

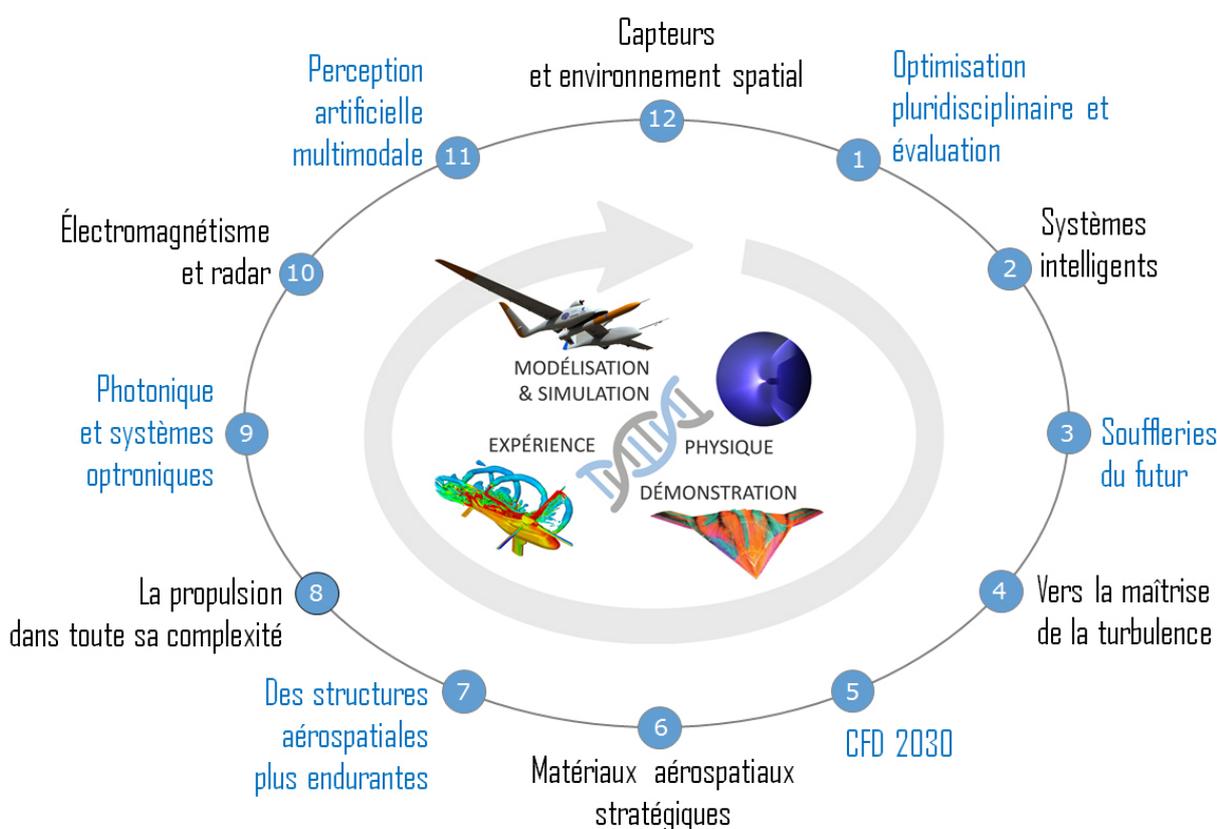
# Plan

stratégique scientifique  
2015-2025

ACTUALISATION  
2020

# Sommaire

Introduction .....	3
Pourquoi un PSS .....	4
Les enjeux de compétitivité de l'industrie aérospatiale .....	8
Finalités structurantes et orientations des recherches futures .....	9
1. Défense .....	9
2. Aéronautique .....	12
3. Spatial.....	14
Les ruptures et les approfondissements nécessaires.....	16
Douze défis scientifiques à relever .....	18



Les nouveaux leviers du PSS. Actualisation 2020 .....	50
---	----

# Annexes

Contribution de l'ONERA à la Base industrielle et technologique de Défense .....	52
Contribution à la Stratégie nationale de recherche.....	55
Positionnement vis-à-vis des technologies de rupture identifiées par le Gifas.....	56
Glossaire.....	57

# Plan stratégique scientifique 2015-2025

## ACTUALISATION 2020

### Avant-propos

Cette actualisation du Plan stratégique scientifique de l'ONERA s'appuie essentiellement sur une exploitation du bilan des quatre premières années (voir bilan 2019\*) d'une part, et un examen des progrès scientifiques et des évolutions du contexte dans lequel se place la mission de l'ONERA d'autre part (page 21). Les leçons qui en sont tirées conduisent à actualiser assez profondément les douze défis (pages 25 à 49). S'y ajoutent les définitions de huit nouveaux leviers qui donneront une nouvelle impulsion organisationnelle à ce plan stratégique édité en 2016 (page 50).

### *Dessiner le futur :*

#### *des sciences aux technologies*

Ce document constitue le plan stratégique scientifique de l'ONERA pour la période 2015-2025. Bien qu'il soit amené à évoluer au cours de cette période, celle-ci a été choisie en cohérence avec les cycles des recherches et des développements technologiques dans les domaines de l'aéronautique, du spatial et de la défense (ASD), développements allant jusqu'au niveau 6 au plus de l'échelle TRL.

Ce plan stratégique scientifique a été élaboré sur la base des missions de l'ONERA, des attentes et besoins exprimés sous diverses formes par ses parties prenantes et la société de façon générale, mais également à partir des nouvelles possibilités scientifiques et des approfondissements identifiés par les ingénieurs et chercheurs de l'Office, notamment quant aux ruptures nécessaires pour répondre à ces besoins.

Exprimant l'ambition de l'ONERA, structuré par douze défis scientifiques et techniques, il s'agit du document d'orientations stratégiques pour son activité de recherche. Pour cette raison il ne comporte pas d'indication de moyens ni de programmation. Il est destiné à fournir la base des contrats d'objectifs et de performance pluriannuels, qui devront en préciser les moyens en termes de personnel, de fonctionnement et d'investissement. Il prend en compte les avis et recommandations issus du haut conseil scientifique de l'ONERA (HCS), de différents rapports externes rédigés à la demande des services officiels ainsi que des réunions stratégiques organisées fin 2015 avec les services de l'État et les industriels, après la diffusion de la version en projet.

Compte tenu des évolutions de l'organisation mondiale de la recherche et de l'industrie, des demandes de rationalisation des organisations et des moyens, de la pression concurrentielle internationale, des rôles donnés en Europe aux industriels dans des secteurs historiquement très largement pilotés et soutenus par la Nation, des enjeux enfin de souveraineté qui se complexifient avec l'évolution des menaces, il était nécessaire de préciser le sens de l'action de l'ONERA sur le plan scientifique (une vignette signale les actualisations dans le présent document). De ce point de vue, ce plan stratégique scientifique est un élément essentiel du dialogue avec l'État, la communauté scientifique et les industriels.

\* <https://www.onera.fr/fr/pss>



## L'ONERA en 2015

EPIC  
& pilote de la filière  
Carnot aéronautique AirCar

2017 personnes  
1501 ingénieurs et cadres  
263 doctorants  
et post-doctorants

256 articles de revue  
de rang A

340 communications  
72 thèses soutenues  
24 prix scientifiques  
1186 rapports techniques  
29 brevets

## Pourquoi un PSS

Créé il y a 70 ans, l'*Office National d'Etudes et de Recherches Aéronautiques* s'étend au domaine spatial en 1963 en devenant l'*Office National d'Etudes et de Recherches Aérospatiales*. Ainsi, depuis la fin de la seconde guerre mondiale, l'ONERA contribue aux progrès en matière d'aéronautique, de spatial et de défense en menant des recherches de niveau international, en réalisant des premières mondiales, en développant des technologies présentes sur la plupart des plateformes et produits industriels de ce secteur en France et en Europe, qu'il s'agisse de missiles ou de lanceurs, d'aéronefs, d'hélicoptères ou de systèmes de propulsion, de matériaux ou de capteurs, de satellites ou d'instruments.

Une des raisons de ces succès réside dans les moyens dont il s'est doté au cours du temps : de la recherche fondamentale au développement technologique, de la modélisation à la simulation avancée, de l'expérimentation ultrafine aux essais intégraux sur systèmes réels en vol ou en grandes souffleries, et même aux démonstrateurs.

Cette continuité de recherches multidisciplinaires, alliée au souci d'expérimentation à tous niveaux et dotée d'une très forte culture des problématiques aérospatiales et de défense constitue le véritable ADN de l'ONERA.



Contributions de l'ONERA  
à la recherche  
aéronautique et spatiale.  
Brochure 2015. Voir [www.onera.fr](http://www.onera.fr)

L'ONERA a pour mission de développer et d'orienter les recherches dans le domaine aérospatial ; de concevoir, de réaliser, de mettre en œuvre les moyens nécessaires à l'exécution de ces recherches ; d'assurer, en liaison avec les services ou organismes chargés de la recherche scientifique et technique, la diffusion sur le plan national et international des résultats de ces recherches, d'en favoriser la valorisation par l'industrie aérospatiale et de faciliter éventuellement leur application en dehors du domaine aérospatial. A ces divers titres, il est chargé :

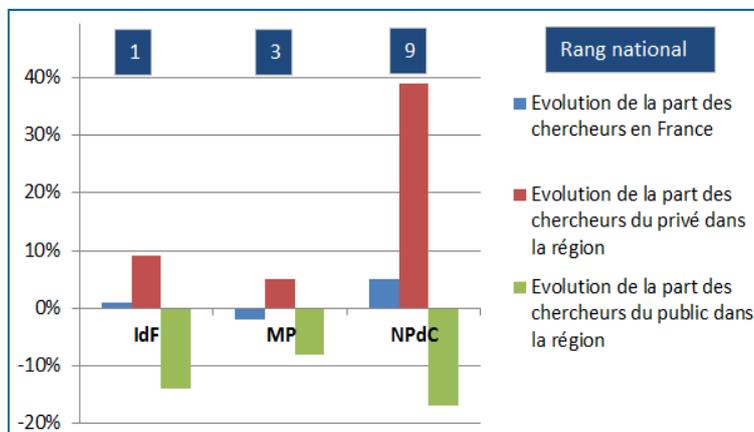
- d'effectuer ou de faire effectuer, à son initiative ou à la demande, toutes études et recherches intéressant l'industrie aérospatiale
- de réaliser des moyens d'essais et de calcul au profit de la recherche et de l'industrie aérospatiale et de les mettre en œuvre
- d'assurer la liaison avec les organismes français, étrangers et internationaux dont l'activité peut contribuer à l'avancement de la recherche aérospatiale
- d'assurer la diffusion et la valorisation des résultats obtenus, par publications, brevets, licences d'exploitation
- de promouvoir le lancement ou le développement d'initiatives utiles à la recherche ou à l'industrie aérospatiale
- d'assister, en tant qu'expert et à la demande, les organismes et services officiels
- d'apporter son concours, dans son domaine de compétence, à la politique de formation à la recherche et par la recherche

En liaison avec le CNES, il contribue par son action propre ou par le moyen de conventions aux recherches et aux réalisations expérimentales dans le domaine spatial.

*Les missions de l'ONERA (Code de la Défense Livre IV, Titre II, Chapitre III)*

Le paysage de la recherche - et de l'innovation - en France et en Europe s'est considérablement modifié ces dix dernières années, avec en particulier des changements très significatifs sur la répartition des rôles et des financements entre l'État, la recherche publique et la recherche privée, et singulièrement pour ce qui concerne les « bas et moyens » TRL : pilotage de programmes par des industriels, développement du crédit impôt recherche, financement de recherche industrielle via les agences publiques dans le cadre de partenariats avec les laboratoires publics, interaction avec les programmes ou financements européens, segmentation des appels d'offres, constitution de chaires industrielles ou de laboratoires communs entre industriels et académiques, développement de structures issues du PIA, structuration de regroupements universitaires, avec davantage d'autonomie...).

