hand, aircraft architecture struggles to change. Indeed, because of uncertainty and risk management reasons engineers are worried to explore new designs. Moreover, preliminary design models do not enable unconventional aircraft design. By combining the current Overall Aircraft Design models with aero-structural analysis and optimization information, this research work introduces an innovative multidisciplinary approach to be implemented in the preliminary aircraft design phase for novel configurations. The procedure was successfully tested with a forward swept wing-body architecture for which classical preliminary design method was not able to catch physical behaviours due to the wing bending-torsion coupling.



Configuration of a reverse swept-wing glider: on one side the wing under aerodynamic loading and on the other side the simplified internal structure of the wing

Développer de nouvelles méthodes d'échantillonnage pour déterminer les variables les plus influentes d'un code de calcul complexe

Pierre DERENNES

Thèse soutenue le 25 juin 2019

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

Titre de la thèse

**Mesures de sensibilité de Borgonovo : estimation des indices
d'ordre un et supérieur, et application à l'analyse de fiabilité**

Encadrement

Département Traitement de l'information et Systèmes (DTIS)

Directeurs de thèse : Jérôme Morio - ONERA
Florian Simatos - ISAE-SUPAERO

Financement

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

Défi scientifique

Optimisation
pluridisciplinaire
et évaluation

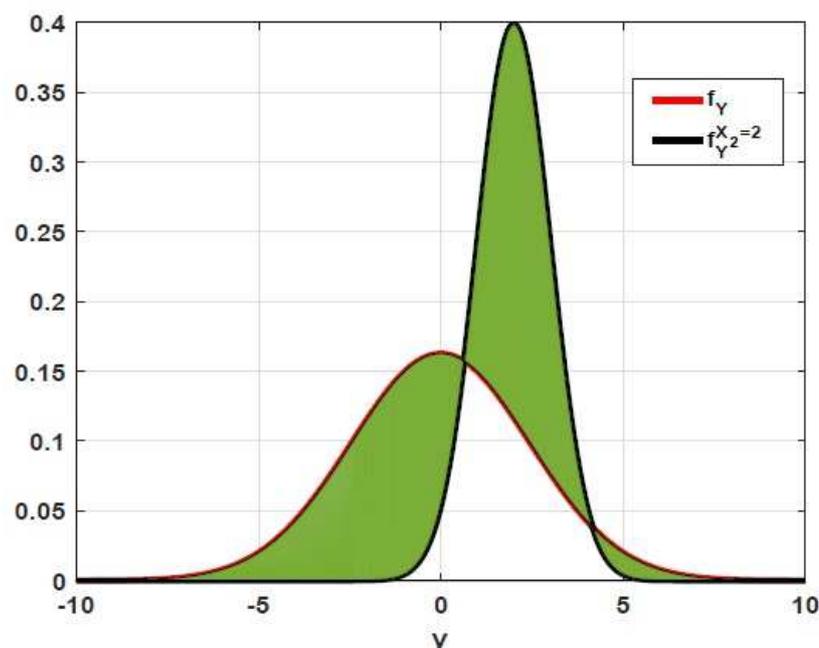
www.onera.fr/pss



Contact : Jerome.Morio @ onera.fr

Résumé

Dans de nombreuses disciplines, un système complexe est modélisé par une fonction boîte noire dont le but est de simuler le comportement du système réel. Le système est donc représenté par un modèle entrée-sortie, i.e, une relation entre la sortie (ce que l'on observe sur le système) et un ensemble de paramètres extérieurs (représentant typiquement des variables physiques). Ces paramètres sont usuellement supposés aléatoires pour prendre en compte les incertitudes phénoménologiques inhérentes au système. L'analyse de sensibilité globale joue alors un rôle majeur dans la gestion de ces incertitudes et dans la compréhension du comportement du système. Cette étude repose sur l'estimation de mesures d'importance dont le rôle est d'identifier et de classier les différentes entrées en fonction de leur influence sur la sortie du modèle. Les indices de Sobol, dont l'objectif est de quantifier la contribution d'une variable d'entrée (ou d'un groupe de variables) à la variance de la sortie, figurent parmi les mesures d'importance les plus considérées. Néanmoins, la variance est une représentation potentiellement restrictive de la variabilité du modèle de sortie. Le sujet central de cette thèse porte sur une méthode alternative, introduite par Emanuele Borgonovo, et qui est basée sur l'analyse de l'ensemble de la distribution de sortie. Les mesures d'importance de Borgonovo admettent des propriétés très utiles en pratique qui justifient leur récent gain d'intérêt, mais leur estimation constitue un problème complexe.



Estimation du shift dans le calcul des indices de sensibilité de Borgonovo

Transfert de résultats théoriques à l'ingénierie pour mieux prévenir la perte de contrôle en vol

Torbjørn CUNIS

Thèse soutenue le 17 septembre 2019

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

Titre de la thèse

**Modeling, Analysis, and Control for Upset Recovery -
From System Theory to Unmanned Aircraft Flight**

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Encadrant : Carsten Döll - ONERA

Directeurs de thèse : Laurent Burlion - Rutgers, USA

Jean-Philippe Condomines - ENAC

Financement

ONERA

Défi scientifique

Systèmes
intelligents

www.onera.fr/pss



Université
de Toulouse



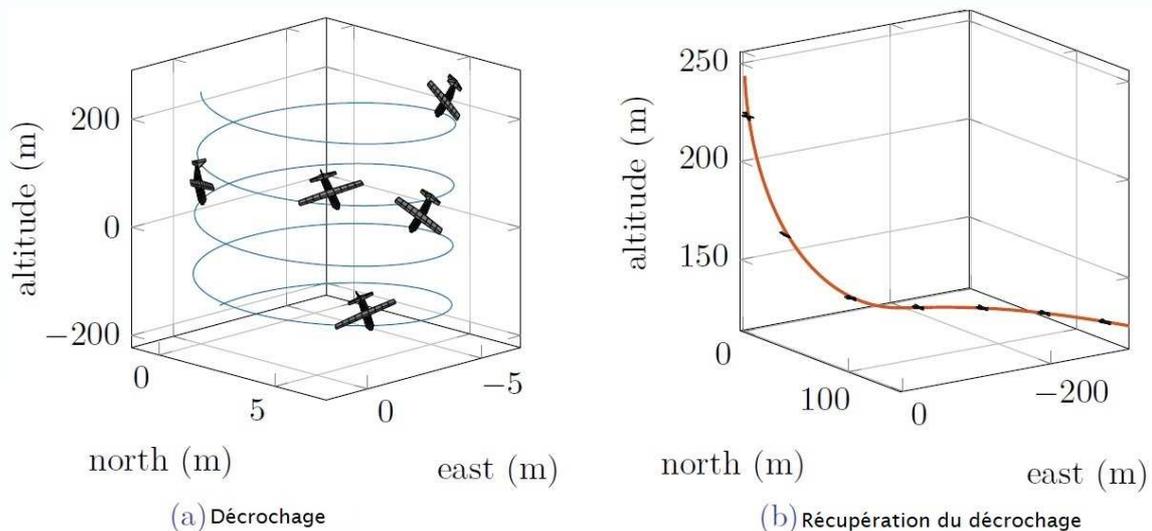
Contact : Carsten.Doll @ onera.fr

Résumé

Upset flight dynamics are characterized by an unstable, highly nonlinear behavior of the aircraft aerodynamic system. As upsets often lead to in-flight loss-of-control (LOC-I) accidents, it still poses a severe threat to today's commercial aviation. Contributing to almost every second fatality in civil aviation while representing merely 10% of the total accidents, the International Air Transport Association has classified LOC-I as the "highest risk to aviation safety". Considerable effort has been undertaken in response by academics, manufacturers, commercial airlines, and authorities to predict and prevent LOC-I events as well as recover from upset conditions into the nominal flight envelope. As result, researchers from both aeronautical engineering and system theory have made significant contributions towards aviation safety. However, approaches from engineering and theory are rather disparate. This thesis focuses therefore on the application and transfer of system theoretical results to engineering applications.

Simple piecewise defined polynomial model proves to be accurate in fitting the aerodynamic coefficients for low and high angles of attack (stall and deep-stall) for the Generic Transport aircraft model GTM and for a small fixed-wing aircraft. State-of-the-art bifurcation analysis and analysis based on sum-of-squares programming techniques are extended for this class of models in an accurate but computationally feasible manner to verify stable recovery.

Subsequently, inherently stable linear and polynomial feedback laws for deep-stall recovery are synthesized. With highly nonlinear dynamics as well as critical state and input constraints, model-predictive control (MPC) with receding horizon is a powerful approach for the challenging upset recovery. MPC further provides a mature stability theory contributing towards the needs for flight control certification. Employing sum-of-squares programming, a stability proof for a deep-stall recovery strategy minimizing the loss of altitude during recovery is provided. Finally, MPC schemes for recovery from spiral and oscillatory spin upsets are also illustrated.



Comparaison du décrochage naturel (a) avec la récupération contrôlée (b)

Proposer une méthode de commande pilotée par les données pour contrôler les systèmes complexes

Pauline KERGUS

Thèse soutenue le 18 octobre 2019

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

Titre de la thèse

**Data-driven Model Reference Control in the Frequency-Domain:
From Model Reference Selection to Controller Validation**

Encadrement

Département Traitement de l'information et Systèmes (DTIS)

Directeurs de thèse : Charles Poussot-Vassal & Fabrice Demourant -
ONERA

Financement

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

Défi scientifique

Systèmes
intelligents

www.onera.fr/pss



Contact : Charles.Poussot-Vassal @ onera.fr

Résumé

In many applications, no physical description of the plant is easily available and the control law has to be designed on the basis of input-output measurements only. Two control strategies can then be considered: one can either identify a model of the plant and then use any kind of model-based technique (indirect methods) to obtain a control law, or use a data-driven strategy that directly compute the controller from the experimental data (direct methods). This work focuses on data-driven techniques: the objective of this thesis is to propose a new data-driven control technique based on frequency-domain data collected from the system to be controlled.

After recalling some basics in feedback control, an overview of data-driven control is given. Then, the proposed method is introduced. It is a model reference technique where the identification problem is moved from the plant to the controller. In this work, two identification techniques are used to that purpose: the Loewner framework and the subspace approach. In addition, a preliminary analysis of the available frequency-domain data allows determining the performance limitations and selecting achievable specifications. Finally, a stability condition, already known in data-driven control, is used during the reduction of the controller to ensure closedloop internal stability. Along this thesis, the different steps of the method are progressively applied on two numerical examples. In the end, the proposed technique is applied on two irrational systems described by partial differential equations: a continuous crystallizer and an open-channel for hydroelectricity generation. These two examples illustrate the type of applications for which using a data-driven control method is indicated.

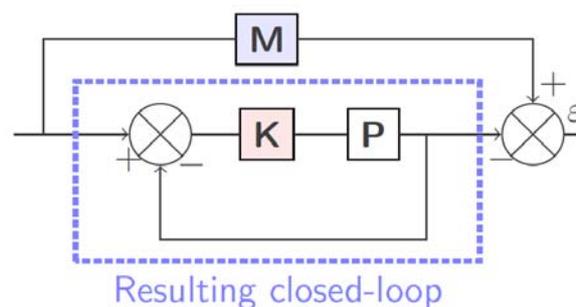


Illustration de l'approche data-driven : on cherche le contrôleur K qui réalise les performances définies par le transfert M , à partir des données entrées-sorties du système P (inconnu)

Estimer pour mieux commander et commander pour mieux estimer

Emilien FLAYAC

Thèse soutenue le 18 novembre 2019

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

Titre de la thèse

**Coupled Methods of Nonlinear Control and Estimation
Applicable to Terrain-Aided Navigation**

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Encadrants : Karim Dahia & Bruno Hérissé

Directeur de thèse : Frédéric Jean - ENSTA Paris

Financement

IDEX Paris-Saclay, Initiative Doctorale Interdisciplinaire (IDI) & ONERA

Défi scientifique

Systèmes
intelligents

www.onera.fr/pss

université
PARIS-SACLAY

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

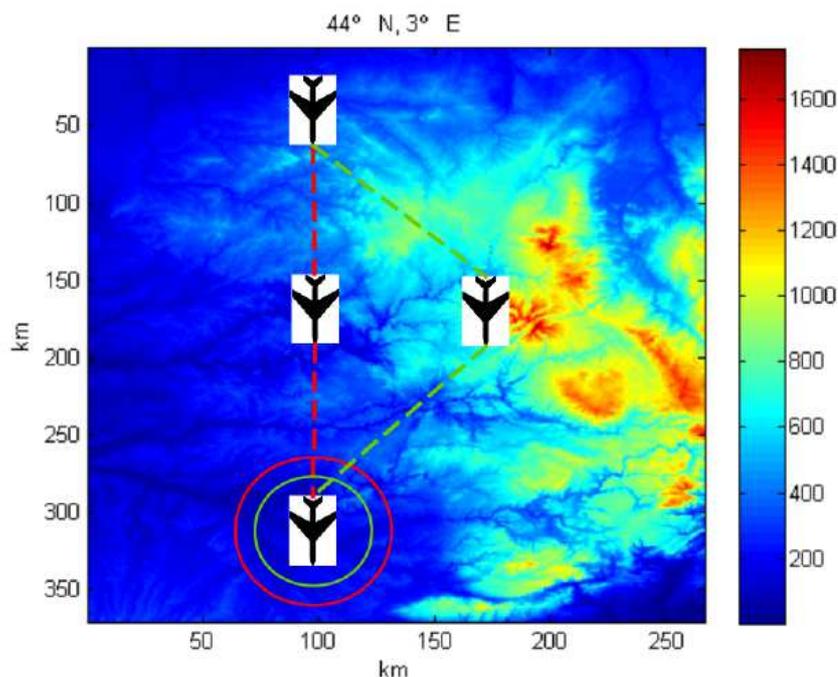


Contact : Karim.Dahia @ onera.fr

Résumé

During this PhD, the general problem of designing coupled control and estimation methods for nonlinear dynamical systems has been investigated. The main target application was terrain-aided navigation (TAN), where the problem is to guide and estimate the 3D position of a drone flying over a known area. In this application, it is assumed that the only available data are the speed of the system, a measurement of the difference between the absolute altitude of the drone and the altitude of the ground it is flying over and a map of the ground. TAN is a good example of a nonlinear application where the separation principle cannot be applied. Actually, the quality of the observations depends on the control and more precisely on the area that is flown over by the drone. Therefore, there is a need for coupled estimation and control methods. It is to be noted that the estimation problem created by TAN is in itself difficult to analyse and solve. In particular, the following topics have been treated:

- Nonlinear observer design and output-feedback control for TAN with analytical ground maps in a deterministic continuous-time framework.
- The joint modelling of nonlinear optimal filtering and discrete-time stochastic optimal control with imperfect information.
- The design of output-feedback Explicit dual stochastic MPC schemes coupled with a particle filter and their numerical implementation to TAN.