Dans ce contexte renouvelé\*, bien que ses missions soient inchangées, il est important de préciser la position de l'ONERA, sa vision de l'avenir pour le domaine ASD et les modalités de son action en tant qu'acteur scientifique et technologique. C'est la raison de la présence simultanée des termes stratégique et scientifique dans le contenu de ce document.

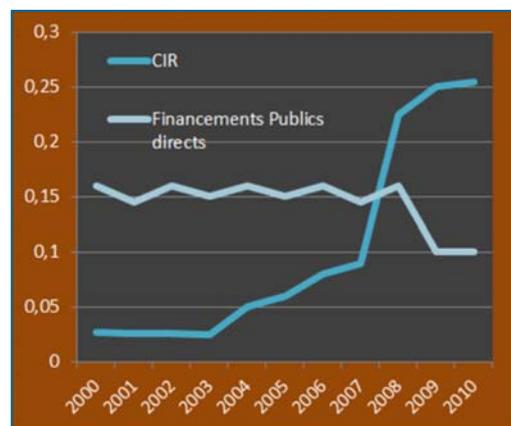


Évolution des chercheurs privés et publics entre 2006 et 2011 dans les régions Ile de France, Midi-Pyrénées et Nord-Pas de Calais (source : OST)

## Un monde de la recherche appliquée profondément bouleversé

Depuis 2006 le crédit impôt recherche (CIR) n'est plus calculé que sur la part en volume de recherche des entreprises, il était mobilisé en 2012\*\* à plus de 10% sur les secteurs intéressant ONERA (6.4% pour la construction navale, aéronautique et ferroviaire et 4.1 % pour la fabrication d'instrumentation scientifique et technique).

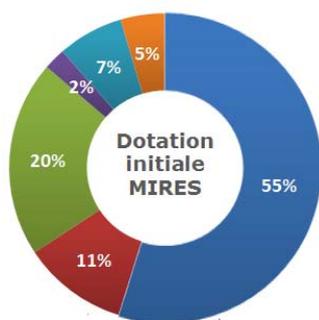
En 2013, la dépense intérieure de recherche et développement (DIRD) s'est établie à 47,5 Md€ en progression de 1,3 % par rapport à l'année précédente, avec 1,4 % pour la DIRD des entreprises et 1 % pour celle des administrations. Les trois premières branches industrielles de recherche (industrie automobile, construction aéronautique et spatiale, industrie pharmaceutique) exécutent 34 % des dépenses totales de R&D des entreprises. Celles de la construction aéronautique et spatiale restent extrêmement dynamiques (+8,4 % en volume en 2013, après +10,7 % en 2012).



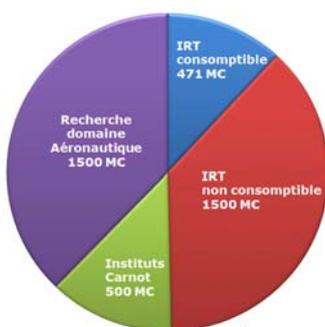
Évolution des financements publics directs aux entreprises et du CIR en % du PIB (source DGRI-SETTAR)

\*Avec la perception accrue pour l'ensemble des acteurs de l'importance stratégique de cette recherche pour l'économie française, face à l'émergence de nouveaux entrants scientifiques et technologiques très ambitieux, mais aussi face à l'échec du concept du *fabless* développé dans les années 90, et du maintien du niveau d'emploi industriel dans les pays qui s'y sont engagés.

\*\*Source MENESR-SIES Note flash n°05 - septembre 2015



- Recherche fondamentale générale
- Santé et biotechnologies
- Valorisation de la recherche
- Filière spatiale
- Filière aéronautique
- Filière nucléaire



Dotation PIA1, IRT et filière aéronautique

Le programme d'investissements d'avenir (PIA) a été lancé en 2010 et mobilisait 35 milliards d'euros ; il a été suivi du PIA2 en 2013.

Une part majoritaire du PIA1\* (21,9 Md€) a été attribuée à la Mission interministérielle recherche et enseignement supérieur (MIREs). Le PIA1 a vu la création de huit instituts de recherche technologique dont la moitié intersecte le champ d'activité de l'ONERA — IRT Saint Exupéry à Toulouse, IRT Jules Verne à Nantes, IRT Matériaux M2P à Metz, IRT SystemX à Palaiseau, et donné lieu à la création de plateformes de R&D.

L'ONERA est l'opérateur national du programme « Recherche dans le domaine de l'aéronautique ». Celui-ci comportait un volet aval centré sur l'aéronef du futur doté de 700 M€ (soutien sous forme d'avances remboursables aux programmes d'avion et d'hélicoptère de nouvelle génération), et d'un volet « démonstrateurs technologiques » doté de 766 M€, pour lequel six démonstrateurs, non liés à un aéronef particulier, ont vu le jour.

L'ONERA n'a cependant bénéficié que d'une très faible partie de ce financement (7 M€). Les analyses convergentes de l'ONERA, du Gifas et de la Mission d'évaluation et de contrôle font émerger le besoin de corriger ce déséquilibre créé au détriment de la recherche la plus amont.

Si les instituts Carnot, dont fait partie l'ONERA, préexistaient au PIA, ce dernier visait à renforcer de façon pérenne les ressources financières mais aussi à développer la recherche contractuelle avec les PME et ETI. Fin 2014 un appel à structuration des instituts Carnot a été lancé et l'ONERA fédère désormais la filière aéronautique AirCar des instituts Carnot.

## Une structuration très forte de la recherche industrielle du secteur ASD



La fédération professionnelle du Gifas regroupe 366 sociétés, des grands maîtres d'œuvre et systémiers jusqu'aux PME, spécialisées dans l'étude, le développement, la réalisation, la commercialisation, la maintenance de tous programmes et matériels aéronautiques et spatiaux.

Son domaine recouvre les avions et les hélicoptères civils et militaires, les moteurs, les missiles et armement, les drones, les satellites et les lanceurs spatiaux, les grands systèmes aéronautiques, de défense et de sécurité, les équipements, les sous-ensembles et les logiciels associés.

Le Corac, Conseil pour la recherche aéronautique civile, a été créé en juillet 2008.

S'inspirant du modèle de l'Acare européen, il regroupe sous l'impulsion de la DGAC et du Gifas l'ensemble des acteurs français du secteur du transport aérien, c'est-à-dire l'industrie aéronautique, les compagnies aériennes, les aéroports, l'ONERA, les institutionnels et ministères concernés.

Il a notamment établi la feuille de route technologique pour la recherche aéronautique à l'horizon 2020 et défini six plateformes de démonstration technologique.

Sous la présidence du ministre chargé de l'Espace, le Cospace (Comité de concertation Etat-Industrie sur l'Espace) fondé en 2013 regroupe les principaux ministères concernés, le Cnes, l'ONERA, les industriels maîtres d'œuvre, des équipementiers spatiaux, des opérateurs, des utilisateurs du spatial. Son objectif principal est d'élaborer des feuilles de routes technologiques permettant la convergence des efforts de l'ensemble des acteurs nationaux.

Source : Commission des finances, Mission d'évaluation et de contrôle, rapport d'information 2662. Mars 2015

Pour garantir les conditions de la poursuite de son succès dans la mission qui lui est confiée par l'État, il est essentiel que l'ONERA se positionne au sein du contexte de la recherche, amont mais finalisée, en France et en Europe, non seulement comme un acteur majeur de recherche en tant que tel mais aussi comme un centre de mise en cohérence des recherches sur les grandes finalités identifiées par les divers acteurs du secteur à horizon de 10 ans et plus.

Si la recherche sur les bas et moyens TRL ne peut plus désormais être que collaborative, le besoin d'une vision globale et d'une coordination est essentielle pour concentrer les moyens (et les résultats !) dans les bonnes directions et bâtir des feuilles de route qui résistent aux pressions du court terme et aux tentations de réorientations permanentes.



- ▶ [1- Plateforme de Démonstration Avion Composite](#)
- ▶ [2- Avionique Modulaire Etendue \(AME\)](#)
- ▶ [3- Cockpit du Futur](#)
- ▶ [4- CORAC – Propulsion](#)
- ▶ [5- Gestion Optimisée de l'Energie \(GENOME\)](#)
- ▶ [L'hélicoptère du futur](#)

## Vers une ouverture plus large de l'ONERA

L'ONERA a pu par le passé donner le sentiment d'être un acteur isolé, ne comptant que sur ses moyens propres pour remplir sa mission dans un contexte où les services étatiques et l'industrie aérospatiale s'appuyaient essentiellement sur les ressources propres de l'Office pour la recherche à bas TRL. Au-delà de la question du dimensionnement des moyens, les grands projets de demain devront, dès les TRL les plus bas, être imaginés et conçus par une collectivité d'acteurs ayant chacun une légitimité différente mais partageant ressources et moyens au service d'une même vision. L'ONERA entend y jouer un rôle central, conforme à sa mission, et son PSS est le premier de ces outils.

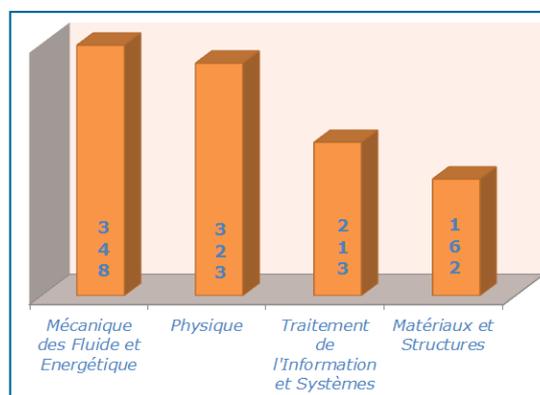
Il s'agit aussi pour l'ONERA, de façon plus interne, de développer la transversalité au-delà du pluridisciplinaire, ainsi que les relations partenariales avec de nombreux acteurs publics et privés, dans et hors de la communauté aérospatiale, en s'appuyant sur une connaissance approfondie des besoins des utilisateurs finaux, tout particulièrement dans le domaine Défense & Sécurité. Transversalité et partenariats sont aujourd'hui rendus nécessaires par l'accroissement de la complexité des systèmes et de leur environnement, et par les exigences grandissantes adressées aux systèmes de demain.

Le plan stratégique scientifique doit ainsi contribuer à l'établissement des objectifs annuels de l'ONERA en y apportant une vision à long terme et en permettant d'y définir les indicateurs les plus pertinents au regard des ambitions de l'Office, dans la réalisation des missions fixées par l'État. Il doit également former la base de l'action de sa Direction scientifique générale tant pour l'emploi et la gestion des ressources générales que pour la recherche de collaborations et de financements externes sur les projets à bas et moyens TRL, cela par :

- la priorisation des moyens (thèses, PRF, PR, ARF, ARE)
- le développement ou la revisite de partenariats, et l'abondement à ceux-ci
- la définition des installations d'essais à conserver, à développer et à partager, ainsi que de nouveaux moyens expérimentaux
- la contribution à la GPEC

Sur le plan interne, le PSS vise à fixer un cap stimulant pour l'avenir : les finalités et les orientations qui sont proposées doivent conduire à de nouvelles idées, de nouvelles technologies, de nouveaux domaines scientifiques, à exploiter les avancées scientifiques les plus récentes.