Example of trajectories of a UAV flying over a real terrain with a classic control (separation principle, in red) and the proposed method (coupled estimation and control, in green)

Mieux comprendre les interactions Homme-machine pour les optimiser

Aisha SAHAI

Thèse soutenue le 17 juillet 2019

Ecole doctorale : ED 158 (ED3C) - Cerveau-Cognition-Comportement - Paris

Titre de la thèse

**Agentivité conjointe lors des Interactions Homme-Machine :
comment concevoir des agents plus coopératifs ?**

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Directeurs de thèse : Elisabeth Pacherie - ENS
Ouriel Grynszpan - LIMSI
Bruno Berberian - ONERA

Financement

Agence Nationale de la Recherche (ANR)

Défi scientifique

Systèmes
intelligents

www.onera.fr/pss



Contact : Bruno.Berberian @ onera.fr

Résumé

A travers l'automatisation des systèmes, les mutations technologiques ont progressivement éloigné l'opérateur humain des actions et des effets générés par les machines. Ce phénomène de « sortie de boucle » a généré un ensemble de difficultés pour l'opérateur humain qui restent encore aujourd'hui difficile à appréhender et compenser. Au cours de cette thèse, nous avons proposé un cadre théorique, celui de l'Agentivité, permettant d'expliquer et de compenser ces difficultés. Le sens d'agentivité peut se définir comme le sentiment de contrôle de ses propres actions, et à travers elles, des événements de l'environnement extérieur. De manière intéressante, il a été montré qu'au cours des interactions purement humaines, les individus pouvaient ressentir un sens d'agentivité pour des actions et effets générés par autrui (ou « sens d'agentivité conjoint »). En revanche, la capacité à développer un sens d'agentivité conjoint et à se représenter les actions générées par un système artificiel automatisé semble altérée lors des interactions homme-machine. La première partie de la thèse a consisté à examiner finement les mécanismes sous-jacents de cette perte d'agentivité lors de tâches conjointes avec les systèmes automatisés, à la fois au niveau comportemental (Expérience 1) et au niveau cérébral (Expérience 2). En utilisant une tâche de Simon conjointe couplée à une tâche de liage intentionnel, nous avons montré que la capacité à développer un sens d'agentivité conjoint allait de pair avec la capacité de se représenter dans son propre système cognitif les actions générées par un partenaire. Nous avons également montré que ces deux processus étaient altérés lors de nos interactions avec une machine. La deuxième partie de la thèse visait à déterminer sur quelles propriétés de la machine il était possible d'agir pour créer un sens d'agentivité conjoint avec des systèmes artificiels automatisés. Premièrement, en utilisant une approche top-down, nous avons montré que l'apparence physique humanoïde d'une machine atténuait la perte d'agentivité classiquement reportée lors des interactions homme-machine (Expérience 3). Deuxièmement, en utilisant une approche bottom-up, nous avons montré que le sens d'agentivité conjoint était sensible aux informations sensorimotrices générées par des retours haptiques (Expérience 4). Les implications de nos résultats sont discutées au regard de la littérature sur l'Agentivité et de la problématique opérationnelle du phénomène de « sortie de boucle ».



Installations expérimentales où les participants effectuaient la tâche conjointe avec un autre humain (à gauche), le robot humanoïde (au centre) et le servomoteur (à droite)

Améliorer la modélisation des interactions entre les calculateurs et le réseau d'un système embarqué complexe pour optimiser son fonctionnement

Hugo DAIGMORTE

Thèse soutenue le 21 janvier 2019

Ecole doctorale : ED 475 (MITT) - Mathématiques Informatique

Télécommunications de Toulouse

Titre de la thèse

**Analyse des interactions entre flux synchrones
et flux asynchrones dans les réseaux temps réel**

Encadrement

Département Traitement de l'information et Systèmes (DTIS)

Directeur de thèse : Marc Boyer - ONERA

Financement

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

Défi scientifique

Systèmes
intelligents

www.onera.fr/pss



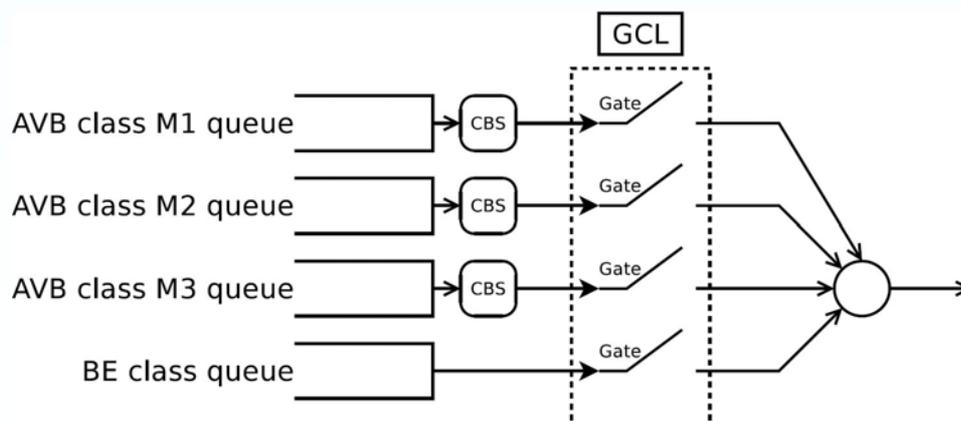
Université
de Toulouse

Contact : Marc.Boyer @ onera.fr

Résumé

Les systèmes embarqués complexes (avions, satellites, drones...) contiennent de plus en plus de calculateurs. Désormais ce sont des dizaines voire des centaines de calculateurs qui communiquent à travers un réseau partagé. Une fonction est réalisée par la collaboration d'un ensemble de calculateurs qui s'échangent un nombre croissant d'informations. Dans un contexte de temps réel embarqué, il faut non seulement garantir que ces informations échangées sont correctes mais il faut aussi garantir qu'elles vérifient leurs contraintes temporelles. Du point de vue du réseau cela signifie qu'une information doit être échangée en respectant les délais qui lui sont imposés. Ceci implique de pouvoir borner le temps de traversée du réseau de chaque message afin de vérifier qu'il arrive dans les temps. Or les systèmes embarqués étant de plus en plus complexes et le nombre d'informations échangées étant en constante augmentation, cette borne est de plus en plus difficile à calculer. De plus il est important que cette borne soit le moins pessimiste possible afin d'éviter que le système soit surdimensionné. L'objectif de ce travail est de mettre en place un modèle capable de calculer ces bornes. Afin d'y parvenir nous nous sommes basés sur la méthode d'analyse du Calcul Réseau. Ce travail s'est en particulier attardé sur la modélisation des interactions qui existent entre les messages synchrones et les messages asynchrones. Les modèles présentés dans ce manuscrit prennent en compte les dates d'émission sur le réseau des messages synchrones lors du calcul des bornes supérieures de temps de traversée des messages asynchrones. Les principales contributions apportées par ce manuscrit sont :

1. la présentation d'une nouvelle façon d'envisager l'utilisation des dates d'émission sur le bus CAN : la synchronisation faible. Ainsi que la modélisation complète d'un tel système et enfin l'évaluation du gain apporté par cette solution.
2. une modélisation complète du réseau TTEthernet permettant d'évaluer finement l'impact des flux synchrones sur le temps de traversée des flux asynchrones.
3. une présentation de l'utilisation de la synchronisation dans le réseau TSN ainsi qu'un modèle complet permettant d'analyser cette nouvelle technologie.



Architecture de référence d'un port de sortie TSN (Time Sensitive Networking)

Développer une méthode de vérification de la qualité d'un logiciel robotique

David CÔME

Thèse soutenue le 25 janvier 2019

Ecole doctorale : ED 475 (MITT) - Mathématiques Informatique

Télécommunications de Toulouse

Titre de la thèse

**Analyse de la qualité du code via une approche logique
et application à la robotique**

Encadrement

Département Traitement de l'information et Systèmes (DTIS)

Encadrants : David Doose & Julien Brunel - ONERA

Directrice de thèse : Virginie Wiels - ONERA

Financement

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

Défi scientifique

Systèmes
intelligents

www.onera.fr/pss

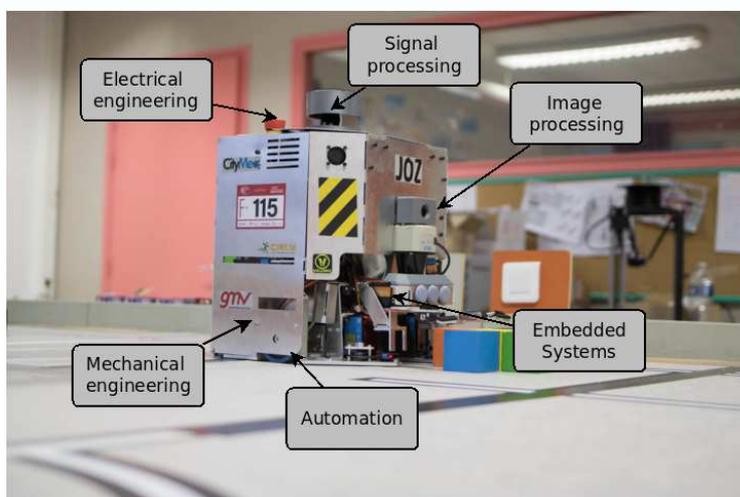


Contact : Julien.Brunel @ onera.fr

Résumé

La qualité d'un code informatique passe à la fois par sa correction fonctionnelle mais aussi par des critères de lisibilité, compréhension et maintenabilité. C'est une problématique actuellement importante en robotique où de nombreux frameworks open-source se diffusent mal dans l'industrie en raison d'incertitudes sur la qualité du code. Les outils d'analyse et de recherche de code sont efficaces pour améliorer ces aspects. Il est important qu'ils laissent l'utilisateur spécifier ce qu'il recherche afin de pouvoir prendre en compte les spécificités de chaque projet et du domaine. Il existe deux principales représentations du code : son arbre de syntaxe abstraite (Abstract Syntax Tree en anglais, ou AST) et le graphe de flot de contrôle (Control Flow Graph en anglais, ou CFG) des fonctions qui sont définies dans le code. Les mécanismes de spécification existants utilisent exclusivement l'une ou l'autre de ces représentations, ce qui est regrettable car elles offrent des informations complémentaires. L'objectif de ce travail est donc de développer une méthode de vérification de la conformité du code avec des règles utilisateurs qui puissent exploiter conjointement l'AST et le CFG. La méthode repose sur une nouvelle logique développée dans le cadre de ces travaux : FO++, qui est une extension temporelle de la logique du premier ordre. Cette logique a plusieurs avantages. Tout d'abord, elle est indépendante de tout langage de programmation et dotée d'une sémantique formelle. Ensuite, elle peut être utilisée comme moyen de formaliser les règles utilisateurs une fois instanciée pour un langage de programmation donné. Enfin, l'étude de son problème de model-checking offre un mécanisme de vérification automatique et correct de la conformité du code. Ces différents concepts ont été implémentés dans Pangolin, un outil pour le langage C++. Étant donné le code à vérifier et une spécification (qui correspond à une formule de FO++, écrite dans le langage utilisateur de Pangolin), l'outil indique si oui ou non le code respecte la spécification. Il offre de plus un résumé synthétique de l'évaluation pour pouvoir retrouver le potentiel code fautif ainsi qu'un certificat de correction du résultat. Pangolin et FO++ ont trouvé une première application dans le domaine de la robotique via l'analyse de la qualité des paquets ROS et la formalisation d'un design-pattern spécifique à ROS. Une seconde application plus générale concerne le développement de programmes en C++ avec la formalisation de diverses règles de bonnes pratiques pour ce langage. Enfin, on montre comment il est possible de spécifier et vérifier des règles intimement liées à un projet en vérifiant des propriétés sur Pangolin.

Un robot embarque une grande quantité de logiciels



Développer une couche logique syntaxique pour améliorer la spécification et la vérification des systèmes dans le langage formel Electrum

Jeanne MATIEDJE TAWA

Thèse soutenue le 4 octobre 2019

Ecole doctorale : ED 475 (MITT) - Mathématiques Informatique

Télécommunications de Toulouse

Titre de la thèse

**Extension événementielle d'une méthode formelle légère
et application à l'analyse du protocole distribué Chord**

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Directeurs de thèse : David Chemouil & Julien Brunel - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

Systemes
intelligents

www.onera.fr/pss



Université
de Toulouse



Contact : David.Chemouil @ onera.fr

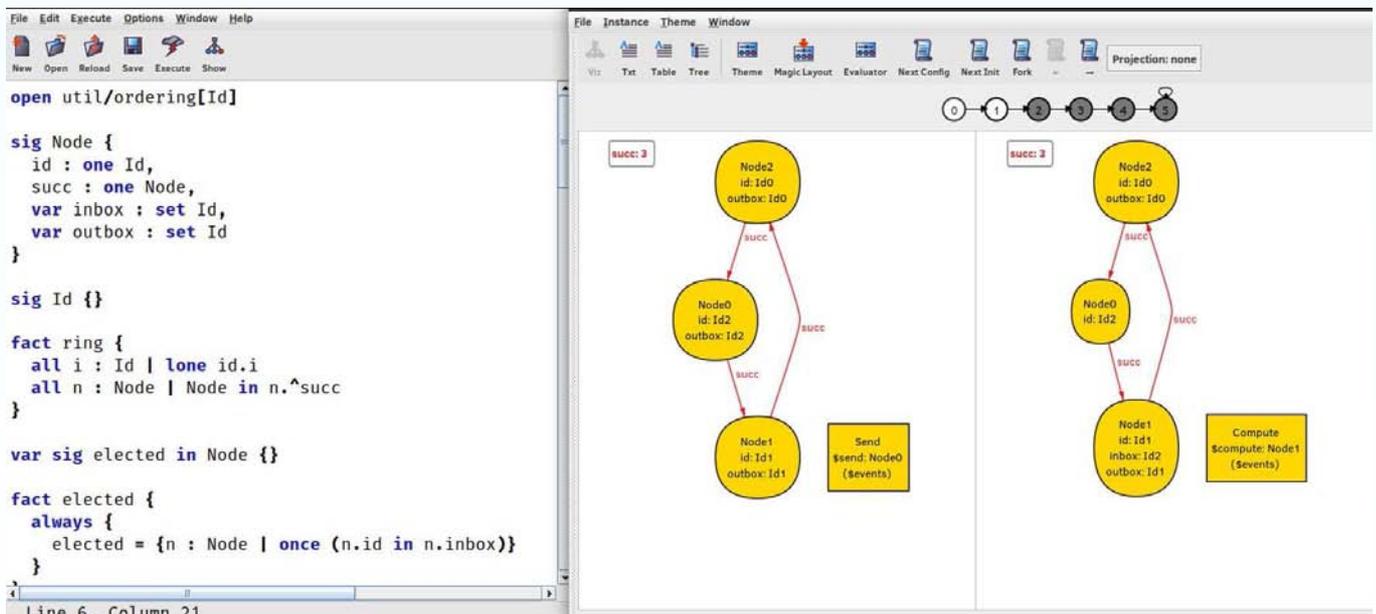
Extension événementielle d'une méthode formelle légère et application à l'analyse du protocole distribué Chord

Résumé

Cette thèse concerne l'utilisation de la logique du premier ordre et la logique temporelle linéaire pour la spécification et la vérification des systèmes dynamiques ayant des structures riches. Elle s'intéresse aussi à l'étude de la correction de l'algorithme de maintenance distribuée du protocole de recherche pair-à-pair Chord.

Le premier objectif est d'améliorer la spécification et la vérification des systèmes dans le langage formel Electrum (une extension dynamique du langage formel Alloy basée sur la logique du premier ordre temporelle linéaire). Pour ce faire, nous avons développé une couche syntaxique au-dessus d'Electrum dont l'objectif est de faciliter la spécification du comportement. Cette syntaxe permet de générer automatiquement une partie de la spécification du comportement. Elle permet également de réduire les erreurs de spécification en déchargeant les utilisateurs de certaines tâches ardues et propices aux erreurs.

Le second objectif est d'analyser formellement la correction de la propriété fondamentale de vivacité du protocole Chord. Pour ce faire nous avons spécifié le protocole au moyen de notre extension d'Electrum, puis nous avons analysé sa correction sur des modèles de taille bornée, ce qui a permis de trouver quelques "cas limites" que nous avons corrigés.



Electrum en action

Formaliser des cadres éthiques et définir formellement une situation de dilemme moral dans le cadre de l'aide à la décision "éthique" dans un système opérateur - machine autonome

Vincent BONNEMAINS

Thèse soutenue le 11 décembre 2019

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

Titre de la thèse

Formal Ethical Reasoning and Dilemma Identification in a Human-Artificial Agent System

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Directrices de thèse : Catherine Tessier & Claire Saurel - ONERA

Financement

Région Occitanie & ONERA

Défi scientifique

Systèmes
intelligents

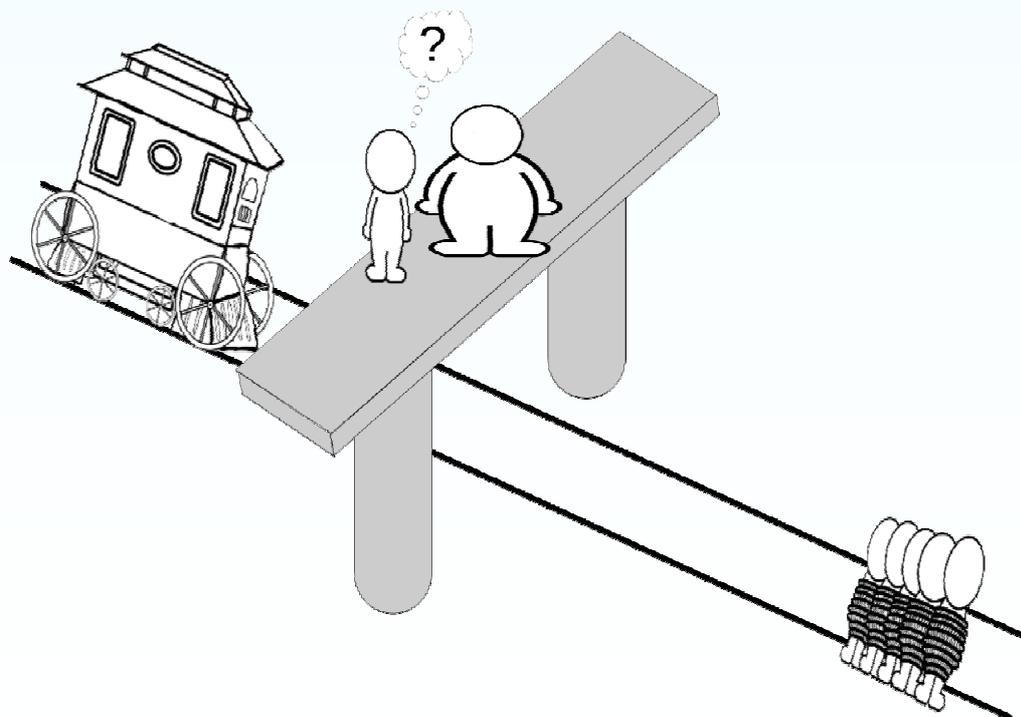
www.onera.fr/pss



Contact : Catherine.Tessier @ onera.fr

Résumé

This thesis comes within the scope of autonomous machines embedding ethical concepts in their reasoning. Overall, this work consists in proposing a formal reasoning allowing an artificial agent to judge decisions and justify its judgement, starting from philosophical concepts of ethics. This has been done through a situation model composed of states of the world, facts, decisions and events. Ethical frameworks of normative ethics have been formalized through rules to respect in order to judge a decision as "acceptable" or "unacceptable". Thanks to this formalism, a formal definition of a moral dilemma has been given in order to allow an artificial agent to identify a situation as such, based on dilemma properties coming from dilemma definitions of the literature formulated in natural language. This work of formalization has allowed the subjectivity sources as well as the factors of sensitivity of the model to be properly identified. A last chapter focuses on an experiment designed to study the influence an artificial agent embedding ethical reasoning may have on a human operator. The experiment reveals that most people are not influenced by the artificial agent's suggestions. Nevertheless, deontological people tend to be more influenced than consequentialist people.



A situation of moral dilemma

Développer une nouvelle méthodologie pour transformer une stratégie centralisée de patrouille multi-agents en stratégie distribuée

Mehdi OTHMANI-GUIBOURG

Thèse soutenue le 11 décembre 2019

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

Titre de la thèse

Supervised Learning for Distribution of Centralised Multiagent Patrolling Strategies

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Directeurs de thèse : Amal El-Fallah-Seghrouchni - Sorbonne Université
Jean-Loup Farges - ONERA

Financement

ONERA

Défi scientifique

Systèmes
intelligents

www.onera.fr/pss



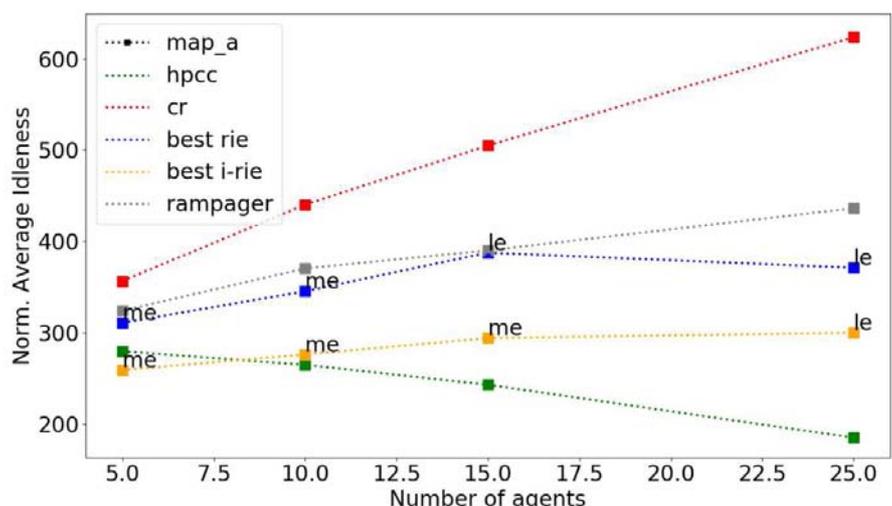
Contact : Jean-Loup.Farges @ onera.fr

Résumé

For nearly two decades, patrolling has received significant attention from the multiagent community. Multiagent patrolling (MAP) consists in modelling a patrol task to optimise as a multiagent system. The problem of optimising a patrol task is to distribute the most efficiently agents over the area to patrol in space and time, which constitutes a decision-making problem. A range of algorithms based on reactive, cognitive, reinforcement learning, centralised and decentralised strategies, amongst others, have been developed to make such a task ever more efficient. However, the existing patrolling-specific approaches based on supervised learning were still at preliminary stages, although a few works addressed this issue. Central to supervised learning, which is a set of methods and tools that allow inferring new knowledge, is the idea of learning a function mapping any input to an output from a sample of data composed of input-output pairs; learning, in this case, enables the system to generalise to new data never observed before.

Until now, the best online MAP strategy, namely without precalculation, has turned out to be a centralised strategy with a coordinator. However, as for any centralised decision process in general, such a strategy is hardly scalable. The purpose of this work is then to develop and implement a new methodology aiming at turning any high-performance centralised strategy into a distributed strategy. Indeed, distributed strategies are by design resilient, more adaptive to changes in the environment, and scalable. In doing so, the centralised decision process, generally represented in MAP by a coordinator, is distributed into patrolling agents by means of supervised learning methods, so that each agent of the resultant distributed strategy tends to capture a part of the algorithm executed by the centralised decision process.

The outcome is a new distributed decision-making algorithm based on machine learning. In this dissertation therefore, such a procedure of distribution of centralised strategy is established, then concretely implemented using some artificial neural networks architectures.



Performance of strategies on the benchmark topology map A - hpcc: the best state of the art centralized strategy - cr: a state of the art decentralized strategy - rampager: a decentralized strategy based on learning decision sequences - best rie: a decentralized strategy based on learning relation between agent state and global state - best i-rie: a distributed strategy based on rie and allowing opportunistic interaction between agents

Développer un nouvel algorithme pour améliorer la sûreté et l'efficacité de l'utilisation de drones autonomes dans des milieux urbains

Jean-Alexis DELAMER

Thèse soutenue le 1er octobre 2019

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

Titre de la thèse

**Planification de stratégies de navigation et de guidage
pour des drones autonomes dans des milieux encombrés**

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Directrices de thèse : Caroline Chanel - ISAE-SUPAERO

Yoko Watanabe - ONERA

Financement

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

Défi scientifique

Systèmes
intelligents

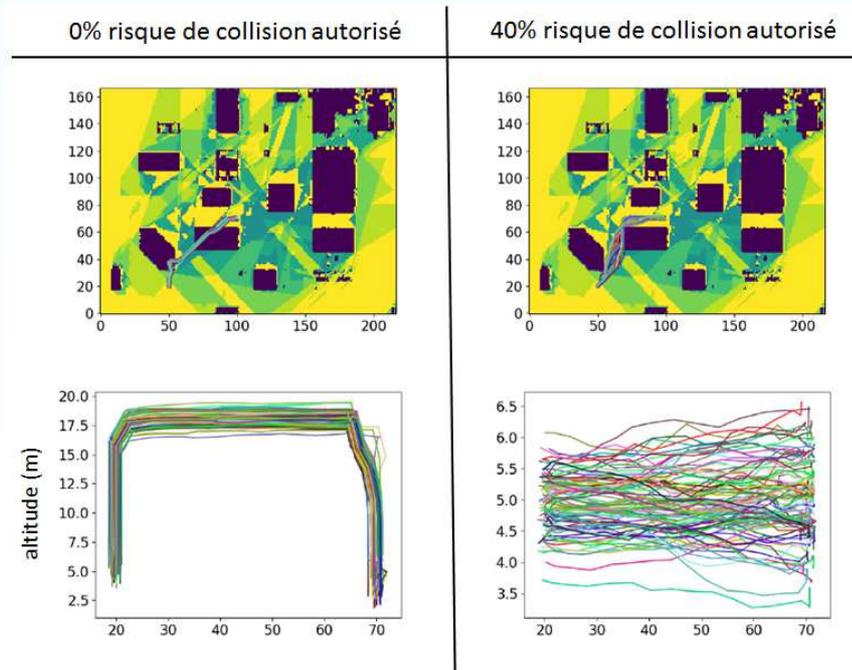
www.onera.fr/pss



Contact : [Yoko.Watanabe @ onera.fr](mailto:Yoko.Watanabe@onera.fr)

Résumé

Avec la demande croissante pour l'utilisation de drones autonomes dans des milieux urbains, la sûreté et l'efficacité de ces missions doivent être garanties. D'une part, il est connu que dans ces milieux la haute densité d'obstacles peut mettre en péril le vol en cas de collision. D'autre part, la capacité de navigation - estimation de la position et par conséquent l'erreur d'exécution - de ces drones dépend de la disponibilité et de la performance de leurs capteurs embarqués qui varient selon l'environnement. Dans ce contexte, cette thèse propose un cadre de planification de chemin sûr et efficace pour des drones en milieux encombrés. Nous avons fondé notre travail sur les Processus Décisionnel de Markov à Observabilité Mixte (MOMDP), car ils permettent de modéliser des processus décisionnels à long terme tout en prenant en compte l'incertitude sur l'environnement et son observabilité mixte. Nous proposons une modélisation du problème de planification qui intègre le système de guidage, navigation et contrôle (GNC), afin de mieux représenter la dynamique de la transition d'état pour un drone, ainsi que l'erreur d'exécution associée. La disponibilité probable, connue a priori, des capteurs embarqués, est aussi considérée dans le modèle. Afin d'assurer les contraintes de sûreté, nous proposons une fonction de coût qui nous permet de raisonner en termes de taux de collision maximal à respecter. Ceci permet au planificateur de définir des politiques qui sont à la fois efficaces - minimisation du temps de vol - et sûres, par le choix des chemins qui favorisent le respect du taux de collision maximal défini. De plus, dus à la complexité du problème de planification, nous proposons un nouvel algorithme de résolution "POMCP-GO", qui est basé sur deux algorithmes de l'état de l'art. Nous avons exhaustivement évalué cet algorithme pour notre cadre d'application.