Il doit également nourrir les réflexions sur les évolutions de l'organisation de l'ONERA (voir page 50 sur les leviers). Cependant, si l'ONERA doit évoluer dans son nouveau contexte, un certain nombre d'actions, menées dans un passé récent vers une plus grande cohé-



Répartition des effectifs dans les quatre branches scientifiques de l'ONERA



Chaque année, l'ONERA édite le catalogue de ses projets de recherche stratégiques

## Projets et actions de recherche ONERA sur ressources générales (2015)

### 27 PRF - projets de recherche fédérateurs

4 ans ; multidisciplinaires, intégrateurs de recherches ; évaluation complémentaire par un comité scientifique extérieur à l'ONERA

### 15 ARF - axes de recherche fédérateurs

2 ans ; multidisciplinaires ; ARF « réseau » et ARF « compétence » ; diffusion et partage de nouvelles technologies/savoirs génériques

### 59 PR - projets de recherche

3 ans ; mono-disciplinaires, maturateurs de technologie

### ARE - Actions de recherche exploratoires

1 an ; promouvoir la prise de risque et l'émergence de ruptures scientifiques ; appels à idées, études de quelques mois pour défricher un sujet

### AR - Actions de recherche

1 an ; activités de recherche d'opportunités, actions exploratoires, activités de soutien thématique, actions proposées par les départements



Source : [www.horizon2020.gouv.fr](http://www.horizon2020.gouv.fr)

## Les enjeux de compétitivité de l'industrie aérospatiale

Les compétences scientifiques et techniques et les activités de R&T de l'ONERA sont dédiées aux domaines aéronautique et spatial dans leurs dimensions militaire et civile. Le secteur aérospatial contribue pour le pays à la fois à sa souveraineté, à son développement économique, à l'emploi qualifié et à sa position enviable sur les technologies innovantes.

Les performances économiques et sociales du secteur – 50,7 Md€ de chiffre d'affaire dont 33,1 Md€ à l'export et 180 000 emplois qualifiés en France - sont le résultat de plus de 40 ans d'investissements et de stratégie concertée entre l'État et l'industrie. La France est le seul pays - avec les États-Unis - à disposer d'une filière aérospatiale complète et compétitive. La France est présente sur tous les segments du marché avec souvent des positions de leader mondial et dispose ainsi de la totalité des compétences pour concevoir et réaliser tous les types d'aéronefs militaires et civils.

En ce qui concerne la défense et les enjeux de souveraineté de la France, l'ONERA – par ses études, ses recherches et son expertise – contribuera à maintenir et à développer l'excellence des systèmes d'armes français. Plus précisément les travaux de l'ONERA concernent quatre des cinq « fonctions stratégiques » du livre blanc de la défense et de la sécurité nationale de 2012 : dissuasion, connaissance et anticipation, intervention et protection. Les recherches porteront également sur le « dérisquage » des technologies afin de contribuer notamment à la maîtrise des coûts des programmes futurs.

Pour le domaine aéronautique, et au niveau européen, les attentes se concentrent autour d'une aéronautique durable : économie circulaire, utilisation parcimonieuse des ressources, réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, sûreté et sécurité accrues. L'effort de R&T de l'ONERA sera mobilisé pour contribuer à la compétitivité de l'industrie aérospatiale française en s'investissant également dans le domaine de la certification qui est stratégique pour l'industrie, afin de ne pas avoir à subir des normes élaborées par d'autres.



Il convient toutefois de rester vigilant car de nouveaux entrants ne cachent pas leurs ambitions et déclarent ouvertement, pour n'évoquer que le cas de de l'aviation civile, « vouloir mettre fin au duopole Boeing / Airbus » dans les quinze ou vingt prochaines années.

L'ONERA n'entend pas aborder ces enjeux sans le socle de compétences et de technologies de premier plan que ceux-ci exigent. Il est indispensable d'y consacrer les moyens nécessaires, pour construire et maintenir au niveau d'excellence l'ensemble des compétences et outils dont dispose l'ONERA.

## Finalités structurantes et orientations des recherches futures

Pour définir plus précisément les orientations de recherches de l'ONERA et sa contribution aux réponses à apporter à ces attentes, il est nécessaire d'analyser avec précision la façon dont elles s'expriment au travers des grandes finalités identifiées par l'ensemble des acteurs du domaine ASD, en France et à l'étranger, tout particulièrement en Europe, pour la période des dix années à venir voire au-delà.

Cette démarche s'appuie sur la vision développée par l'ONERA grâce à ses contacts permanents avec l'ensemble de ses parties prenantes, mais également sur un certain nombre de documents d'analyses stratégique ou prospective de diverses origines, comme :

- le Livre blanc sur la défense et la sécurité nationale, le document d'orientation politique et objectifs scientifiques de la DGA ou la Stratégie nationale de recherche France Europe 2020
- les documents d'associations ou de groupements d'industriels comme le Gifas, l'Erea (*From Air transport system 2050 vision to planning for research and innovation*, 2012), le Corac, le Cospace, l'Acare (Advisory Council for Aviation Research in Europe, et son *Strategic Research and Innovation Agenda* — SRIA), l'Icas (International Council for the Aeronautical Sciences)
- enfin, des documents émanant de la communauté scientifique comme le *Joint ESF-ESA Forward Look*, *Technological Breakthroughs for Scientific Progress*, ou la *MIT Industry Brief on Aerospace Industry*.

## 1. Défense

Le Livre blanc sur la défense et la sécurité nationale présente ses priorités géostratégiques en cohérence avec les objectifs de protection des Français et avec la mise en œuvre des responsabilités internationales de la France.

Sa déclinaison s'effectue via les Lois de programmation militaire (LPM) qui précisent et quantifient les moyens à mettre en œuvre pour en tenir les objectifs. Les LPM ont une durée de 6 années (2014-2019 pour la loi en cours).

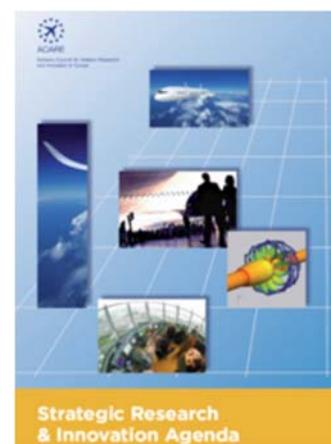
L'activité de l'ONERA porte sur quatre fonctions stratégiques :

- dissuasion (composantes aéroportée et océanique)
- protection (missiles, protection sauvegarde)
- connaissance et anticipation
- intervention

Dans le cadre de ce PSS, l'ONERA a choisi de mettre en avant six axes d'effort.



Brochure ONERA  
Transport aérien 2050, pour l'Erea



Agenda recherche et innovation  
stratégiques Acare



Trajectoire 2050  
Commission européenne

## Augmentation de performances des systèmes existants

L'augmentation de la performance des missiles passe par les progrès dans les domaines de la propulsion, du guidage-navigation, de la protection foudre et de la compatibilité électromagnétique, des matériaux composites.

Pour les besoins de la navigation sous-marine, l'ONERA a déjà développé des moyens de navigation autonomes à hautes performances, basés sur des technologies à atomes froids.

Les autres enjeux recouvrent la modernisation des systèmes de combat (dont le combat



Montage d'étude du contrôle de  
l'interaction choc/couche limite



Assistance à l'appontage intégrant des techniques basées capteurs

collaboratif) et de mission (notamment pour le Rafale), l'aide au pilotage des hélicoptères par faible visibilité et l'autoprotection des plateformes, et de façon plus générale, le soutien au système de commandement et de conduite des opérations aérospatiales (SCCOA\*) dans ses missions.

Concernant les technologies spécifiques aux moteurs d'avions de combat, il est nécessaire de développer des technologies propres à augmenter le rendement moteur : optimisation des circuits de refroidissement des aubes de turbines HP, développement de superralliages et barrières thermiques, de matériaux avancés à faible densité. Il faut aussi réduire les coûts d'opération et de possession (augmentation de la durée de vie des aubes de turbines HP).

## Développement d'armes furtives et hypervéloces



Banc superstatoréacteur ONERA

Le renouvellement de la composante aéroportée se profile à l'horizon 2030. L'ONERA explore en lien très étroit avec MBDA les différentes options technologiques possibles pour permettre à l'État de disposer le moment venu des éléments de choix.

La stratégie de pénétration des défenses adverses par des missiles à vitesses hypersoniques reste un défi scientifique et technologique majeur. Un très grand nombre de disciplines sont mises en jeu, telles que l'aérodynamique, la propulsion, l'architecture du vecteur, son contrôle et son pilotage.

Les enjeux sur les matériaux sont aussi très importants et intimement liés à la connaissance fine des phénomènes mis en jeu lors de la combustion supersonique.

L'option furtivité demande des matériaux avec des caractéristiques pérennes et compatibles avec la sévérité des environnements subis mais aussi des systèmes de préparation de mission optimisés pour la réactivité et la pénétration maximisée des défenses.

Il sera également nécessaire d'étudier des solutions aérodynamiques avancées comme les gouvernes fluidiques, de développer des outils d'optimisation des manches à air et arrière-corps discrets, de mettre au point des techniques de discrétion des éléments rayonnants (méta-matériaux, plasmas pour la furtivité des antennes), de mesures discrètes des paramètres air, ou encore des technologies de dégivrage discrètes. Là encore la simulation numérique jouera un rôle essentiel.

Dans le domaine des missiles, le principal enjeu vise à la consolidation de la filière industrielle franco-britannique par le développement et la réalisation de technologies modulaires.

D'autres enjeux technologiques sont communs à la filière missile, comme le développement de chaînes d'autoguidage prenant en compte l'évolution des cibles et des contremesures, à coût maîtrisé : autodirecteurs multimodes permettant une plus grande flexibilité d'emploi.



Configuration possible d'un missile à très haute vitesse

## Nouveaux concepts de systèmes de combats aériens



Maquette préfigurant le Neuron Dassault Aviation dans la soufflerie F1 du Fauga-Mauzac

Le principal enjeu de cet axe concerne la mise en service du système de combat aérien futur à l'horizon 2035. Ce système de combat aérien pourrait être basé sur une combinaison d'avions de combat et de systèmes pilotés à distance.

Des premiers travaux, auxquels l'ONERA participe, sont en cours sur le développement d'une plateforme non pilotée (UCAV), étudiée en coopération étroite par les industries française et britannique.

L'ONERA apportera ses compétences et technologies pour l'obtention d'un haut niveau de discrétion de la plateforme, l'augmentation de son niveau d'autonomie et pour l'optimisation des performances du moteur.

\*Surveillance de l'espace aérien national, contrôle des vols militaires et sécurité des vols militaires et civils, commandement et conduite des opérations aériennes et de la défense sol-air. Il fournit également une composante mobile de surveillance, de contrôle et de commandement pour les opérations aériennes.

Il contribuera à la simulation système, notamment en vue de consolider les spécifications et le concept d'emploi ainsi que pour réaliser la comparaison des variantes.

Le domaine de la robotique aérienne va voir le développement des techno-logies impulsé par l'usage dual des drones, notamment l'autonomie décisionnelle, la planification et le contrôle d'exécution de missions, la coopération entre robots terrestres et aériens, le guidage et la navigation en zone urbaine ou à l'intérieur des bâtiments (navigation basée vision), le développement de charges utiles miniaturisées.

Conformément aux demandes des services officiels, l'ONERA s'investira dans les technologies de lutte anti-drones permettant d'assurer la protection des sites sensibles.



Le drone aérien ONERA ReSSAC et un robot terrestre du Laas

## Systèmes de détection, d'alerte et de surveillance de l'espace

Dans le domaine de la protection, l'ONERA poursuivra son effort de modernisation et de développement de systèmes de surveillance de l'Espace (Graves) ainsi que d'alerte avancée, tant à base de satellites comme Spirale que de radars sol longue portée et transhorizon.

Ces développements s'accompagnent d'une action de fond sur l'évaluation de la menace au côté de l'État. Avec Thales, l'ONERA réalise le démonstrateur de radar TLP destiné à la détection à longue portée des départs de missiles balistiques.

L'amélioration des performances de détection passe par une meilleure compréhension de l'environnement physique (détection de cibles furtives en environnement difficile, différenciation entre oiseaux et minidrones...).

Le domaine des radars transhorizon est un domaine d'excellence de l'ONERA, qui réalise actuellement une importante évolution du radar transhorizon à onde de ciel Nostradamus (avec une distance de détection et de pistage des cibles aériennes portée à plus de 4000 km) et développe un radar de surveillance maritime lointaine (transhorizon à onde de mer) avec l'objectif d'accroître la couverture du système Spationav.

La supériorité aérienne étant obtenue en outre par la détection puis la neutralisation des émetteurs radars, la technologie passive vise à mettre en échec cette stratégie. L'ONERA est un des pionniers du radar passif, avec ses contributions aux premières générations (détection sur formes d'onde analogiques (radio FM) puis numériques (TNT), les efforts se poursuivent pour accroître les performances mais aussi étudier les contremesures utilisables pour se prémunir de la détection par des radars passifs, maintenant que cette technologie s'impose.