Les résultats de la planification de chemin pour un drone en milieu urbain en considérant la carte de dégradation de précision GPS. Le drone survole le bâtiment pour assurer la disponibilité GPS quand aucun risque de collision n'est autorisé (gauche). Il navigue entre les bâtiments pour gagner le temps de vol quand un certain taux de risque est autorisé (droite)

Développer une nouvelle méthode pour optimiser la vérification formelle des logiciels critiques

Viet Hoang LE

Thèse soutenue le 11 juillet 2019

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

Titre de la thèse

Une couverture combinant tests et preuves pour la vérification formelle

Encadrement

Département Traitement de l'information et Systèmes (DTIS)

Directeurs de thèse : Julien Signoles - CEA-LIST
Virginie Wiels - ONERA

Financement

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

Défi scientifique

Systèmes
intelligents

www.onera.fr/pss



Université
de Toulouse



Contact : Virginie.Wiels@onera.fr

Résumé

L'utilisation combinée du test et de la preuve est rendue difficile par l'absence d'une notion de couverture commune. Cette couverture est nécessaire pour rendre compte de la qualité de la vérification effectuée. Elle est d'ailleurs un objectif incontournable des standards de certification du logiciel dans les domaines critiques tels que l'aéronautique. La thèse vise à résoudre ce problème en proposant une nouvelle notion de couverture, adaptée aussi bien pour le test que pour la preuve. Elle fournit aussi une méthode d'interprétation qui permet d'optimiser le pilotage d'une campagne de vérification et une plateforme qui réalise automatiquement la vérification et construit la matrice de couverture. La méthode d'interprétation a été implémentée comme un prototype au sein de la plateforme de vérification Frama-C.

	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	Consolidation Label
Lerror1	P✓	PX		PX	PX	✓								
Lerror2	PX	P✓	PX		PX	PX	✓							
Lerror3	PX	PX	P✓	PX		PX	PX	✓						
Lerror4	PX	PX	PX	P✓	PX	PX	PX	PX	PX	PX		PX	PX	✓
Lerror5	PX	PX	PX	PX	P✓	PX	PX	PX	PX	PX		PX	PX	✓
Lerror6	PX	PX	PX	PX	PX	P✓	PX	PX	PX	PX		PX	PX	✓
Lerror7	PX	PX	PX	PX	PX	PX	P✓	PX	PX	PX		PX	PX	✓
Llow1	PX	P✓	PX		PX	PX	✓							
Llow2	PX	P✓	PX		PX	PX	✓							
Lhigh	PX	P✓		PX	PX	✓								
Lmedium	PX	T✓	PX	PX	✓									
Lvalidity	PX	T?	P✓	P?	✓									
Lok	PX	P✓	PX	PX	T?	PX	PX	✓						
Consolidation Specification	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	T	P	?	

Matrice de couverture montrant la technique employée (preuve ou test) pour vérifier une spécification S en couvrant un point de programme L

Développer une nouvelle méthode d'évaluation de l'état de santé d'un moteur fusée en temps réel pour améliorer sa fiabilité en cas de panne mineure

Camille SAROTTE

Thèse soutenue le 3 octobre 2019

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

Titre de la thèse

Improvement of Monitoring and Reconfiguration Processes for Liquid Propellant Rocket Engines

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Encadrant : Julien Marzat - ONERA

Directrice de thèse : Hélène Piet-Lahanier - ONERA

Financement

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) & ONERA

Défi scientifique

La propulsion dans
toute sa complexité

www.onera.fr/pss



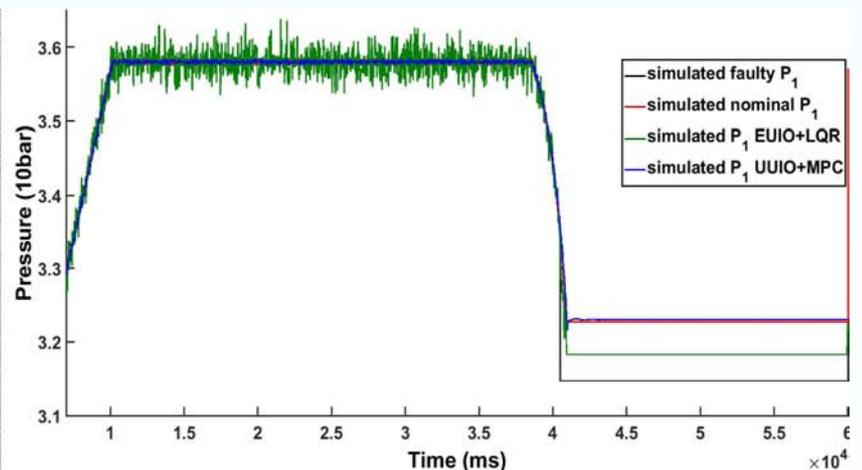
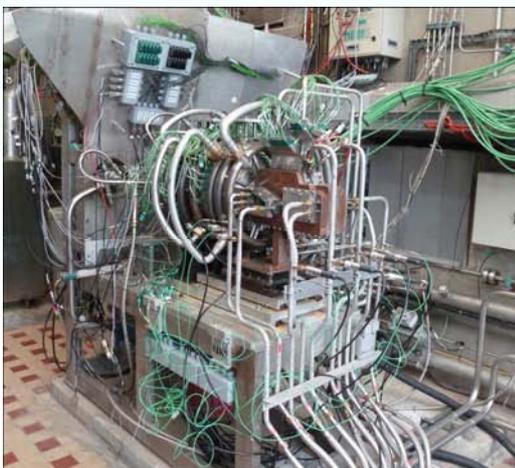
université
PARIS-SACLAY



Contact : Julien.Marzat @ onera.fr

Résumé

The monitoring and optimization of rocket engines are major challenges in the aerospace industry. In order to facilitate access to space, it is necessary to ensure the reliability, safety and economic efficiency of space flights. Indeed, an engine failure or malfunction can have considerable repercussions both on the societal and environmental level as well as for institutional or private clients. To this end, methods to evaluate the health of the engine in real time have been developed and improved. The three topics covered in this thesis are therefore the representation using physical models of the engine's health status, the development of failure detection and localization methods, and the development of methods to reconfigure the engine. The purpose of the reconfiguration is to allow the engine to operate properly despite a minor failure. These methods were then validated using numerical and real data provided by simulation software (CNES CARINS) and an engine test bench (ONERA/CNES MASCOTTE).



Model-based detection and reconfiguration of an actuator fault on cryogenic engine test-bench MASCOTTE

Estimer la profondeur à partir d'une seule image par réseaux de neurones

Distinction

Prix du Meilleur Article
au congrès RFIAP
(2018)

Marcela PINHEIRO DE CARVALHO

Thèse soutenue le 25 novembre 2019

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

Titre de la thèse

Apprentissage de profondeur par flou de défocalisation :
réseaux de neurones pour l'estimation de la profondeur
mono-image

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Encadrants : Bertrand Le Saux & Pauline Trouvé-Peloux - ONERA

Directeurs de thèse : Frédéric Champagnat - ONERA

Andrés Almansa - Université Paris-Descartes

Financement

ONERA

Défi scientifique

Perception
artificielle
multimodale

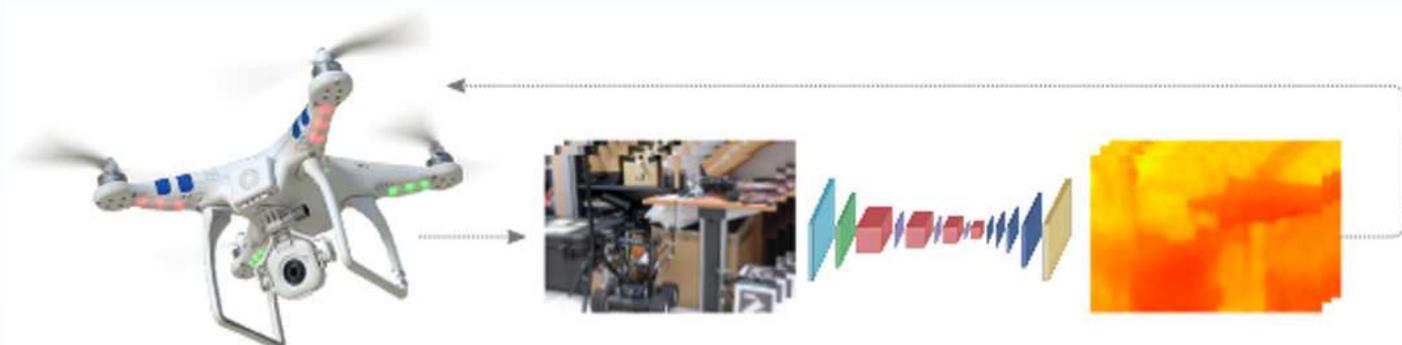
www.onera.fr/pss



Contact : [Frederic.Champagnat @ onera.fr](mailto:Frederic.Champagnat@onera.fr)

Résumé

L'estimation de profondeur à partir d'une seule image est maintenant cruciale pour plusieurs applications, de la robotique à la réalité virtuelle. Les approches par apprentissage profond dans les tâches de vision par ordinateur telles que la reconnaissance et la classification d'objets ont également apporté des améliorations au domaine de l'estimation de profondeur. Dans cette thèse, nous développons des méthodes pour l'estimation de profondeur avec un réseau de neurones profond en explorant différents indices, tels que le flou de défocalisation et la sémantique. Nous menons également plusieurs expériences pour comprendre la contribution de chaque indice à la performance du modèle et sa capacité de généralisation. Dans un premier temps, nous proposons un réseau de neurones convolutif efficace pour l'estimation de la profondeur ainsi qu'une stratégie d'entraînement basée sur les réseaux génératifs adversaires conditionnels. Notre méthode permet d'obtenir des performances parmi les meilleures sur les jeux de données de référence. Ensuite, nous proposons d'explorer le flou de défocalisation, une information optique fondamentalement liée à la profondeur. Nous montrons que ces modèles sont capables d'apprendre et d'utiliser implicitement cette information pour améliorer les performances et dépasser les limitations connues des approches classiques d'estimation de la profondeur par flou de défocalisation. Nous construisons également une nouvelle base de données avec des images réelles focalisées et défocalisées que nous utilisons pour valider notre approche. Enfin, nous explorons l'utilisation de l'information sémantique, qui apporte une information contextuelle riche, en apprenant à la prédire conjointement avec la profondeur par une approche multi-tâche. Nous démontrons la validité des concepts proposés avec plusieurs jeux de données contenant des images en intérieur, en extérieur et aériennes.



Perception 3D directe par Depth from Defocus et Réseaux de neurones

Développer une méthode de localisation et de cartographie 3D en temps réel utilisant des capteurs peu coûteux pour des petits robots sous-marins

Distinction

Prix doctorant ONERA
(2019)

Maxime FERRERA

Thèse soutenue le 12 décembre 2019

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

Titre de la thèse

**Monocular Visual-Inertial-Pressure Fusion for Underwater
Localization and 3D Mapping**

Encadrement

Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS)

Encadrants : Julien Moras & Pauline Trouvé-Peloux - ONERA

Directeur de thèse : Vincent Creuze - Université de Montpellier

Financement

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

Défi scientifique

Perception
artificielle
multimodale

www.onera.fr/pss



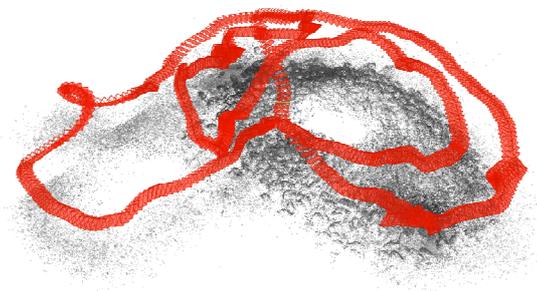
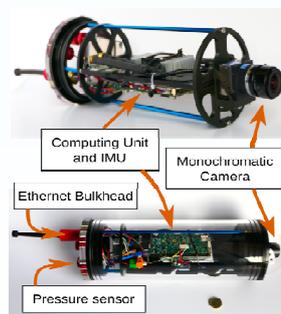
Contact : Julien.Moras @ onera.fr

Résumé

This thesis addresses the problem of real-time 3D localization and mapping in underwater environments. In the underwater archaeology field, Remotely Operated Vehicles (ROVs) are used to conduct deep-sea surveys and excavations. Providing both accurate localization and mapping information in real-time is crucial for manual or automated operation of the robots. While many localization solutions already exist for underwater robots, most of them rely on very accurate sensors, such as Doppler velocity logs or fiber optic gyroscopes, which are very expensive and may be too bulky for small ROVs. Acoustic positioning systems are also commonly used for underwater positioning, but they provide low frequency measurements, with limited accuracy.

In this thesis, we study the use of low-cost sensors for accurate underwater localization. Our study investigates the use of a monocular camera, a pressure sensor and a low-cost MEMS-IMU as the only means of performing localization and mapping in the context of underwater archaeology.

We have conducted an evaluation of different features tracking methods on images affected by typical disturbances met in an underwater context. From the results obtained with this evaluation, we have developed a monocular Visual SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) method, robust to the specific disturbances of underwater environments. Then, we propose an extension of this method to tightly integrate the measurements of a pressure sensor and an IMU in the SLAM algorithm. The final method provides a very accurate localization and runs in real-time. In addition, an online dense 3D reconstruction module, compliant with a monocular setup, is also proposed. Two lightweight and compact prototypes of this system have been designed and used to record datasets that have been publicly released. Furthermore, these prototypes have been successfully used to test and validate the proposed localization and mapping algorithms in real-case scenarios.



*Autonomous vision-pressure-inertial based localization system for underwater ROV.
(left: underwater ROV, middle: the localization system,
right: example of trajectory computed online)*

Habilitations à Diriger des Recherches soutenues en 2019

FÈVRE Mathieu - Modélisations et caractérisations d'alliages et de nanoparticules d'alliages.....	200
MARCADON Vincent - Comportement mécanique des architectures cellulaires – du matériau à la structure.....	202
LESIRE-CABANIOLS Charles - Architectures délibératives pour la robotique autonome – des algorithmes au logiciel embarqué.....	204
BOUCHON Patrick - Compréhension et conception de nanoantennes et dispositifs nanophotoniques.....	206
SANTINELLI Luca - Mixed Criticality Modeling and Analysis Paradigms for Real-Time Embedded Systems.....	208
POUSSOT-VASSAL Charles - Large-scale Dynamical Model Approximation and its Applications.	210
POLACSEK Thomas - Vérification, validation, certification : approches formelles et informelles pour établir la correction des artefacts et des logiciels.....	212
TRONTIN Pierre - Contribution au développement de modèles et de méthodes numériques adaptés à la mécanique des fluides et au givrage.....	214
MARZAT Julien - Contributions en commande et estimation pour robots autonomes et systèmes aérospatiaux.....	216
DRUART Guillaume - Approche frugale pour la conception de caméras infrarouges.....	218
BARTOLI Nathalie - Optimisation adaptative basée sur les métamodèles.....	220
LE SAUX Bertrand - Modèles d'apprentissage machine pour la compréhension de scènes.....	222

Mathieu FÈVRE

HDR soutenue le 29 janvier 2019

Université Paris-Saclay

Spécialité : Physique

**Modélisations et caractérisations d'alliages
et de nanoparticules d'alliages**

Composition du jury

Pascal ANDREAZZA

Alexis DESCHAMPS

Alphonse FINEL

Philippe GOUDEAU

Christine MOTTET

Sylvain RAVY

Maître de Conférence, ICMN

Professeur des Universités, SIMAP

Directeur de Recherche, ONERA

Directeur de Recherche, INSTITUT P'

Directrice de Recherche, CINAM

Directeur de Recherche, LPS

Résumé

Les travaux de recherches exposés sont structurés autour de deux thèmes. Le premier concerne la thermodynamique d'équilibre d'alliages et de nanoalliages. Il traite des développements d'outils de physique statistique et de mesures de diffraction de rayons X et de neutrons pour la compréhension et la caractérisation des transitions de phase. Le second concerne la détermination de contraintes résiduelles dans des superalliages à base de nickel en lien avec l'influence du grenailage de précontrainte sur leurs propriétés en fatigue. Le point commun à ces deux thèmes est l'utilisation d'approches atomiques de manière numérique ou expérimentale afin d'appréhender la complexité de matériaux utilisés à une plus grande échelle dans des dispositifs spécifiques, de quantifier des grandeurs intrinsèques souvent difficiles à mesurer de manière systématique et de dégager des tendances permettant l'optimisation et le développement de systèmes plus performants. Ces travaux montrent l'intérêt du dialogue essais-calculs dans le cadre de la prise en compte des contraintes résiduelles de grenailage dans la modélisation de la durée de vie de superalliages. Le mémoire traite de la stabilité thermodynamique d'alliages massifs et de nanomatériaux dans lesquels le comportement des interfaces (fluctuations, épaisseur) joue un rôle très important. Les perspectives de ces recherches montrent que les approches atomiques peuvent aussi être un maillon essentiel du changement d'échelle afin de développer des modèles mésoscopiques plus physiquement justifiés.

Vincent MARCADON

HDR soutenue le 3 avril 2019

Université Paris-Saclay

Spécialité : Physique

**Comportement mécanique des architectures cellulaires
– du matériau à la structure**

Composition du jury

Nicolas AUFFRAY	LMSME - UPE Marne-la-Vallée
Rémy DENDIEVEL	SIMAP - INP Grenoble
Thomas PARDOEN	IMMC - UC Louvain
Clotilde BERDIN	ICMMO - UPS Saclay
Dominique POQUILLON	CIRIMAT - ENSIACET Toulouse
Pierre GILORMINI	PIMM - Arts et Métiers Paris Tech
Serge KRUCH	DMAS - ONERA

Résumé

Les architectures cellulaires représentent une vaste famille de matériaux constitués de cellules, pouvant être arrangées de façon périodique ou non, et dont les représentantes les plus connues sont sans doute les structures en nids d'abeilles. Ces architectures, parmi lesquelles on peut aussi mentionner les mousses métalliques ou polymères, différents empilements de tubes, de sphères creuses, et bien d'autres architectures encore, présentent des densités très faibles grâce aux fractions volumiques de vide élevées dans les cellules qui les constituent. Cela en fait donc des candidats très intéressants pour le développement de structures légères dans les aéronefs, présentant de plus de bonnes capacités d'absorption d'énergie mécanique en cas de chocs, entre autres applications.

Les architectures cellulaires se caractérisent aussi par le fait qu'elles sont à mi-chemin entre le matériau et la structure, et que les mécanismes qui régissent leur comportement proviennent de ces différentes échelles. Qui plus est, l'hypothèse de séparabilité de ces échelles est rarement vérifiée, c'est-à-dire que les longueurs caractéristiques des microstructures des matériaux constitutifs des parois des cellules ne sont pas forcément très petites devant l'épaisseur desdites parois, ou que la taille des cellules elle-même peut être du même ordre de grandeur que les dimensions de la structure finale.

Au cours des travaux qui ont été réalisés, l'accent a donc été mis sur la compréhension des contributions respectives de ces différents mécanismes, observés aux différentes échelles caractéristiques, sur le comportement mécanique effectif de telles architectures cellulaires. Ainsi, le rôle du comportement du matériau constitutif des parois des cellules a été étudié, à température ambiante comme à chaud, en lien avec les procédés d'élaboration et la microstructure. L'influence de la géométrie des cellules ou de la présence de défauts d'architecture ont aussi été investiguées. Un effort important a porté sur l'analyse du comportement en compression de ces architectures, en particulier aux forts taux d'écrasement pour lesquels sont observées de nombreuses sources de non-linéarité, en plus de celle issue du comportement du matériau constitutif. On peut citer l'apparition de contact intra-empilement et d'instabilités résultant de flambements locaux des parois des cellules. La dernière problématique abordée a concerné l'identification de milieux homogènes équivalents des architectures cellulaires et leur possible utilisation en calcul de structure. Ces travaux ont accordé beaucoup d'importance à l'étude des mécanismes de plasticité impliqués dans la déformation des cellules, sources de la dissipation d'énergie mécanique recherchée.

Charles LESIRE-CABANIOLS

HDR soutenue le 4 avril 2019

INP Toulouse ENSEEIHT

**Architectures délibératives pour la robotique autonome -
des algorithmes au logiciel embarqué**

Composition du jury

Jean-Philippe BABAU	Professeur – Université de Bretagne Occidentale
Noury BOURAQADI	Professeur – Institut Mines-Telecom de Douai
Didier CRESTANI	Professeur – Université de Montpellier
Félix INGRAND	Chargé de Recherche – LAAS/CNRS
Simon LACROIX	Directeur de Recherche – LAAS/CNRS
Olivier SIMONIN	Professeur – INSA de Lyon
Catherine TESSIER	Maître de Recherche – ONERA



Résumé

Un système robotique autonome repose sur de nombreuses fonctions, de perception, d'actionnement, de commande. L'autonomie nécessite de plus des processus de délibération qui reposent sur : la compréhension de l'environnement, le raisonnement sur les objectifs pertinents à réaliser, la planification des activités à réaliser pour atteindre ces objectifs, l'exécution de ces activités en lien avec les capacités du système robotique. Ces travaux se concentrent sur des aspects architecturaux : comment mettre en œuvre et intégrer ces différentes fonctions pour concevoir un système robotique autonome ? Les modèles et formalismes développés sur ces aspects ont mené aux trois principales contributions suivantes : un environnement logiciel, MAUVE, pour programmer des systèmes robotiques ; un méta-planificateur, AMPLE, pour intégrer la résolution de problèmes de planification complexes en ligne ; et l'intégration d'algorithmes de planification pour des systèmes multi-robots avec problèmes de communication.

Les perspectives de recherche visées poursuivent les travaux sur l'intégration de la planification et de l'exécution d'activités, en s'intéressant notamment aux garanties que l'on peut apporter sur le comportement du système robotique, à la fois en étudiant des propriétés qui peuvent être garanties a priori sur le système, et également en fournissant des mécanismes permettant au système d'être robuste à des défaillances survenant lors de sa mission.

Patrick BOUCHON

HDR soutenue le 12 avril 2019

Université Paris-Saclay

Spécialité : Physique

**Compréhension et conception de nanoantennes
et dispositifs nanophotoniques**

Composition du jury

Nicolas BONOD	Institut Fresnel
Alexandre BOUHELIER	Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne
Béatrice DAGENS	Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies
Yannick De WILDE	Institut Langevin
Sara DUCCI	Laboratoire Matériaux et Phénomènes Quantiques
Jean-Jacques GREFFET	Institut d'Optique
Riad HAÏDAR	ONERA

Résumé

La structuration de la matière à l'échelle sub-longueur d'onde permet un contrôle accru de la lumière, qui peut se traduire par un surconfinement de l'onde électromagnétique menant à l'exaltation d'interactions lumière-matière, ouvrant des applications dans des domaines variés comme la détection infrarouge, l'exaltation d'effets non-linéaires, les sources thermiques ou la spectroscopie de molécules. Une voie prometteuse pour manipuler le confinement et la manipulation de la lumière est d'utiliser des nano-résonateurs plasmoniques, permettant d'offrir une sélectivité spectrale ou en polarisation aux différents phénomènes étudiés.

La compréhension des phénomènes résonants dans ces nano-résonateurs et leurs utilisations pour des dispositifs nanophotoniques infrarouge est au centre de ces travaux. Elle nécessite l'utilisation ou le développement d'outils de modélisation, de fabrication et de caractérisation. Le mémoire traite des différentes approches sur deux grandes familles de nano-résonateurs (nano-Fabry-Perot et Helmholtz optique) et sur les descriptions analytiques permises par une analyse fine des mécanismes physiques en jeu.

Il est possible de concevoir des dispositifs qui vont faire de la conversion de fréquence au sein d'un résonateur, soit par un processus d'optique non linéaire, soit par un processus thermique, en utilisant des nano-Fabry-Perot. Les nano-résonateurs de Helmholtz permettent d'exalter la signature infrarouge de molécules, et de concevoir un capteur sensible et spécifique.

Luca SANTINELLI

HDR soutenue le 20 mai 2019
INP Toulouse ENSEEIHT

**Mixed Criticality Modeling and Analysis Paradigms
for Real-Time Embedded Systems**

Composition du jury

Isabelle PUAUT	Professeur - Université de Rennes I
Alan BURNS	Professeur - University of York
Joel GOOSSENS	Professeur - Université Libre de Bruxelles
Luis ALMEIDA	Professeur - Universidade do Porto
Laurent GEORGE	Professeur - ESIEE
Yves SOREL	Directeur de recherche - INRIA
Christian FRABOUL	Professeur - INP ENSEEIHT



Résumé

This manuscript motivates and details the research project chosen for investigating today's and future real-time embedded systems. In it, the research activities as well as the research perspectives are described in order to outline project challenges, achievements already made, and future works. As research project, it has been chosen to investigate mixed criticality real-time embedded systems. In few words, the project aims at guaranteeing timing constraint and schedulability of applications with different requirements/criticality that are running together. Mixing criticality tries to reconcile efficient resource usage and safety assurance, thus it is critical with today's and future multi-core and many-core implementations for real-time embedded systems. It is a complex problem and has some interesting open problems that requires to be studied.

The project is presented with respect to works already made, and more importantly with perspectives that will be elaborated with future achievements. Previous research on non-mixed critical real-time embedded systems for timing analysis and schedulability analysis is also described; it is background work for mixed criticality achievements.