Dans le cadre de sa mission de référent « connaissance de l'environnement électromagnétique et infrarouge », l'ONERA développe les outils de qualification de SER et de SIR – méthodes, moyens, modélisations, métriques de comparaison des variantes – et portera cette mission à un niveau international pour en faire bénéficier l'industrie française à l'export.



Antennes du radar transhorizon Nostradamus de l'ONERA



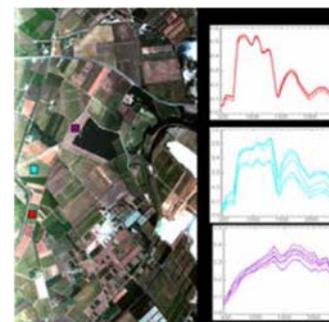
Système Graves (Grand réseau adapté à la veille spatiale)

## Traitement et acquisition d'information pour le renseignement

Les principaux enjeux concernent la préparation des futurs systèmes de recueil et d'exploitation du renseignement d'origine image (ROIM), le traitement automatique de l'information massive (et la Géoint) et l'intégration des futurs drones aériens de renseignement dans la chaîne de renseignement.

Pour répondre à ces enjeux, il est nécessaire d'investir dans les technologies suivantes :

- détection, reconnaissance, identification et localisation de cibles dans les domaines EM, validation de l'intérêt des technologies de détection de cibles masquées ou enterrées, des cibles difficiles (furtives, de petite taille) à très basse altitude
- détection de changement, détection d'indices d'activité, fusion des informations issues de capteurs hétérogènes
- détection, reconnaissance, identification et localisation de cibles dans les domaines visibles et IR, validation de l'intérêt des technologies hyperspectrales, laser et de leur couplage



Validation expérimentale de l'apport de l'hyperspectral

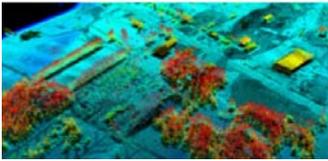
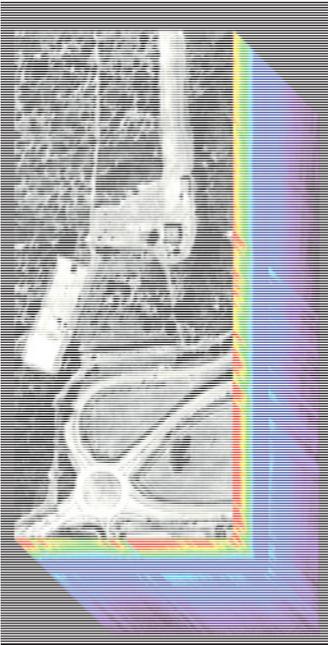


Image laser 3D



Cube d'images hyperspectrales riches en détails sur la zone observée.

- senseurs optroniques multifonctions pour la veille, l'observation, la détection, l'identification, la localisation et la désignation précise d'objectifs ;
- traitements radars évolués : émission colorée, large bande instantanée en réception, optimisation de l'occupation spectrale ;
- détecteurs infrarouges refroidis à hautes résolution et sensibilité fonctionnant à des températures plus élevées, détecteurs infrarouges non refroidis à haute résolution, imageurs à bas niveau de lumière, résistance des détecteurs aux agressions laser ;
- détecteurs infrarouges dédiés à l'imagerie spectrale, l'imagerie laser et les micro-caméras refroidies ou non, basées sur des fonctionnalités optroniques au plus près du détecteur ;
- composants et sources laser : fibres, interaction lumière-matière, techniques de mise en cohérence...
- algorithmes de traitement automatiques ou interactifs.

Concernant l'exploitation et l'analyse des données, il faudra développer les technologies de partage et de valorisation de l'information disséminée, de localisation précise et précoce ami/ennemi, ainsi que d'indexation, de recherche et d'analyse des données multi-modales pour en extraire, via les techniques d'apprentissage avancées, des éléments de connaissance dans un contexte de grandes masses de données hétérogènes.

## Prospective, veille, expertise et analyse des menaces



Simulations physiques et simulations systèmes

Cependant, l'ensemble de ces orientations ne doit pas faire oublier la nécessité de conserver des capacités significatives d'expertise qui permettent d'analyser en continu les évolutions des menaces ou les progrès des défenses, tout particulièrement en matière de dissuasion.

Cette expertise doit s'appuyer sur un socle de compétences de très haut niveau tant sur les aspects scientifiques et technologiques que sur celui de la connaissance des systèmes existants ou en développement. Elle doit évidemment alimenter la réflexion sur le long terme voire le très long terme, au-delà des programmes déjà engagés.

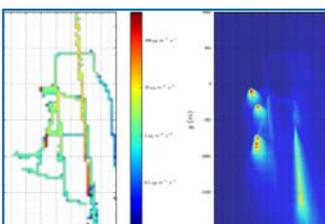
## 2. Aéronautique

Les prévisions d'évolution du trafic aérien annoncent trois fois plus de passagers-kilomètre transportés dans les 20 à 40 prochaines années.

La Commission européenne, dans sa vision Flightpath 2050, estime que le nombre de vols commerciaux atteindra ainsi 25 millions par an en 2050, soit plus de deux fois et demi le trafic enregistré en 2011 (9,6 millions de vols).

Cette croissance du trafic aérien s'accompagnera d'une diversité des aéronefs et de leur usage dans tout l'espace aérien, y compris dans les plus basses ou plus hautes couches de l'atmosphère.

Comme l'indiquent de nombreuses études prospectives, issues de groupements professionnels, d'associations d'utilisateurs ou d'analyses d'agences d'État, ce développement est clairement conditionné par trois facteurs : la diminution de l'empreinte environnementale des systèmes aériens ; l'augmentation de fiabilité et de résilience des aéronefs, de



Modélisation de la qualité de l'air sur un aéroport régional (IESTA)

leurs systèmes et plus généralement de l'infrastructure globale d'exploitation des espaces aériens ; enfin l'augmentation de la performance et la baisse des coûts.

## Une nouvelle génération d'aéronefs

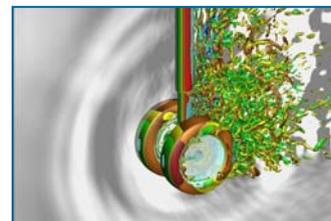
Diminuer l'empreinte environnementale des systèmes aériens et les rendre plus durables passe par la réduction des émissions ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CH}_4$ , suies, aérosols), du bruit, de la consommation d'énergie fossile, par l'intégration dans l'économie circulaire et la prise en compte des prélèvements de matières premières rares, enfin le respect de la réglementation Reach sur les produits utilisés. L'ONERA s'y implique fortement en lien avec ses partenaires et en particulier dans le cadre du Réseau thématique environnement (RTE) du Corac.

L'augmentation de la résilience face aux agressions externes ou aux dysfonctionnements du système aérien passe, elle, par une meilleure appréciation des conditions environnementales, voire une prévision de celles-ci et une adaptation fine des missions, une adaptation des matériaux et des composants, plus résistants mais aussi plus tolérants aux dommages, des systèmes plus tolérants aux pannes.

Un aéronef résilient possédera nécessairement un haut niveau d'intelligence embarquée avec senseurs, traitements et interaction avec les moyens au sol et des interfaces pilote avancées. La sécurité demande aussi une amélioration des connaissances des agressions externes (foudre, givre) et internes (tenue ou dégazage des matériaux au feu). Si celle-ci est du ressort de l'industriel, la connaissance des phénomènes physiques et des capacités des matériaux et des structures à répondre aux besoins lui seront indispensables.

Enfin, l'augmentation de performances et la réduction des coûts ne seront pas possibles sans des progrès en propulsion, avec le développement de techniques de réduction de traînée et de nouveaux concepts comme les turboréacteurs à fort taux de dilution et ingestion de couche limite ou les moteurs à hélices contrarotatives non carénées (CROR).

De nombreuses formules aéropulsives radicalement différentes du paradigme *tube and wings* dominant depuis les débuts de l'aviation sont en cours d'élaboration à l'ONERA, comme ailleurs, et de nouveaux types d'aéronefs verront le jour (depuis les aéronefs à voilure mixte jusqu'aux drones). On peut également imaginer de nouvelles perspectives pour la propulsion super ou hypersonique. Il faut donc concilier l'adaptation et l'optimisation des conceptions actuelles sur le court terme (3 à 5 ans) et la préparation des générations futures d'engins et de systèmes (5 à 15 ans), utilisant toutes les connaissances en aérodynamique et aéroacoustique, sciences des matériaux, énergétique, ingénierie systèmes et recourir massivement à la simulation numérique pour produire les ruptures nécessaires à l'atteinte des objectifs prescrits, dans un monde où la concurrence internationale s'exacerbe et se diversifie.



Bruit émis par un train d'atterrissage (calcul elsA + CAA ONERA)



Calcul LES intégrant l'atomisation et la combustion diphasique (ONERA CEDRE). Configuration banc Mascotte.



La configuration Nova (NextGen ONERA Versatile Aircraft)



H160 Airbus Helicopters équipé de pales BlueEdge, 50% moins bruyant que la génération précédente (brevet AH-ONERA)

## Un monde aérien plus global, plus performant et plus digital

Les systèmes d'information et de gestion du vol et du trafic, s'interconnectant et se globalisant, doivent progresser pour apporter le niveau de sûreté, de fiabilité et de sécurité souhaité.

Cela passe par une information plus complète et plus fiable sur l'environnement de l'aviation (météo, autres aéronefs, obstacles sur et autour des aéroports), une aide à la prise de décision, une ergonomie de l'information communiquée au pilote et au sol que peuvent apporter tous les capteurs disponibles et le développement de multiples moyens de communication.

Les communications et les systèmes embarqués se multiplient. Il faut s'assurer que ces derniers ne peuvent être perturbés accidentellement ou intentionnellement par des agents extérieurs et que l'interaction entre systèmes et communications ne conduit jamais à des modes de fonctionnement dégradé dommageables.



La plateforme IESTA de l'ONERA



Scénario *Regulatory Push-Pull* de l'étude ONERA ATS 2050

Dans le domaine de la certification, de la validation ou de la démonstration avant mise en service, la simulation numérique associée à l'expérimentation voire au *human in the loop* jouera un rôle majeur tout à la fois pour réduire les coûts et les délais de développement, et pour s'assurer que les fonctions requises sont obtenues dans toutes les situations qu'il est possible de rencontrer.

De même, le traitement des données et informations recueillies tant en vol qu'au sol, sur des capteurs et au sein de bases de données de toutes natures sera mis à profit pour réguler en temps réel la multitude d'usages de l'espace aérien que nous connaissons demain : multiplication certaine des types d'aéronefs présents dans le ciel (jets traditionnels, avions plus lents, avions personnels, hélicoptères traditionnels et rapides, drones), multiplicité des utilisations (transport passager, fret, surveillance, inspection) et des modes de pilotage (aéronefs télépilotés, aéronefs automatiques). Beaucoup de nouveaux concepts ou de nouvelles approches restent à étudier pour enrichir les systèmes de gestion du trafic (ATM). L'ONERA s'y emploie en particulier dans le cadre du programme SESAR en liaison étroite avec la DSN et l'ENAC.



NASA concept for a possible *Unmanned Aircraft System Traffic Management (UTM)*

Les drones appartiennent déjà au présent. En pleine émergence, ils laissent entrevoir un futur dans lequel ils contribueraient à satisfaire des besoins de toutes natures et dans tous les domaines, publics et privés.

Tout laisse à penser que les évolutions scientifiques et technologiques seront tirées par le besoin et la recherche de nouvelles applications à base de drones, à l'instar de ce qui s'est produit pour le téléphone portable.