The research project is the results of the twofold motivation from professional as well as academic experience made on real-time embedded systems. In it, both academic and industrial perspectives to mixed criticality are considered with solutions that will benefit both. The achievements will continue to come from research and technology transfer projects, from the collaborations with academic and industrial partners, and from the supervision of PhD as well as Master students

Charles POUSSOT-VASSAL

HDR soutenue le 12 juillet 2019
Université Toulouse III - Paul Sabatier

**Large-Scale Dynamical Model Approximation
and its Applications**

Composition du jury

Athanasios ANTOULAS	Professeur, RICE University
Pierre APKARIAN	Directeur de Recherche, ONERA
Germain GARCIA	Professeur, INSA Toulouse et LAAS
Sara GRUNDEL	Docteur, Max Planck Institute
Martine OLIVI	Chargée de Recherche, INRIA
Christophe PRIEUR	Directeur de Recherche, GIPSA-lab
Karen WILLCOX	Professeur, University of Texas



Université
de Toulouse



Résumé

Linear dynamical models play an important role in many engineering fields, including simulation, analysis, optimization and control of complex systems and processes. This role is even emphasized when critical systems (motivated by industrial, economical, societal and strategical reasons) are under consideration, and for which a deep attention and understanding are needed.

Indeed, for these cases, digital-based modelling solutions involving dedicated computer-based softwares are being developed and largely preferred by engineers and researchers to reduce development costs and time, to improve and to better understand the systems under consideration. These systems being largely grounded on accurate complex and large-scale dynamical models are not well tailored to standard numerical tools and computationally demanding. Their approximation by an (accurate) low complexity dynamical model is then a cornerstone for further advanced developments.

This work focusses on this last point, and more specifically, the linear large-scale (and infinite dimensional) dynamical model approximation. Theoretical contributions accompagnied with industrial applications, illustrating the wide application spectrum of this research field, are presented. More specifically, the interpolatory framework, tailored to a large variety of dynamical model structures and classes, is the main invoked tool. Some side effects of the main purpose of dynamical model approximation, such as the approximation of the input-output stability regions of a class of meromorphic functions are also presented, highlighting the effectiveness and versatility of the methods developed within this research field.

Thomas POLACSEK

HDR soutenue le 9 septembre 2019
Université Toulouse III - Paul Sabatier

**Vérification, validation, certification : approches formelles
et informelles pour établir la correction des artefacts
et des logiciels**

Composition du jury

Régine LALEAU	Professeure, Université Paris-Est Créteil
Daniel Le BERRE	Professeur, Université d'Artois
Lionel SEINTURIER	Professeur, Université de Lille
Florence SÈDES	Professeure, Université de Toulouse
Philippe BESNARD	Directeur de Recherche CNRS, IRIT
Mireille BLAY-FORNARINO	Professeure, Université de Nice
Óscar PASTOR	Professeur, Université de Valencia
Claude CUILLER	Ingénieur, Airbus



Université
de Toulouse



Résumé

Les opérations de Vérification et de Validation sont assez intimement liées à l'informatique et à la simulation numérique. Réalisées au plus tôt, elles permettent de s'assurer qu'un objet, un artefact, est correctement construit et évitent de découvrir seulement au moment de l'utilisation que celui-ci ne correspond pas aux attentes voire est défectueux. Un exemple fréquemment donné concernant une erreur non détectée à la conception est celui de la sonde spatiale Mariner 1 détruite en vol suite à une défaillance des commandes de guidage.

Ces travaux sont relatifs à diverses méthodes permettant d'établir la correction des artefacts. Ces méthodes peuvent se classer en deux catégories avec, premièrement, ce qui relève de la preuve formelle et, deuxièmement, ce qui relève d'un processus argumentatif plus informel. Les méthodes formelles consistent à construire des preuves mathématiques, et ce, généralement, au moyen d'un ordinateur. En ce sens, même si elle s'en est largement émancipée, la preuve formelle s'inscrit dans la lignée de l'intelligence artificielle. Pour leur part, les méthodes informelles relèvent plus d'une démarche discursive s'inscrivant dans le cadre de l'étude du bien-fondé d'une argumentation.

Pierre TRONTIN

HDR soutenue le 24 septembre 2019
Université Toulouse III - Paul Sabatier
Spécialité : Dynamique des fluides

**Contribution au développement de modèles
et de méthodes numériques adaptés
à la mécanique des fluides et au givrage**

Composition du jury

Eric LAURENDEAU	Professeur, Ecole Polytechnique de Montréal
Christian RUYER-QUIL	Professeur, Université de Savoie Technolac
Pierre LUBIN	Professeur, ENSCBP
Stéphane ZALESKI	Professeur, Université Pierre et Marie Curie
Cameron TROPEA	Professeur, Université de Darmstadt
Dominique LEGENDRE	Professeur, IMFT
Héloïse BEAUGENDRE	Maître de conférences, INRIA Bordeaux
Philippe VILLEDIEU	Directeur de recherche, ONERA Toulouse



Université
de Toulouse



Résumé

Les travaux présentés résument les activités de Pierre Trontin à l'ONERA depuis 2009 comme ingénieur de recherche. Ils reflètent les deux étapes de sa carrière à l'ONERA. Tout d'abord au département DAAA de Châtillon où il a travaillé sur l'optimisation et le calcul de gradients par une méthode adjointe. Il a également mis en œuvre des méthodes numériques d'ordre élevé comme l'analyse isogéométrique. Puis, au département DMPE de Toulouse où il s'est concentré sur les activités liées au givrage, suite à l'émergence de nouvelles règles de certification pour la prise en compte de la présence de grosses gouttes en surfusion (SLD) ou de cristaux de glace dans l'atmosphère. Dans le cadre de cette thématique soutenue par l'industrie française et l'Europe, il a été impliqué dans de nombreux sujets de recherche, comme la modélisation des impacts sur une paroi pour les SLD et les cristaux de glace, la caractérisation du ruissellement de films minces sur une paroi et les systèmes de protection contre le givre. Ses contributions s'inscrivent dans le développement de la suite logicielle IGLOO2D dédiée au givrage dans laquelle les modèles et les méthodes numériques sont intégrés, notamment à travers la supervision de stagiaires et de doctorants.

Julien MARZAT

HDR soutenue le 18 octobre 2019

Université Paris-Saclay

Spécialité : Physique

**Contributions en commande et estimation pour
robots autonomes et systèmes aérospatiaux**

Composition du jury

Philippe BONNIFAIT	Professeur, Université de Technologie de Compiègne
Vincent COCQUEMPOT	Professeur, Université de Lille
Michel KINNAERT	Professeur, Université Libre de Bruxelles
François GUÉRIN	Maître de Conférences, Université du Havre
Hugues MOUNIER	Professeur, CentraleSupélec
Pascal MORIN	Professeur, Université Pierre et Marie Curie

Résumé

Ces travaux de recherche menés au Département Traitement de l'Information et Systèmes (DTIS) de l'ONERA portent sur les méthodes de commande, d'estimation et d'optimisation numérique appliquées aux robots autonomes et systèmes aérospatiaux. Ces sujets se complètent pour contribuer à la définition et la validation d'algorithmes embarquables sur véhicules terrestres et aériens, afin de leur permettre de réaliser en toute sécurité des missions de plus en plus autonomes et à large échelle. La recherche appliquée conduite dans le département couvre un large spectre de travaux, depuis la définition de concepts et méthodes via des thèses ou des collaborations académiques jusqu'à la réalisation de prototypes et au transfert vers l'industrie ou les donneurs d'ordre étatiques après une montée en TRL de ces développements initiaux.

Dans la continuité de travaux de thèse préalables, une activité sur le diagnostic des systèmes à base de modèles dynamiques et d'observateurs d'état se poursuit. Ce thème se développe significativement dans l'industrie aérospatiale : nous étudions désormais l'application de ces techniques aux moteurs de fusée à ergols liquides, et nous commençons également à explorer le domaine prometteur du diagnostic prédictif de l'état de santé des systèmes. Une large part des travaux se consacre par ailleurs aux méthodes de guidage pour les robots autonomes, en particulier les mini-drones et robots à roues. Les techniques de commande étudiées reposent principalement sur la commande prédictive non linéaire, dont la flexibilité permet d'aborder de nombreuses problématiques. Les sujets traités sont d'une part la commande coopérative de flottes de véhicules, et d'autre part la commande et le filtrage à partir de mesures issues de multiples capteurs embarqués (stéréovision, centrale inertielle, lidar). En collaboration avec des collègues spécialisés en traitement d'image, nous menons une activité expérimentale en robotique permettant de valider ces approches pour la navigation des robots terrestres et mini-drones en milieu encombré et sans GPS. Cela fait l'objet de nombreuses démonstrations de capacités nouvelles de navigation et vol autonome dans le cadre de projets industriels et de recherche. Enfin, car l'automatique est fortement liée à l'optimisation de fonctions de coût, nous nous intéressons aux méthodes numériques d'optimisation globale à partir d'un métamodèle de krigeage et en particulier à leur application au réglage automatique d'algorithmes et au développement de techniques d'estimation.

Guillaume DRUART

HDR soutenue le 12 novembre 2019
Institut d'Optique Graduate School

Approche frugale pour la conception de caméras infrarouges

Composition du jury

Caroline KULCSAR	Institut d'Optique Graduate School
Kevin HEGGARTY	IMT-Atlantique
Marc FERRARI	Laboratoire d'Astrophysique de Marseille
Serge MONNERET	Institut Fresnel
Thierry LEPINE	Institut d'Optique Graduate School
Nicolas GUERINEAU	ONERA
David BILLON-LANFREY	Lynred



Résumé

En tant que chercheur en instrumentation à l'ONERA, Guillaume Druart a développé une approche frugale dans la conception de systèmes optiques infrarouges en vue de leur simplification et de leur miniaturisation. L'intégration de fonctions d'imagerie avancées comme l'imagerie 3D et l'imagerie multispectrale a également été étudiée. Les objectifs sont l'intégration de caméras infrarouges dans des systèmes à faible capacité d'emport comme les drones et la diffusion de l'infrarouge dans le milieu industriel et civil. Ce contexte lui a permis d'aborder trois thèmes de recherche :

- Le développement d'yeux infrarouges cryogéniques avec une démarche de conception conjointe entre le bloc de détection cryogénique et l'optique ;
- L'étude des optiques diffractives pour développer une approche de conception minimaliste fonctionnalisant des lames optiques en revisitant le sténopé, les lentilles de Fresnel à ordre de diffraction élevé et les composants continûment auto-imageants ;
- L'étude d'architectures multivoies s'inspirant de la vision des invertébrés pour développer des caméras miniaturisées, des caméras plénoptiques pour l'imagerie 3D et des caméras multispectrales.

Nathalie BARTOLI

HDR soutenue le 16 décembre 2019

Université Toulouse III - Paul Sabatier

Spécialité : Mathématiques appliquées et applications des mathématiques

Optimisation adaptative basée sur les métamodèles

Composition du jury

Charles AUDET

Nicolas GAYTON

Rodolphe LERICHE

Jean-Baptiste HIRIART-URRUTY

Béatrice LAURENT

Joaquim R.R.A. MARTINS

Joseph MORLIER

Marcel MONGEAU

Professeur, Polytechnique Montréal

Professeur, SIGMA Clermont-Ferrand

Directeur de recherche, CNRS

Professeur Emérite, Université Toulouse III

Professeure, INSA Toulouse

Professeur, Université du Michigan

Professeur, ISAE-SUPAERO

Professeur, ENAC



Université
de Toulouse



Résumé

Cette soutenance de HDR s'appuie sur une synthèse de l'activité de recherche de Nathalie Bartoli autour de l'optimisation et des métamodèles lors de ces 10 dernières années.

Cette activité de recherche est très liée à son investissement dans le domaine de l'optimisation multidisciplinaire appliquée à la conception avion avant-projet et en particulier aux nouvelles configurations. La thématique de recherche associée concerne le développement de méthodes numériques pour l'optimisation efficace de fonctions de type « boîtes noires ». Les méthodes proposées, fondées essentiellement sur le développement de métamodèles, tentent de répondre aux problématiques liées au temps de calcul, au grand nombre de variables de conception et/ou de contraintes, mais également à la prise en compte des incertitudes de modèles dans le processus de conception.

Les travaux présentés s'appuient sur différents types de métamodèles, notamment les mélanges d'experts et les processus gaussiens avec une adaptation pour la grande dimension. Ces modèles sont actuellement disponibles dans la librairie Python open source SMT. Un processus d'optimisation adaptative basée sur ces métamodèles est ensuite détaillé et validé sur de nombreux cas d'application académiques et industriels. La prise en compte des modèles à fidélité variable est également abordée à travers l'utilisation de métamodèles spécifiques et l'adaptation du processus d'optimisation, ce qui permet de trouver un compromis entre la qualité de la solution obtenue et le temps de restitution. Enfin, l'utilisation de métamodèles disciplinaires dans un processus de conception est présentée. Celle-ci introduit des incertitudes de modèles qui se propagent lors de l'analyse multidisciplinaire et affectent ensuite la fonction objectif et/ou les contraintes. L'adaptation du processus d'optimisation pour prendre en compte ces incertitudes a permis d'obtenir des premiers résultats très prometteurs.

Les travaux présentés sont le fruit de collaborations internes et externes, régionales et internationales lors de projets européens ou d'encadrements de stagiaires, doctorants et post-doctorants.

Bertrand LE SAUX

HDR soutenue le 18 décembre 2019

Université Paris-Saclay

Spécialité : Automatique, Traitement du Signal, Traitement des Images,
Robotique

Modèles d'apprentissage machine pour la compréhension de scènes

Composition du jury

Jocelyn CHANUSSOT

Professeur, Grenoble INP

François FLEURET

Chercheur, Institut de Recherche Idiap -

Professeur, École Polytechnique Fédérale de Lausanne

Sylvie LE HÉGARAT MASCLE

Professeure, Université Paris-Sud

Renaud MARLET

Chercheur, Valeo.ai -

Professeur, École des Ponts ParisTech

Florence TUPIN

Professeure, Telecom Paris

Josiane ZERUBIA

Directrice de Recherche, INRIA

Résumé

La compréhension de scènes vise à répondre à la question : comment construire un modèle d'une région du monde réel afin d'y agir et d'y interagir ? Il s'agit donc d'extraire la sémantique et la géométrie des données disponibles : images, nuages de points 3D, etc. Dans ce but, plusieurs approches d'apprentissage machine sont présentées : elles diffèrent par la proportion d'a priori de conception et d'apprentissage introduits tout au long des algorithmes.

Trois aspects du problème sont envisagés. Les premiers travaux visent à la compréhension du contenu sémantique des images, c'est à dire la classification, la détection d'objets et la segmentation sémantique. Puis, plusieurs approches d'apprentissage sont proposés pour l'observation de la Terre et la télédétection, notamment pour l'apprentissage interactif, la classification sémantique multimodale et la détection de changements sémantiques. Enfin, l'accent est mis sur la vision 3D, avec l'estimation de la profondeur à partir d'une seule image et la classification de nuages de points 3D par des réseaux de neurones.

Ces approches variées reposent sur des mécanismes sous-jacents communs qui prennent une importance croissante. Elles réalisent une analyse multimodale pour bénéficier des données complémentaires disponibles, issues de capteurs différents mais aussi de sources et méta-données hétérogènes. Symétriquement, l'optimisation jointe d'objectifs multiples permet de régulariser l'apprentissage de modèles performants. Surtout, elles ont de plus en plus recours à une multiplicité des points de vue sur la scène pour relier, tant en apprentissage qu'en inférence, des invariances spatiales qui servent une analyse locale et une reconstruction sémantique globale. Cela est rendu possible par une intégration croissante de l'apparence et de la structure 3D, et conduit à une meilleure compréhension sémantique de la scène.

Thèses en cours au 1^{er} janvier 2020

Matériaux et Structures

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

BENETTI RAMOS Luis Henrique - Assimilation de données expérimentales pour l'étude des instabilités aéro-élastiques

BERTHELON Thomas - Prévion de la réponse forcée fan et OGV sous ingestion de vortex

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

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

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

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

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

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

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

DAGORN Noëlig - Caractérisation de la rupture d'interfaces collées Ti/CMO sous chargement dynamique et multiaxial

DEBARRE Antoine - Les composites oxyde/oxyde en conditions extrêmes

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

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

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

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

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

HAMMA Juba - Phase Field Modeling of Microstructure Evolutions in TRIP/TWIP Titanium Alloys

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

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

LACOUR-GOGNY-GOUBERT Antoine - Etude d'alliages métalliques multi-composants "à haute entropie" pour application aéronautique

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

MARQUEZ COSTA Juan Pablo - Performances mécaniques résiduelles des matériaux composites soumis au feu

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

SERRANO Pierre - Fatigue multiaxiale d'un alliage TiAl de 2ème génération

SEVIN Louise - Développement de matériaux Ultra Haute Température : Optimisation des propriétés thermomécaniques d'un composite FGM

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

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

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

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

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

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

Mécanique des Fluides et Energétique

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

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

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

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

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

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

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

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

BERTHIER Antoine - Impact des biocarburants dans les émissions des moteurs

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

CHARTON Virgile - Modélisation de l'accrétion de glace dans les moteurs en condition cristaux

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

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

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

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

DESPREZ Louis - Modélisation chimique et microphysique de la formation et de l'évolution des aérosols secondaires dans le jet propulsif d'un aéronef

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

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

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

DUFAU Antoine - Transition instationnaire dans les turbines basse-pression

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

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

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

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

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

GALIVEL Simon - Physique des écoulements de culot aux hautes vitesses

GRATADEIX Anthony - Investigation of Recirculation Bubble Control with 3D Time-resolved PIV

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

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

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

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

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

LANZILLOTTA Lorenzo - Reconstruction de champs instantanés de masse volumique par BOS 3D autour d'une maquette d'essai

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

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

LEFEVRE Laurianne - Evaluation expérimentale des interactions aérodynamiques rotor/hélice

LEFIEUX Julien - Etude du déclenchement de la transition en régime hypersonique au moyen de la simulation directe

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

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

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

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

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

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

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

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

PALANQUE Valérian - Design Of Resonant ElectroMechanical delcing System

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

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

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

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

PLANTE Frédéric - Etude des cellules de décrochage

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

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

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

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

SAINT-JAMES Julien - Prévion de la transition laminaire-turbulent dans le code elsA. Extension de la méthode des paraboles aux parois chauffées.

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

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

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

THEULIER Tanguy - Modélisation stochastique du ruissellement pour l'accrétion de givre

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

TOUSSAINT Damien - Couche limite turbulente sur paroi rugueuse : étude expérimentale et théorique

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

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

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

Physique

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

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

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

BARRACHINA José Augustin - Complex Deep Neural Networks for RADAR Applications

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

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

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

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

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

BOHER Micke - Conception de micro-optiques à l'aide de structures sub-longueurs d'onde

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

BONNIN Lucas - Exploitation des propriétés piézoélectriques des matériaux III-V et application aux capteurs inertiels résonants de type MEMS

BRULON Cyprien - Conversion électromagnétique – thermique dans les dispositifs nanophotoniques

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

CARIOU Nathan - Caractérisation et mise en oeuvre de spectromètres et de spectro-imageurs à haute résolution spectrale intégrés au voisinage du détecteur

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

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

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

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

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

CHTOUKI Rodwane - Nouveaux concepts pour la combinaison cohérente de lasers

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

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

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

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

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

DAHMEN Nour Allah - Mise en œuvre d'un schéma de résolution implicite dans le code Salammbô de modélisation des ceintures de radiation terrestres

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

DEBARY Hiyam - Imagerie depuis l'espace par interférométrie optique

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

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

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

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

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

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

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

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

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

EL IDRISSE ESSEBTEY Salma - Etude performance mission BIOMASS

ERDMANN Simon - Imagerie de Speckle Dynamique Polarisé

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

FETICK Romain - Optimisation des processus de traitement d'images à haute résolution dans le visible. Application à l'imagerie de satellite et l'observation astronomique

GAUDFRIN Florian - Etude d'un micro-LIDAR hyperspectral dans le domaine visible-moyen infrarouge pour la caractérisation de milieux diffusants

GERARD Julien - Sélection et reconnaissance de drones par Deep Learning

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

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

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

GROSJEAN Eudes - Caractérisation in-situ et en temps réel des propriétés de contaminants réels

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

HAMOUDI Thomas - Nouveaux concepts LIDAR pour la caractérisation fine des gaz à effets de serre

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

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

HUARD de VERNEUIL Edouard - Etude de la réponse spectro-spatiale de détecteurs infrarouge refroidis à petits pixels

HUSSON Xavier - Modélisation temporelle du fouillis forestier Radar

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

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

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

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

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

LAI-TIM Yann - Imagerie Haute Résolution de la rétine humaine par illumination structurée assistée par optique adaptative

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

LANSADE David - Etude de la dégradation et de la stabilisation de polymères en environnement spatial géostationnaire

LE DU Thurian - Etude, observation et modélisation de la dynamique atmosphérique dans la haute atmosphère

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

LEMIERE Kevin - Réorganisation et effets des défauts en volume dans les imageurs irradiés

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

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

MAES Clément - Plasmonique active sur semiconducteur

MALESYS Vincent - Capteurs de gaz à base de graphène

MAS Adrien - Etude et développement de caméras infrarouges multi-spectrales miniaturisées et à acquisition simultanée des bandes spectrales

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

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

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

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

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

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

PAILLIER Laurie - Elaboration et validation expérimentale d'un modèle de canal de propagation avec optique adaptative pour la détection cohérente

PAILLOUS Fabrice - Etude de l'interaction plasma/matériau : Application au foudroiement en aéronautique

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

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

PERNOT-BORRAS Martin - Simulations numériques et analyse des données de la mission MICROSCOPE : Gravitation Modifiée et mécanisme d'écrantage « caméléon »

PETERSCHMITT Simon - Développement d'un propulseur ECR forte puissance

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

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

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

PRENGERE Léonard - Commande haute performance pour les optiques adaptatives des télescopes géants (ELT)

RAGAZZO Hugo - Caractérisation de champs électromagnétiques hyperfréquences par thermo-fluorescence

REBEYROL Simon - Apport d'une voie panchromatique dans le démélange d'image hyperspectrale

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

RIVAL Guilhem - Optimisation des propriétés électriques d'un polymère thermoplastique hautes performances pour des applications structurales en environnement spatial

ROUZE Bastien - Métrologie de surfaces d'ondes morcelées

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

RUFFENACH Marine - Moniteur de radiation miniaturisé pour embarquement sur satellite

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

SAUVAGE Chloé - Impact de l'environnement atmosphérique sur les liaisons optiques sans fil pour la ville et l'avion du futur

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

SOUN Léna - Nano circuits optiques multi résonants pour l'exaltation d'effets non linéaires

VERLHAC Clément - Etude multi physique de nanoobjets et métamatériaux

VOLATIER Jean-Baptiste - Surfaces optiques freeform paramétrées optimales

Simulation Numérique Avancée

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

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

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

BENMOUHOUB Farah - Calcul haute performance, haute précision

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

BORAKIEWICZ Eva - Stratégies de calcul pour la prévision des performances résiduelles de panneaux raidis impactés

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

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

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

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

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

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

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

JADOUI Mehdi - Efficient Monolithic Solution Algorithms for High-Fidelity Aerostructural Analysis and Optimization. Application to Gradient-Enhanced Kriging based Aerodynamic Shape Optimization in High-Dimension.

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

MARCHAL Thomas - Extension de l'approche Différence Spectrale à la combustion

MESSAI Nadir-Alexandre - Méthodes d'éléments finis frontières auto-adaptatives pour la simulation de grandes scènes en propagation d'ondes

RAI Pratik - Contrôle des erreurs de discrétisation et de modélisation. Application aux écoulements multi-phasiques

RUDEL Clément - Décomposition d'opérateurs pour la propagation d'ondes

SEIZE Pierre - Méthodologies permettant l'obtention efficace de solutions multi-physiques stationnaires pour des applications en énergétique

SIRDEY Margot - Méthode de type Trefftz pour la simulation de la propagation électromagnétique à haute fréquence

VAN MARIS Pierre - Développement et validation de nouvelles méthodes numériques pour la simulation des écoulements réactifs hypersoniques lors de la rentrée atmosphérique des débris de satellites

VEILLEUX Adèle - Conception et validation d'une méthodes multi-éléments pour les différences finies spectrales

Traitement de l'Information et Systèmes

AIT TILAT Soufiane - Particle Volume Reconstruction and 3D velocimetry using sparsity

BAGY Simon - Conception et optimisation de forme de tuyères en configuration installée

BECK Thomas - Exécution parallèle à haut niveau d'intégrité sur des architecture multi-cœurs / Linux en environnement spatial

BERTHELIN Gaspard - Towards a Fully Uncoupled Multidisciplinary Optimization Formulation Based on Surrogate Modelling and Uncertainty Propagation: Application to Conceptual Aircraft Design

BERTIN Etienne - Contrôle optimal robuste aux incertitudes pour le guidage de véhicules autonomes

BOLLON Florent - Recognized Cyber Picture et confiance interpersonnelle : optimiser les activités collaboratives cyber militaires

BONNET Emmanuelle - Décodage des signaux physiologiques du sentiment de contrôle

BOURBOUH Hamza - Static Analyses and Model Checking of Mixed Data-flow/Control-flow Models

BOUZIAI Valentin - Gestion des aléas dans un système multi-robots

BUAT Benjamin - Conception conjointe d'une caméra 3D par illumination structurée pour l'inspection de surface

CASTILLO NAVARRO Javiera - Semi-supervised Semantic Segmentation for Large-scale Automated Cartography

CAYE DAUDT Rodrigo - Réseaux profonds pour l'analyse d'activité multi-temporelle en télédétection

CHAIINE Pierre-Julien - Adéquation des solutions basées TSN aux exigences spatiales

CHARRIER Laurane - Fusion d'images de télédétection multi-capteur/multitemporelles pour la surveillance de glaciers et de glissements de terrain.

CHIANCA Bruno - Méthodes de haute-performances pour le calcul sur éléments mobiles (Internet des Objets/ Drones)

CHIRON Marie - Estimation de probabilité d'évènements rares d'un système complexe paramétrique. Application à l'étude des performances opérationnelles d'un aéronef

CLAVIERE Arthur - Robustesse d'un réseau de neurones

COYLE Brendan - Analyse et optimisation d'une configuration avion de type aile volante équipée d'un turbofan à très fort taux de dilution

DUBOIS Rodolphe - Localisation et cartographie visuelle collaborative pour une flotte hétérogène de robots

EL MASRI Maxime - Méthodes d'échantillonnage pour la fiabilité de systèmes complexes en grande dimension

FERRIOL Florian - Développement des algorithmes de navigation adaptative aux indicateurs de changement de contexte et analyse de ses performances et intégrités

GODET Pierre - Approches par apprentissage pour l'estimation de mouvement multi-frame en vidéo

GUERLIN Louis - Fusion de données multi-capteur pour la perception d'environnement appliquée aux ADAS et à la Voiture autonome

GUIBERT Vincent - Identification et commande d'un drone dans des conditions de décrochage

HARDOUIN Guillaume - Reconstruction d'environnement à large échelle distribuée pour la navigation robotique

HEBBAL Ali - Methodologies for Multiobjective Parallel Optimization, Application to Aerospace Vehicle Design

IBENTHAL Julius - Pistage multi-cibles par méthodes ensemblistes non-linéaires

IGLEIS Enzo - Navigation et pilotage multimode d'un drone avec fonctionnalités dégradées dues à des défaillances de capteurs ou actionneurs

KOCAN Oktay - Techniques de contrôle orientées apprentissage pour le suivi de trajectoires agressives par des drones multi-rotors

KRAIEM Sofiane - Development of Steering Law for On Orbit Servicing Operation

LANGLOIS Pierre-Alain - Approche conjointe sémantique et géométrique pour la construction automatique de maquettes numériques

LECHAT Alexis - Apprentissage incrémental pour les systèmes de question-réponse visuels

LENCZNER Gaston - Réseaux de neurones interactifs pour l'analyse de scènes acquises par drones

LEROY Rémy - Deep Neural Networks for 3D Prediction in the Wild

LI Sarah H. Q. - Set Based Analyses for Robust Trajectory Planning

LIABOEUF Romain - Modélisation et conception de lois de pilotage hors du domaine de vol

MANIER Antoine - Compréhension sémantique de scènes tridimensionnelles pour l'accompagnement de la maintenance en milieu ferroviaire

MASCARENAS GONZALEZ Alfonso - Predictable Real-time Systems with Multi-core Implementations

MENZ Morgane - Vers une synergie entre analyses de fiabilité par échantillonnage adaptatif et réduction de modèles

METGE Adrien - Opérateur et systèmes intelligents : se comprendre pour décider. Application à la supervision de drones dotés d'autonomie décisionnelle.