Cependant, le développement des drones est entièrement subordonné à la preuve d'une garantie de sécurité, en priorité au sens de la sécurité

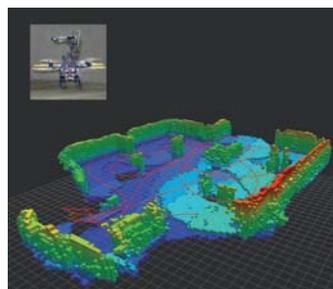
aérienne, ensuite au sens du respect des intérêts publics et privés.

À cet égard, deux évolutions majeures sont en marche :

- les drones deviennent de plus en plus robotisés pour renforcer la sécurité et augmenter les performances en mission, tout en allégeant les contraintes du pilotage à distance ;
- l'autonomie de décision progresse parce qu'elle apparaît essentielle pour couvrir des besoins en défense et sécurité, ou pour traiter le cas de « l'autonomie forcée » d'un drone dont le pilote distant aurait perdu le contrôle.

Lorsque la sécurité des drones aura été démontrée, lorsque les concepts de robotique collaborative auront confirmé leur potentiel, tout porte à croire que des solutions du même type pourront être jugées applicables ou adaptables à d'autres aéronefs. Dans le même temps, se posera la question de l'intérêt d'une automatisation, au moins partielle, du système de transport aérien.

Dans ce contexte, les drones sont porteurs de ruptures non seulement en tant que nouvelles plateformes, mais également en tant que facteurs de stimulation pour l'apparition de nouvelles formes d'utilisation et de gestion de l'espace aérien.

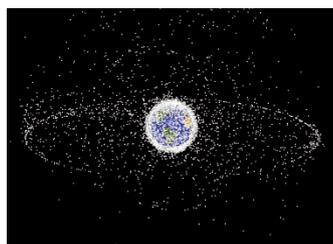


Drone doté d'une vision 3D, avec capacités de calcul temps-réel, reconstruisant son environnement

### 3. Spatial

L'Espace, vu sous l'angle d'une infrastructure, apporte une immense contribution aux enjeux stratégiques de développement socio-économique et sociétal. Le monde, en évolution rapide, sera dans les prochaines décennies de plus en plus densément peuplé, avec une demande croissante de ressources, requérant une plus grande attention à la préservation de l'environnement, un besoin accru de technologies de communication, de mobilité et de sécurité. La protection de l'environnement orbital autour de la Terre contre les débris spatiaux doit par ailleurs garantir la viabilité de nos activités spatiales.

Dans le plan à long terme 2015-2024 de l'Agence spatiale européenne, les programmes scientifiques « observation de la Terre » et « exploration cosmique » se déclinent en



Débris spatiaux en orbite (NASA Orbital Debris Program Office)

quatre grands thèmes : le climat, la compréhension de la gravité, la vie dans l'Univers, la radiation et le magnétisme dans l'univers cosmique. Au niveau national, le rapport de la Stratégie nationale de recherche, de mars 2014, rappelle les principaux enjeux de la stratégie spatiale de la France, notamment en matière d'indépendance et d'innovation technologique, conformément aux recommandations du Cospace, sans oublier le développement de services à haute valeur ajoutée.

La Commission européenne a lancé le programme cadre de recherche Horizon 2020 (H2020) en mettant l'accent sur la nécessité de mettre à niveau la compétitivité industrielle et de développer le marché des applications issues du spatial. Les États membres ont opté pour le lanceur Ariane 6 en 2020, pour contrer la mise sur le marché du lanceur Falcon de Space-X. Ces programmes insistent aussi sur l'innovation et la compétitivité industrielle avec :

- le développement de nouveaux lanceurs et le support à leur exploitation
- les éléments de programme Artes pour les satellites de télécommunications
- les activités de recherche et développement technologique en complémentarité des programmes nationaux et du programme H2020 de l'Union européenne

Les programmes liés au développement des marchés de services sont également amenés à se développer : météorologie, Copernicus, Galileo NG. Par ailleurs, de nouvelles opportunités vont se présenter : vols habités et exploration, accès bas coût à l'espace, sécurité et nouveaux enjeux de défense.



Maquette d'Ariane 6 (S2MA)



Exemple de dispositif spatial de capture multi-corps



Altair : projet H2020 coordonné par l'ONERA pour le lancement économique des petits satellites

## Une nouvelle utilisation de l'espace

L'heure est maintenant à la construction d'une exploitation durable et multiple de l'Espace dans un contexte nécessairement international. Les principales ruptures concernent : la réutilisabilité complète ou partielle des lanceurs, les problématiques associées aux débris, l'émergence des nano et microsats, ainsi que la nécessité d'une meilleure connaissance de l'environnement spatial pour l'opérationnel (résilience des systèmes satellitaires, performance économique, performance environnementale).

Dans le domaine des systèmes orbitaux, nombre de technologies peuvent accompagner les défis des composantes satellitaires en télécommunications et observation de la Terre : propulsion électrique, propulsion hybride, lidars pour mesurer la concentration des gaz à effets de serre, accéléromètres de très haute sensibilité en géodésie et aéronomie pour l'observation de la Terre, propagation Terre-Espace, communications et navigation par satellites, liaisons optiques, hyperspectral, optique active à très haute résolution, optique adaptative, SAR, autonomie.

La distribution de fonctions sur des essaims de satellites de petite taille ou le développement des applications de masse de l'Espace amènent également de nouveaux thèmes de recherche et développement dotés de perspectives extrêmement larges.

L'ONERA dispose également d'une forte expertise dans le domaine de l'environnement spatial, développée et utilisée étroitement avec le CNES.

## Le développement de nouveaux systèmes de propulsion

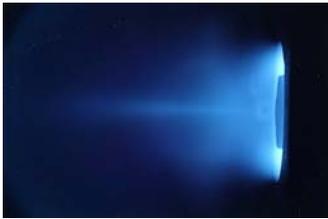
Dans le domaine de l'accès à l'espace, il sera essentiel de progresser dans la compréhension et la maîtrise des phénomènes complexes : expertise en propulsion solide et propulsion liquide, recherche en aérodynamique, en aérothermique, en acoustique et en mécanique du vol.

Des études prospectives et des travaux de recherche devront être menés à l'avenir sur les systèmes de lancement bas coût et fiables pour des lanceurs consommables et/ou réutilisables avec pour objectifs :

- le confort de la charge utile : niveaux vibratoires dans les structures, bruit de jet lanceur



Simulation CEDRE de dispositifs de réduction d'onde de souffle au décollage pour réduire la sollicitation acoustique des charges utiles



Panache de plasma propulsif en sortie d'un moteur plasmique

- la fiabilité du lanceur : guidage/pilotage, calculs thermiques couplés, durée de vie des composants, nouveaux procédés de mise en œuvre des matériaux incluant la voie métallurgie des poudres (fabrication additive), rentrées atmosphériques de débris de lanceurs ou d'étages, embarquabilité des processeurs manycore, vérification formelle des logiciels
- le lanceur bas coût : technologie des chambres pour étages/lanceurs réutilisables, réalisation de structures spatiales renforcées par treillis composites, modélisation du comportement des matériaux, propulsion hybride pour l'étage supérieur d'un futur lanceur
- le lanceur réutilisable : phase de rentrée et de retour (coût lanceur, MHD pour la rentrée atmosphérique)
- le véhicule de transfert spatial-Space Tug : aérofreinage du remorqueur spatial, missions et trajectoires d'un Tug spatial à propulsion électrique
- la propulsion électrique : moteur plasmique ECRA, diagnostics, modèles de plasma, modèles de mission, et tests au sol
- la propulsion hybride : carburant solide, comburant liquide, compatibles Reach

### *Des instruments d'observation nouveaux ou poussés au-delà de leurs limites actuelles*



Système ABISS pour la détection et le suivi d'objets spatiaux

Concernant les missions scientifiques, les accéléromètres de très haute sensibilité pour la mesure du champ de gravité des planètes et la recherche fondamentale seront mis à contribution dans les prochaines missions scientifiques et interplanétaires, européennes et internationales.

La détection d'exoplanètes s'appuiera en outre sur les travaux en spectroscopie des exoplanètes par coronographe imageur multi-pupille actif et sur la diversité de phase coronographique en ce qui concerne leur détection depuis l'espace.

Dans le domaine de la surveillance de l'Espace, les compétences de l'ONERA en matière de radar de surveillance et de catalogage des objets doivent être mises à profit tant dans les applications militaires que civiles.

Dans le domaine des systèmes spatiaux de sécurité et de défense, l'accent doit être mis sur l'observation optique de haute résolution (optique active et analyseurs de surface d'ondes), sur la richesse des informations recueillies (imagerie hyperspectrale et exploitation) et sur les communications optiques.

### **Les ruptures et les approfondissements nécessaires**

L'ONERA a engagé récemment un ensemble d'actions pour réaffirmer son rôle prospectif, une vision d'ensemble des systèmes aérospatiaux et des capacités d'appui à la conception des systèmes aérospatiaux du futur par des méthodes innovantes, notamment afin d'accroître la créativité des ingénieurs, la pertinence et la rapidité de proposition de nouveaux concepts.

### *Dans de nombreux domaines, les conceptions actuelles vont rapidement trouver leurs limites*



Concept AMPERE (propulsion électrique répartie)

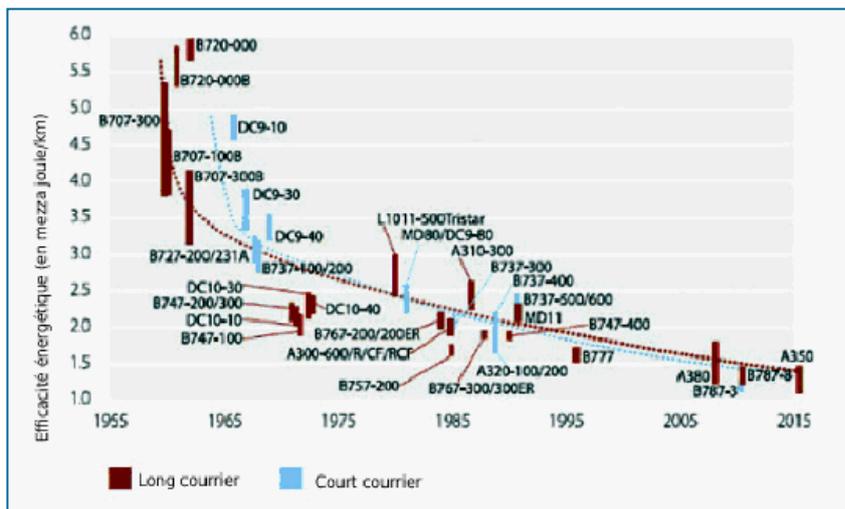
Bien qu'assez paradoxalement le domaine ASD se trouve plutôt dans une fin de cycle de développement, de nombreux indicateurs et des analyses convergentes appellent au développement d'innovations de rupture pour atteindre les objectifs et les ambitions et dépasser les limites de conceptions, dont certaines remontent à quelques décennies déjà.

Ces innovations apparaîtront dans un contexte radicalement différent de celui de la fin du siècle dernier du fait des réorganisations tant institutionnelles qu'industrielles, du rôle majeur joué par l'industrie et le marché, mais aussi de l'évolution des sources de financement de la R&T. L'articulation entre court et long termes, entre bas et hauts TRL, l'imbrication de la recherche publique et de la recherche privée en sont aujourd'hui les défis majeurs.