MILOT Antoine - Algorithmes et architecture pour le contrôle de l'exploration d'une zone par une flotte de sous-marins autonomes.

NGUYEN VAN Eric - Stabilité et contrôle latéral d'un aéronef à petite dérive par utilisation différentielle des systèmes de propulsion ou par actionneur de type volets crocodile ou autre. Utilisation de méthodes de co-design.

PACHECO Adriana - Techniques de décisions hiérarchiques pour l'allocation et l'ordonnancement de tâches

PALLADINO Vincenzo - Multifidelity Design Process Applied to a Hybrid Electric Regional Aircraft

PALMIER Camille - Nouvelles approches de fusion multi-capteurs par filtrage particulière pour le recalage de navigation inertielle d'un sous-marin

PEREZ ROCA Sergio - Régulation en transitoire, large domaine de fonctionnement et commande hybride

PEYRAS Quentin - Etude théorique et pratique de fragments de la logique temporelle linéaire du premier ordre pour la spécification et la vérification formelles

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

PRIEM Rémy - Optimisation multidisciplinaire en grande dimension pour la conception Avion avant-projet

PRIETO AGUILAR Gemma - Prédiction et amélioration des qualités de vol hélicoptères pilotés par mini-manches

QUINTON Félix - Planification de missions pour les systèmes multi-robot

RAKOTOMALALA Lucien - Preuve formelle en calcul réseau

RESTREPO-OCHOA Esteban - Coordination multi-objective de systèmes multi-drones dans des environnements dynamiques

RINEAU Anne-Laure - Etude des relations entre intégration visuo-vestibulaire et agentivité dans la perception du mouvement propre

ROUSSE Paul - Optimisation semi-définie pour la validation des systèmes embarqués

SALOMONE Mick - Corrélats cérébraux de la fatigue cognitive et de la variabilité chez les opérateurs aériens

SAPORITO Marco - Robust Analysis and Optimisation Process for Virtual Flight Simulation of Very-flexible Aircraft

SARAZIN Gabriel - Evaluation des méconnaissances des systèmes embarqués sur la retombée d'un étage de lanceur spatial

SENSFELDER Nathanaël - Analyse et Contrôle de l'interférence sur une plateforme multicoeurs

STANCZAK Marvin - Validation et optimisation des designs de charges utiles des satellites de télécommunication

STEINER Kelly - Etude des relations entre théorie de l'agentivité et théorie de l'information intégrée : Application à la supervision des systèmes automatisés

THAI Sovanna - Advanced Anti-windup Flight Control Algorithms for Fast Time-varying Aerospace Systems

THOMAS Mathieu - Indices visuels, mouvement et pilotage. Caractérisation et enrichissement du support informationnel pour la conception d'aides au contrôle du vol d'hélicoptère

VANTREPOTTE Quentin - Agentivité et technologie : Vers des systèmes agentifs

VAUDAUX-RUTH Guillaume - Deep Reinforcement Learning et Deep Learning : Application au bouclage perception commande sur camera contrôlable

VENTURINO Antonello - Estimation d'état distribuée sous contraintes pour une mission de surveillance multi-capteurs multi-robots

VEYRIE Alexandre - Effet du stress sur les contributions visuelles et vestibulaires du pilotage à basse hauteur

WANG Zhengyi - Structuration adaptative de trafics drones aériens : concept U-Space ou UTM

Post-doctorats en cours au 1^{er} janvier 2020

BALBOA Hector - Méthodes et outils multi-échelles de résolution du transport de radiation de l'environnement spatial pour la recherche de pire-cas de charge interne

BEDOYA VELASQUEZ Andrés Esteban - Development of Bayesian Inverse Algorithms for the Retrieval of Aerosol Lidar Products

BELTRAMO-MARTIN Olivier - Maximizing the Scientific Return of AO assisted 3D-Spectroscopy instruments

BONNIN Alexis - Atom Inertial Sensors from Ground to Space

CAMPONOGARA VIERA Raphael - Modélisation des Injections de fautes physiques induites par l'environnement radiatif naturel atmosphérique dans des circuits à architecture multi-cœurs

DEBEK Radoslav - Controlled Surface Discharges for the Miniaturization of Plasma-catalytic Reactors

EDORH Prince - Planification de trajectoires pour le guidage de lanceurs réutilisables

EPIFANO Enrica - Diffusion et oxydation dans les matériaux complexes, intermétalliques, phases MAX

FAN Zhengxuan - Modélisation des micro-mécanismes de déformation conduisant à l'amorçage de micro-fissures par fatigue dans les alliages de Ti

FIÉVET Romain - Simulation et contrôle par impédance pariétale des instabilités des couches limites laminaires en régime haut supersonique

GHAZI Hala - Modélisation et simulation numérique de la transition en ruisselets d'un film liquide continu cisailé par un écoulement d'air

GOLDSPIEGEL Fabien - Etude des phénomènes de divergence lors de contact aube/abradable

GRANERO BELLINCHON Carlos - Suivi de l'état de santé des arbres en ville à partir de données satellitaires SENTINEL-2 à haute résolution temporelle

ITAM Emmanuelle - Efficient High-order Numerical Simulation of All Mach Number Flows

KONISHI Mahiko - Etude de l'impact du stress sur la métacognition

LORIDAN Vivien - Magnétohydrodynamique pour la rentrée atmosphérique

MARBOEUF Alexis - Modélisation, simulation et analyse des mécanismes de détachement de givre

MEYER Morten - Machine Learning-augmented Turbulence Modelling

MORTADA Hassan - Etude et développement de techniques de Xampling pour l'écoute très large bande et le radar de veille.

RAIBAUDO Cédric - Aerodynamic Drag and Noise Reduction of a Wing by Feedback Control Using Low and High Frequency Actuation

RAMBOUR Clément - Détection de changement et de classification sémantique pour des données multimodales SAR / optiques

ROJO Mathias - Méthodes et outils multi-échelles de résolution de la contamination moléculaire dans le contexte de propulsion électrique des satellites

SABATIER Tiphaine - Formulation des conditions aux limites de vitesse et turbulence à l'échelle micro-météorologique

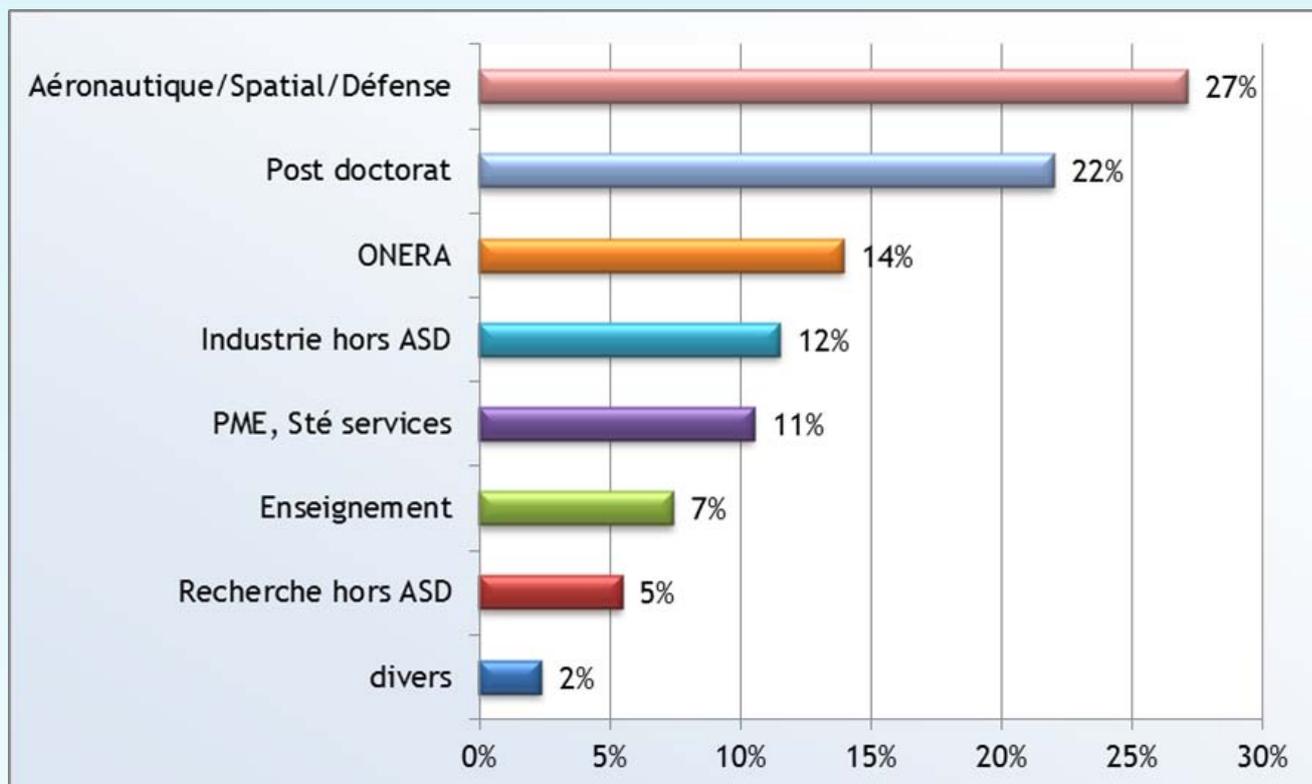
SALMON Arthur - Imagerie multibande TéraHertz par thermoconversion vers l'infrarouge

SORELLI Giacomo - Sensibilité d'une détection reposant sur une illumination quantique

TOUBIN Hélène - Apprentissage profond et réduction de modèle pour la reconstruction de champs aérodynamiques

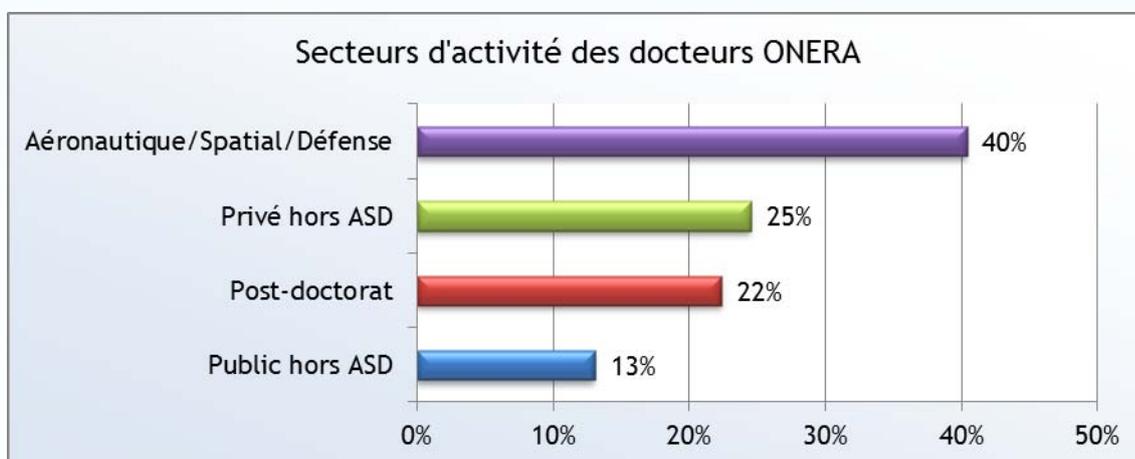
VILCHIS MEDINA José Luis - Enhancement of Decisional and Dependability Methods for Underwater Robots

Devenir professionnel des docteurs



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

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



* Statistiques sur 1400 docteurs ayant soutenu leur thèse depuis 2000

ALUMNI ONERA

L'ALUMNI ONERA est une association qui a pour objectif d'établir un réseau professionnel entre ses membres, lesquels ont tous en commun d'avoir effectué leur thèse de doctorat ou un contrat de post-doctorat à l'ONERA.

Elle vise principalement :

- à favoriser les échanges à caractère professionnel entre ses membres ;
- à promouvoir la formation doctorale et post-doctorale de l'ONERA ;
- à entretenir le dialogue entre ses membres et l'ONERA.

Pour en savoir plus : <https://w3.onera.fr/alumni/>





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

Avions

Hélicoptères

Propulsion des aéronefs

Transport spatial

Systèmes orbitaux

Missiles

Drones

Systèmes de défense

Sécurité



BP 80100 - 91123 PALAISEAU CEDEX - Tél. : +33 1 80 38 60 60 - Fax : +33 1 80 38 68 89

www.onera.fr

ONERA - Direction Scientifique Générale - Mars 2020