La vision de l'ONERA s'inscrit totalement dans ces perspectives : des ruptures sont possibles et déjà entrevues. Elles concernent quatre grands aspects et s'appuieront sur ses bases de connaissance, son expérience et ses compétences multiples et transverses :

- **les ruptures technologiques proprement dites** : les nouvelles motorisations intégrées, l'avion électrique, l'avion sans pilote, les concepts supersoniques (qui connaissent un regain d'intérêt), le lanceur réutilisable, le contrôle 4D du trafic aérien, l'optimisation multicritère pluridisciplinaire, l'expérience numérique et le contrôle numérique de l'expérimentation, la « co-soufflerie-simulation », les matériaux multifonctionnels ou auto-cicatrisants, les nanomatériaux et nano-revêtements, les nouveaux concepts aérodynamiques au-delà du « tube and wings », la robotique aérienne collaborative, les systèmes de propulsion à plasma ou hybrides, la nano-opto-électronique, les synergies radar-optronique...
- **l'approche des systèmes complexes et du traitement des grandes masses de données hétérogènes** issues de nouvelles sources\* ou de nouveaux capteurs, intégrant les capacités cognitives des opérateurs, avec l'enjeu d'une d'embarquabilité considérablement accrue
- **une autonomie radicalement plus importante des systèmes** : s'il n'appartient pas à l'ONERA de décider du niveau d'autonomie des systèmes, du partage d'autorité, ou du niveau d'intelligence embarquée, il doit s'inscrire dans cette tendance en fournissant des briques et des concepts d'aide à la décision, d'automatisation, d'optimisation, d'identification des environnements et des aléas dans l'objectif de dépasser les limites de fiabilité\*\* de l'homme et de mieux coordonner en temps réel les systèmes de défense, aéronautiques ou spatiaux.
- **une évolution des méthodes de certification** face aux difficultés que rencontre le secteur aéronautique, tant en termes de multiplication du nombre d'essais et de façon générale des coûts et délais de certification, qu'en termes de nouveaux enjeux de certification de systèmes plus ouverts, intégrant de l'intelligence répartie ou la prise en compte des incertitudes. Les progrès seront basés sur une connaissance encore plus fine des environnements de vol, et plus généralement de la physique sous-jacente ainsi qu'une analyse fine des interactions homme-systèmes ou systèmes-environnement. La simulation numérique y jouera un rôle croissant.

L'ONERA doit concentrer son action sur ces ruptures et ces approfondissements, qui sont sources de progrès pour le domaine ASD et d'enthousiasme pour les chercheurs. Ils nécessitent de développer encore davantage toute la transversalité de l'organisation et les capacités d'attaque multidisciplinaire des défis qui y sont associés.



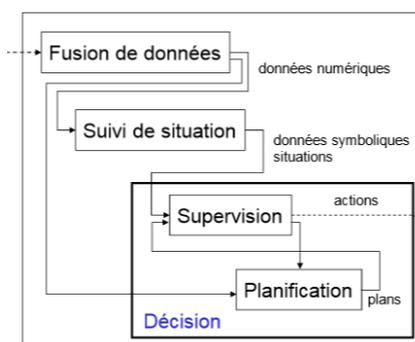
Les progrès en consommation des configurations traditionnelles tendent vers leur limite (Safran, Icas 2014)



Concept à grand allongement et haubans Albatros



Vue d'artiste d'une coopération pilote-essaim de drones de combat [ONERA 2025]



Exemple d'architecture décisionnelle

*"Major innovations will be possible only through a fully integrated research process between research establishments and industry. All promising technologies and drivers must be investigated: future technology selection must not be done too early. Research establishments have a key role in certification and standardization of innovative technologies"*

EREA (in Air transport system 2050 vision to planning for research and innovation, 2012)

\*Un exemple parmi beaucoup d'autres : les données d'observation de la Terre mises à disposition par le programme Copernicus, programme conjoint de l'ESA et de l'UE

\*\*Embarqué ou au sol : temps de réaction, capacités de mémorisation ou de traitement, résistance à la fatigue ou au stress, facteurs humains organisationnels

## Douze défis scientifiques à relever

Que ce soit en vue des finalités de conception d'avions, d'hélicoptères, de drones, de lanceurs ou de missiles, les grands défis identifiés ici affirment tout d'abord la nécessité de disposer de connaissances et de méthodes qui permettent d'aborder efficacement la pluridisciplinarité du sujet et l'optimisation multicritère.

La robustesse de fonctionnement de ces aéronefs, associée à des systèmes intelligents et sûrs, forme la base des besoins aériens de demain.

Que ce soit pour l'aérodynamique, la propulsion, les structures ou les matériaux, le défi que constitue l'avion plus sobre, plus sûr et moins coûteux demande de nouveaux concepts et des modélisations physiques et numériques de plus en plus complexes, à valider avec certitude pour réduire les essais et les coûts de développement associés ainsi que ceux des certifications.

Les systèmes de défense exigent du radar et de l'optronique, de l'intelligence embarquée, des matériaux, de l'aérodynamique... Ils nécessiteront des virages technologiques et de conception, en particulier numériques, qui permettront la miniaturisation, l'augmentation de résolution spatiale et temporelle, une plus grande opérationnalité et un coût moindre, l'ensemble étant modélisé dans son environnement opérationnel. Le SAR centimétrique, les nano-antennes optiques sont par exemple déjà en développement.

Comme pour les systèmes de navigation ou de perception artificielle, l'ONERA est particulièrement bien armé pour développer les méthodes de coconception qui allient dans une même optimisation : technologies de capteurs, traitement des signaux mesurés, exploitation des données et prise en compte des contraintes opérationnelles.

Le croisement de l'analyse des besoins au service des finalités exprimées avec les possibilités nouvelles issues de la science et la technologie pour y répondre a conduit l'ONERA à identifier douze défis, recouvrant deux grands domaines : les véhicules et les systèmes aérospatiaux d'une part, et l'observation et la décision d'autre part.

Cette segmentation, plutôt disciplinaire, ne doit pas faire oublier la transversalité et la multidisciplinarité indispensables à la production de résultats transférables ou utilisables pour le développement d'objets ou de systèmes face à un besoin concret.

---

### *Répondre aux attentes et aux besoins des services officiels*

---

Au premier plan des enjeux des orientations de recherche figurent les réponses aux besoins spécifiques de la DGA et de la DGAC :

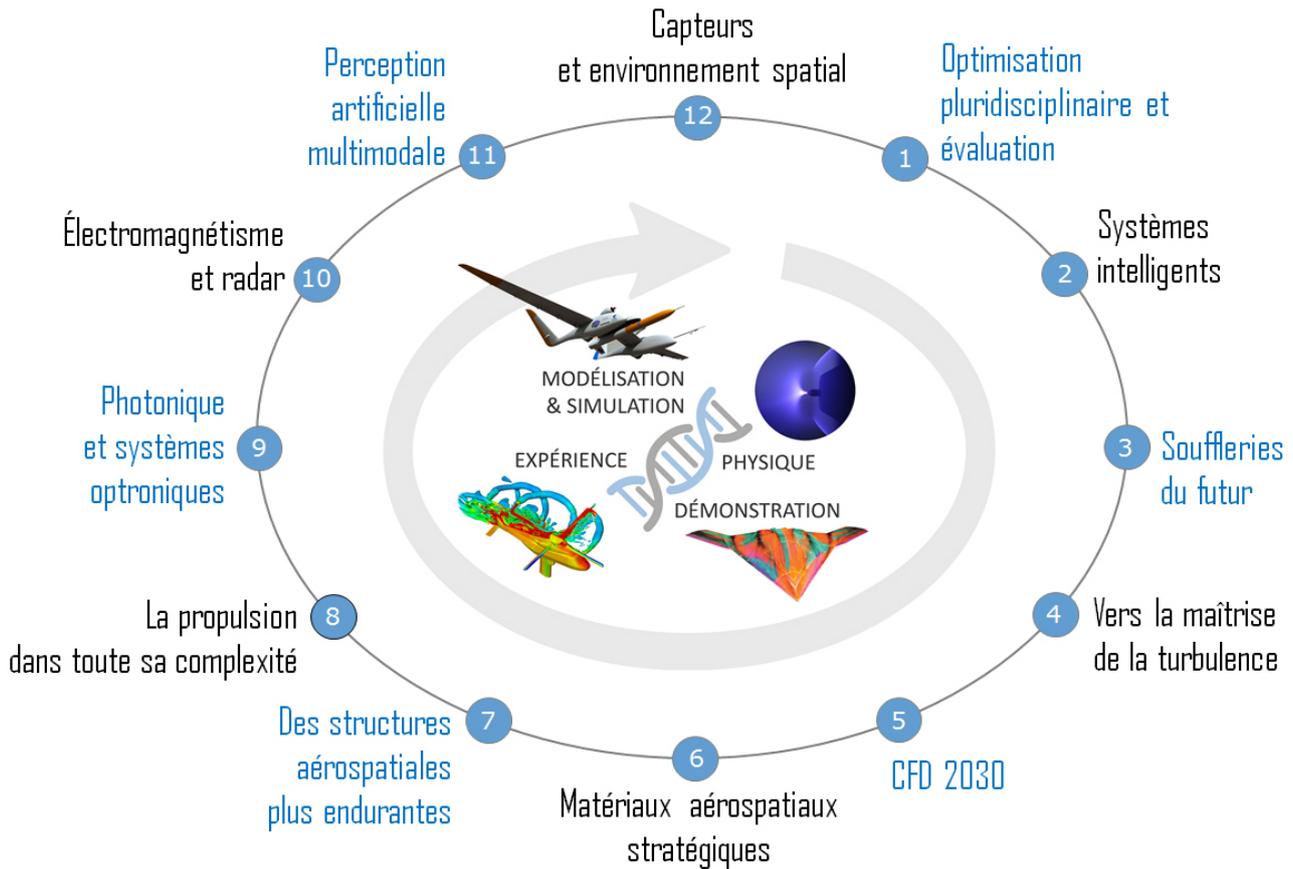
- préserver et développer les compétences (socles et spécifiques) utilisées dans les programmes, ainsi que la capacité d'expertise demandée par la DGA ;
- préserver et construire les capacités d'appui à la DGAC sur les questions d'environnement, de sécurité et de certification.

Les défis sur les thématiques de l'optronique (défi 9) et de l'observation électromagnétique (défi 10) permettent par exemple de garantir l'expertise électromagnétique voire optronique sur l'environnement, de construire des référentiels de simulation indispensables à la qualification des produits et des chaînes fonctionnelles basées sur des systèmes de senseurs. Les outils et les méthodes les plus récentes et les plus performantes développées dans le défi 1 seront également mobilisées.

De la même façon, le soutien et l'expertise pour le compte de la DGAC s'expriment au travers des actions de recherche des défis concernant les systèmes performants et sûrs (défi 2), l'utilisation des grandes souffleries dans le futur (défi 3), la modélisation et le contrôle des phénomènes physiques aux limites (défi 4), ou les structures et systèmes de propulsion plus tolérants à leur environnement et répondant mieux aux exigences croissantes (défis 7 et 8). Certaines problématiques émergentes comme la sécurité des systèmes cyber-physiques\* sont également incluses dans le périmètre du PSS (défi 2 pour cet exemple).

Les contributions aux priorités technologiques de la DGA et à la Stratégie nationale de recherche portée par le Menesr sont listées en annexe.

\*Systèmes embarqués complexes interagissant avec leur environnement de manière continue et dynamique via l'association d'éléments informatique, de communication et physique.



## Les douze défis scientifiques de l'ONERA

Les défis de l'ONERA doivent également apporter une contribution significative aux cinq domaines d'intervention du CNES :

- dans le domaine défense où sont identifiés des besoins sur l'observation optique à très haute résolution, ainsi que la détection et l'alerte des tirs de missiles balistiques, avec les défis 9, 10 et 12 ;
- dans celui des lanceurs en imaginant les ruptures qui renforcent la compétitivité des systèmes de lancement ou des concepts de lanceur réutilisable, avec les défis 1, 3, 6, 7, 8 et 12 ;
- dans ceux de l'observation, avec les recherches sur les satellites et systèmes spatiaux pour mieux comprendre le système Terre, en incluant les charges utiles nécessaires et le traitement des données, avec essentiellement les défis 9, 11 et 12 ;
- dans ceux des télécommunications spatiales, pour faire émerger et valider les technologies spatiales que les industriels et les opérateurs mettront en œuvre (défi 9) ;
- enfin dans le domaine des sciences, où le CNES soutient la communauté nationale dans la réalisation d'instruments de pointe embarqués à bord de satellites, avec également un apport sur les conditions de mission ou la prise en compte de l'environnement spatial, avec les défis 6, 7 et 12.

### *Au cœur des enjeux à long terme du secteur industriel*

Le premier de ces enjeux est de comprendre et modéliser la physique pour l'introduire dans les applications comme, pour ne prendre que deux exemples, dans le domaine de l'environnement des aéronefs notamment en conditions extrêmes, ou dans celui de l'étude des plasmas pour l'observation, la protection, la propulsion ou le contrôle d'écoulements.

Le plan stratégique scientifique inscrit clairement ses orientations en cohérence avec les axes et les feuilles de routes du Corac auxquels il contribue, sur l'avion du futur (conception d'aéronefs et d'hélicoptères, opérations aériennes - gestion des avions, systèmes embarqués, insertion dans le trafic et dans l'ensemble du paysage aérien) et dans une moindre mesure sur l'usine aéronautique du futur. Le positionnement de l'ONERA vis-à-vis des technologies de rupture identifiées par le Gifas figure en annexe.

Le PSS doit aussi conserver à l'ONERA la capacité à dynamiser les recherches plus fondamentales dans une perspective qui se situe au-delà de la prochaine décennie pour répondre aux besoins de rupture technologique sur les architectures innovantes (nouvelles géométries de voilure, aile volante) et les modes de propulsion (propulsion électrique distribuée, moteurs à très haut taux de dilution) par exemple, intégration avion-environnement ou homme-système.

Les besoins d'innovation et de ruptures pour le secteur Défense et pour le secteur de l'aérospatial civil en termes de matériaux, propulsion, nouvelles formules aéropropulsives, sont traités dans les défis disciplinaires 6, 7 et 8.

La construction d'une simulation numérique robuste, performante et validée pour l'aéronautique constitue bien sûr le cœur du défi 5, elle s'appuie également sur le défi 3 pour les perspectives du lien calcul-essais, de la métrologie et de la validation ou encore sur le défi 1 pour les couplages multiphysiques, et les méthodologies de construction de modèles réduits ou de prise en compte des incertitudes. La dimension partenariale avec les laboratoires de recherches et les grands instituts internationaux y prend une place essentielle.

Les orientations du plan scientifique stratégique constituent la base des choix d'investissements sur les moyens nécessaires à l'atteinte des objectifs, tant sur les investissements en machines de calcul ou de façon plus générale à l'accès au calcul très haute performance, que sur les grands moyens d'essais.

A ce titre, les grandes souffleries de l'ONERA sont au cœur de deux enjeux cruciaux. Le premier est celui de l'évolution de ces souffleries au service des besoins des programmes de défense ou du développement de projets industriels, dans un monde qui évolue très vite avec les progrès de la simulation, le développement du big data ou encore l'exigence portée sur la sécurité y compris en conditions dégradées. Le défi 3, encore embryonnaire, s'y attache car les perspectives de progrès tant en métrologie, en hybridation des essais, qu'en assimilation de données sont prometteuses. Le deuxième enjeu concerne la dimension scientifique de ces souffleries tant pour les besoins de l'ONERA (et de ses défis) que pour ses partenaires, et l'ambition de tirer parti de ces installations exceptionnelles au sein des défis doit être réaffirmée.

Chaque défi est présenté selon un canevas identique. Il identifie d'une part son objectif général et les priorités de recherche à horizon 2020, d'autre part les partenaires envisagés ou les partenariats déjà engagés ainsi que les atouts dont l'ONERA dispose pour aborder le défi.

Les illustrations présentes au sein de chaque présentation démontrent également l'assise scientifique et technique que l'ONERA peut mobiliser pour relever ces douze défis. Un exemple de « pépite » actuelle ou future doit permettre de rendre tangible le type de résultat attendu de chaque défi.

Enfin, la dernière partie sur les leviers à mobiliser pour réussir précise un peu plus les modalités de mise en application du plan stratégique scientifique notamment via la constitution de feuilles de route pourvues d'objectifs en termes de résultats, de moyens expérimentaux et numériques et de délais.

### Thèmes retenus par le groupe « bas TRL » du Corac

1. Architectures d'aéronefs innovantes
2. Moteurs et nouveaux concepts propulsifs
3. Systèmes et avionique embarquée
4. Matériaux avancés
5. Gestion du trafic aérien futur
6. L'aéronef et son environnement
7. Sciences humaines pour l'aéronautique
8. Simulation multiphysique haute performance
9. Expérimentation avancée pour la validation des outils numériques
10. Certification par le calcul
  - Génération & stockage de l'énergie
  - Architectures informatiques pour les simulations
  - Carburants alternatifs

ACTUALISÉ  
2020

## Les orientations qui infléchissent le PSS en 2020. Actualisation du PSS

Le plan scientifique stratégique de l'ONERA, élaboré en 2014-2015 par un travail collectif extrêmement important, a été publié au début de l'année 2016. Il en prévoit une actualisation régulière. Bien sûr, la création des feuilles de route de l'ONERA en 2019, directement reliées aux enjeux scientifiques du PSS mais plus directement ciblées sur un résultat concret et un horizon temporel, entre également en ligne de compte et a d'une certaine façon anticipé une forme d'actualisation du PSS. Les processus « feuilles de route\* » – « actualisation du PSS\*\* » sont de fait des processus couplés et continus.

L'actualisation proprement dite du PSS s'appuie d'une part sur le bilan de ces quatre premières années de mise en œuvre effective, d'autre part sur l'examen de l'impact sur l'ONERA que peuvent avoir des progrès scientifiques ou des évolutions significatives du contexte dans lequel s'exerce sa mission. Au cours de ce travail d'analyse, aucun nouveau défi n'est apparu comme pertinent à ajouter, mais nombre des défis existants incorporent désormais les orientations scientifiques et les priorités nouvelles qui ont pu en être déduites. Les huit leviers pour réussir sont pour leur part assez largement remaniés.

Les cinq axes de réflexion qui au-delà de l'examen du bilan 2016-2019 du PSS forment la base de la méthode utilisée pour son actualisation sont les suivants :

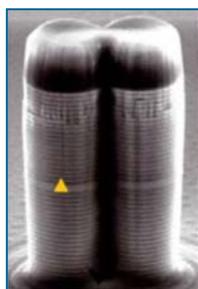
TECHNOLOGIES  
QUANTIQUESINTELLIGENCE  
ARTIFICIELLEINDUSTRIE  
AÉROSPATIALE  
4.0RENOUVEAU DE  
HYPERVÉLOCITÉ  
DE DÉFENSENEW SPACE ET  
ARSENALISATION  
DE L'ESPACE

Image d'une source ultra-brillante de paires de photons intriqués en polarisation

© CNRS/C2N

et il est utile d'en détailler les enjeux, car l'actualisation des défis qui en résulte leur est directement reliée.

TECHNOLOGIES  
QUANTIQUES

La théorie quantique a beaucoup été utilisée depuis 50 ans pour développer des dispositifs (lasers, GPS, transistors...). On parle aujourd'hui de seconde révolution quantique car les technologies associées reposent sur l'exploitation de deux concepts-clés que

les progrès expérimentaux de la dernière décennie ont concrètement rendu accessibles à l'ingénierie :

- une particule (électron ou photon par exemple) peut se trouver dans deux états différents en même temps, un phénomène connu sous le nom de superposition quantique ;
- une particule (électron ou photon) peut interagir avec une autre particule du même type mais dans un autre état (par exemple, à une certaine distance, ou dans un autre état de polarisation), grâce à ce que l'on appelle l'intrication.

Ces progrès interrogent le PSS selon trois axes applicatifs qui intéressent particulièrement le domaine Aéronautique, Spatial, Défense :

- *Few particle physics* (sources, détection, manipulation), où l'ONERA pourra contribuer à la conception/réalisation de composants ; établir des protocoles de mesure associés ; les appliquer notamment pour les diagnostics physiques ;
- Mesure quantique (nouvelles limites de bruit, capteurs aux performances inédites) avec des applications en ASD, comme l'inertiel ou le radar ;
- Calcul quantique pour le HPC. Il est indispensable de préparer l'adaptation qui pourrait s'avérer être assez radicale de nos outils logiciels (modification significative des approches de l'algorithmique de calcul, refonte des techniques voire des notions usuelles d'algèbre linéaire), mais également d'être attentif aux nouvelles possibilités qu'offre ce type de calcul.

**Les défis du PSS impactés par les technologies quantiques sont : 9. Photonique et systèmes optroniques ; 10. Électromagnétisme et radar ; 12. Capteurs et environnement spatial.**

\* <https://www.onera.fr/feuille-de-route>

\*\* <https://www.onera.fr/fr/pss>

## INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Les récents progrès dans le domaine de l'intelligence artificielle (IA), et tout particulièrement les techniques d'apprentissage artificiel, mais aussi son usage croissant dans pratiquement tous les champs scientifiques en font l'un des principaux enjeux de la pro-

chaine décennie. De nouvelles architectures de réseaux de neurones (dont les réseaux profonds) permettent l'apprentissage hiérarchique des caractéristiques des données à différents niveaux sémantiques, l'apprentissage sous faible supervision, l'apprentissage multi-tâches, l'apprentissage par renforcement de comportements de systèmes dynamiques, etc.

Au-delà, tout un ensemble de techniques de prédiction et d'aide à la décision, statistiques et probabilistes, voient leur développement s'accélérer bénéficiant pour cela des nouvelles architectures de calculateurs mais aussi du partage par la communauté scientifique de bibliothèques open-source de logiciels et de jeux de données.

Dans de nombreux champs du domaine ASD, l'IA est porteuse de transformations profondes. L'ONERA a élaboré en 2019 un document visant à préciser les orientations de ses activités en IA et leur organisation pour traiter en particulier des problèmes tels que : l'ingénierie des systèmes aéronautiques et aérospatiaux (simulation hybride, modèles/données, certification virtuelle, conception de nouvelles architectures, etc.), la perception artificielle, l'acquisition et l'exploitation de données massives, la navigation et la planification « autonome » des missions, etc.

Plusieurs défis scientifiques sont identifiés comme ceux de la robustesse des extracteurs de caractéristiques, la maîtrise du sur-apprentissage ou du sur-ajustement, l'exploitabilité des décisions locales et globales, la sécurité et la sûreté des systèmes critiques à base d'IA.

L'intégration des activités en IA à l'ONERA dans le contexte national et international, les indispensables coopérations avec le monde académique et industriel sont également examinées. Parallèlement du fait des enjeux liés aux applications visées, et bien qu'il ne soit pas dans son rôle d'investir significativement ce champ scientifique, l'ONERA ne pourra se désintéresser des questions de validation formelle et mathématique des démarches d'apprentissage profond. L'actualisation du PSS dans le domaine de l'IA s'appuie essentiellement sur ce travail.

**Tous les défis du PSS sont impactés par l'intelligence artificielle.**

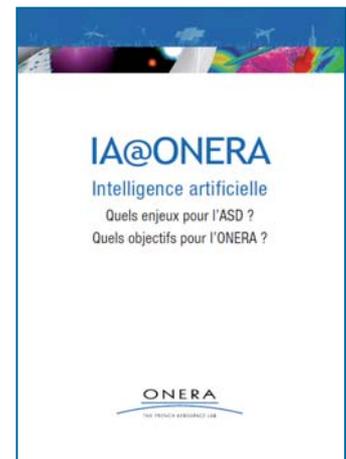
## INDUSTRIE AÉROSPATIALE 4.0

L'industrie aérospatiale, comme beaucoup d'autres industries, va connaître des évolutions radicales de son appareil productif du fait de la transformation digitale des différentes méthodes de conception des produits, de supervision/pilotage des systèmes de production, des opérations de fabrication et de maintenance, mais aussi des produits eux-mêmes qui seront plus autonomes et plus connectés. Le contrat de la filière aéronautique, établi dans le cadre du Conseil National de l'Industrie sur la base d'une étude conjointe DGE/DGA, est structurée par le programme « Industrie du Futur », défini pour répondre aux besoins de productivité et de flexibilité des systèmes de production ainsi qu'à ceux de l'évolution des produits.

Les industries du spatial et de la défense partagent ces objectifs pour faire face aujourd'hui aux enjeux de la production en série de nano-satellites, la conception des nouvelles générations de lanceurs, ou encore les besoins de maintenance prédictive. Nombre de travaux de l'ONERA, au sein des défis existants, contribuent déjà aux besoins de la production et de la maintenance aérospatiale sans toutefois être clairement affichés comme tels.

Un effort de structuration de recherches pluridisciplinaires sur le contrôle non destructif (CND) et contrôle santé (*SHM, Structural Health Monitoring*), les procédés de fabrication additive, la planification et la gestion des flux de production, etc. a ainsi été consenti ces dernières années. Cet effort doit être amplifié pour couvrir l'ensemble des domaines sur lesquels l'ONERA peut apporter des contributions significatives, comme :

- La conception multidisciplinaire simultanée des objets aérospatiaux et de leurs missions, voire de certains aspects de leur exploitation comme la maintenance, ainsi que la conception des objets sous contraintes de procédés de fabrication et de montage ;
- La planification robuste et réactive des opérations de production par des techniques de planification hybride hiérarchique et/ou distribuée adaptées aux systèmes hétéro-



Livre blanc IA@ONERA  
ONERA, 2020



Industrie du futur : enjeux et perspectives pour la filière aéronautique  
© Direction générale des entreprises (DGE) 2020

- gènes de grande échelle, basée sur des modèles physiques des activités et exploitant des architectures multi-agents ;
- Les systèmes de fabrication additive métallique intégrant un contrôle qualité en boucle fermée sur le procédé. Le contrôle des paramètres du système et de la fabrication en temps réel doit permettre de réguler et d'optimiser ces mêmes conditions et de garantir une production à propriétés mécaniques optimales et répétables ;
  - La synthèse de commandes dites « orientées tâche » des procédés et de leurs supports robotisés. Ces commandes devraient permettre l'adaptation du comportement aux variations de l'environnement par une estimation en ligne de l'état du système et un asservissement direct sur des informations extraites de capteurs embarqués ;
  - Les techniques de CND et de SHM s'appuyant sur des procédés multi-physiques, les traitements et les stratégies de contrôle associés, pour l'évaluation de la nocivité des défauts observés et l'aide à la décision ;
  - Des méthodes avancées de diagnostic et de pronostic destinées à la maintenance des systèmes aérospatiaux (avions, lanceurs, satellites) exploitant des jumeaux numériques basés sur la simulation hybride (physique/données) et des techniques d'IA pour la prédiction du comportement, utiles également dans les processus de certification.

**Les défis du PSS impactés par l'industrie aérospatiale 4.0 sont : 1. Optimisation pluridisciplinaire et évaluation ; 2. Systèmes intelligents ; 3. Souffleries du futur ; 5. CFD 2030 ; 6. Matériaux aérospatiaux stratégiques ; 7. Des structures aérospatiales plus endurantes ; 11. Perception artificielle multimodale.**



Chocs futurs. Étude prospective à l'horizon 2030. SCDN, mai 2017

#### RENOUVEAU DE HYPERVÉLOCITÉ DE DÉFENSE

L'hypervélocité de défense connaît un regain d'intérêt depuis quelque temps au sein des grandes puissances militaires mondiales pour deux raisons essentielles. La première concerne les perspectives de pénétration des défenses et de réactivité accrues ou même simplement possibles dans un contexte de progrès importants réalisés ces dernières années par les systèmes anti-aériens et anti-missiles. La seconde réside dans le maintien de la domination technologique de défense de ces grandes puissances, face à un monde géopolitique qui se complexifie et se dissymétrise. Tant dans le domaine des missiles que dans celui des avions d'armes, l'ONERA doit apporter une contribution essentielle à la résolution de problèmes scientifiques et techniques extrêmement pointus en s'appuyant sur son patrimoine de connaissances (physique et matériaux, transmission et contrôle de l'information et de la perception, guidage et pilotage, expertise sur les systèmes et leurs usages, etc.).

**Les défis du PSS impactés par le renouveau de l'hypervélocité de défense sont : 1. Optimisation pluridisciplinaire et évaluation ; 3. Souffleries du futur ; 4. Vers la maîtrise de la turbulence ; 5. CFD 2030 ; 6. Matériaux aérospatiaux stratégiques ; 7. Des structures aérospatiales plus endurantes ; 8. La propulsion dans toute sa complexité.**



Stratégie Spatiale de Défense 2019  
Dicod, juillet 2019

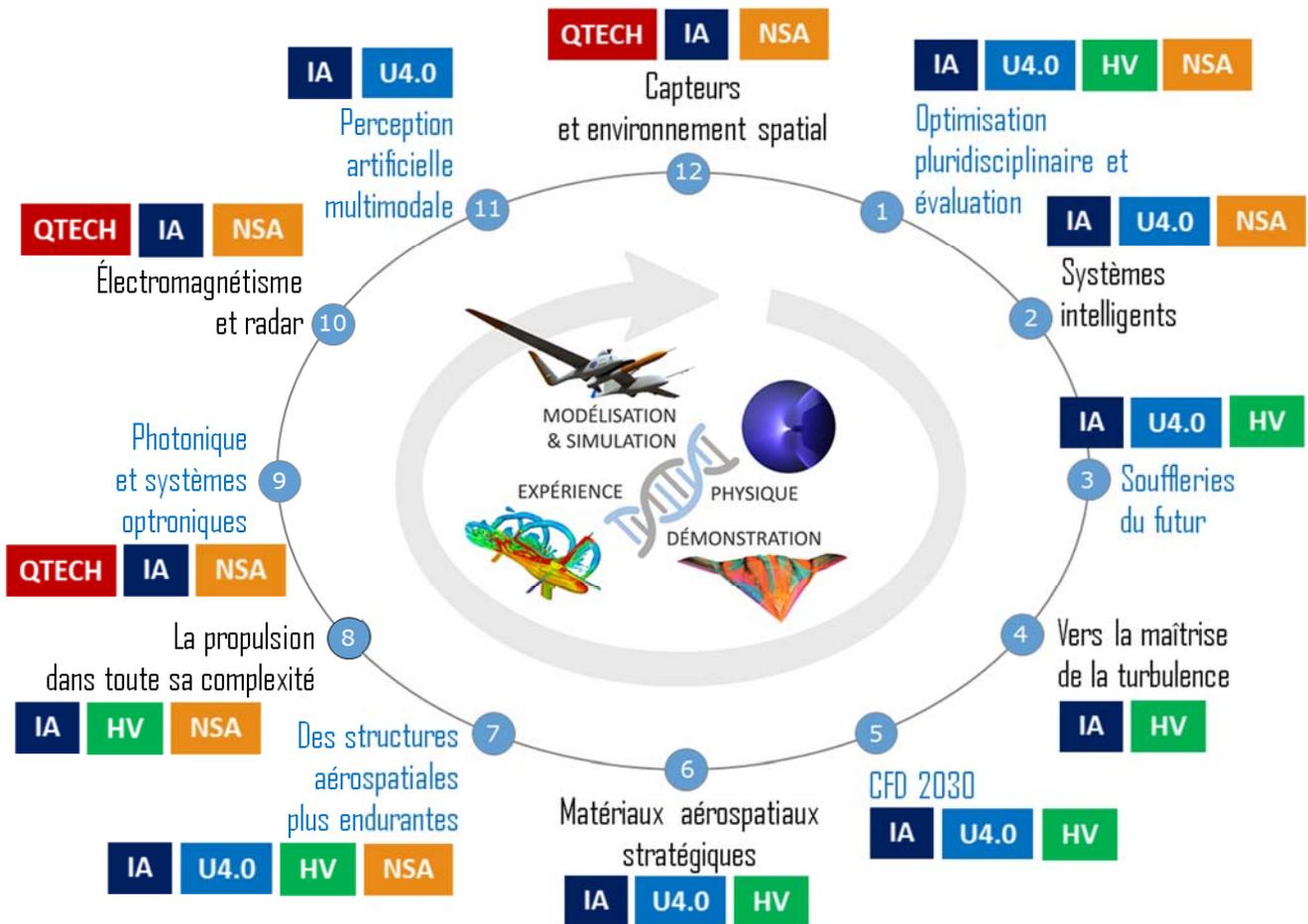
#### NEW SPACE ET ARSENALISATION DE L'ESPACE

L'émergence de *New Space*, défini comme la mise en synergie de nouvelles technologies, d'innovations et d'ingénierie financière dans un contexte d'apparition d'acteurs privés, révolutionne le secteur spatial auparavant domaine réservé de quelques grandes nations. Qu'il s'agisse de télécommunication, de géolocalisation, d'observation de la terre dans son sens le plus large, les domaines d'applications tant civils que militaires sont multiples. Les technologies que maîtrise ou peut maîtriser à court terme l'ONERA doivent être mises à contribution au profit du secteur aéronautique et spatial (nano-satellites ou lanceurs réutilisables par exemple) tout en poursuivant les recherches et la production de connaissances sur le milieu spatial lui-même.

Sur le plan de la défense, et au-delà de sa mission d'innovation et de consolidation de la BITD, l'ONERA doit s'engager sur les nouvelles questions liées à l'arsenalisation de l'espace, induite en partie par le *New Space*, mais portée par de nouveaux enjeux internationaux. Si l'arsenalisation de l'espace est définie comme « identifier et caractériser les actes inamicaux ou hostiles dans l'environnement de nos satellites, poursuivre le développement de nos moyens d'appui aux opérations, protéger nos moyens spatiaux et décourager nos adversaires d'y porter atteinte », on perçoit clairement le rôle que l'ONERA doit continuer à jouer, avec ses partenaires tant scientifiques que techniques.

Les défis du PSS impactés par le *New Space* et l'arsenalisation de l'espace sont :  
 1. Optimisation pluridisciplinaire et évaluation ; 2. Systèmes intelligents ; 7. Des structures aérospatiales plus endurantes ; 8. La propulsion dans toute sa complexité ; 9. Photonique et systèmes optroniques ; 10. Électromagnétisme et radar ; 12. Capteurs et environnement spatial

### Actualisation des défis sur la base des cinq évolutions majeures de contexte depuis 2015 (synthèse)



# Plan stratégique scientifique 2015-2025

## Les défis, actualisés en 2020

# défi 1

## Optimisation pluridisciplinaire et évaluation

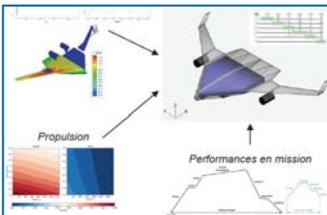
### Méthodes et techniques numériques pour la conception et l'évaluation des performances

ACTUALISÉ  
2020

#### Le défi

Définir les fonctions et optimiser les performances des systèmes aérospatiaux suppose de disposer de moyens d'ingénierie reposant sur des techniques de modélisation des exigences, de leurs éléments physiques et numériques, ceci à différents niveaux de fidélité, ainsi que de méthodes de conception robustes permettant de considérer l'ensemble des paramètres. L'évaluation des performances et de la conformité aux exigences par des prototypes numériques dans des simulations représentatives des scénarios opérationnels constitue un autre aspect important des processus de conception.

*Des méthodes pour la conception multidisciplinaire et l'aide à la mise en œuvre des processus de conception dans le contexte de l'industrie 4.0*



CICAV - Conception Intégrée d'une configuration d'aile volante

Les techniques au cœur des environnements numériques de conception doivent reposer sur des méthodes d'optimisation multicritères, qui permettent de traiter de manière complète et cohérente l'ensemble des caractéristiques physiques du système considéré (i.e. ses domaines disciplinaires), ses lois de commande et de pilotage et les IHM pour sa mise en œuvre. Ces méthodes doivent également permettre la spécification et la vérification des exigences s'appliquant aux systèmes ainsi qu'aux moyens nécessaires à leur élaboration et leur exploitation. Dans ce contexte, la formulation des problèmes d'optimisation multidisciplinaire, la génération des « modèles réduits » d'évaluation pour les différents niveaux de fidélité et l'exploitation des résultats doivent être assistées par des techniques de génération de plan d'expériences, d'analyse de sensibilité et d'aide à la décision.

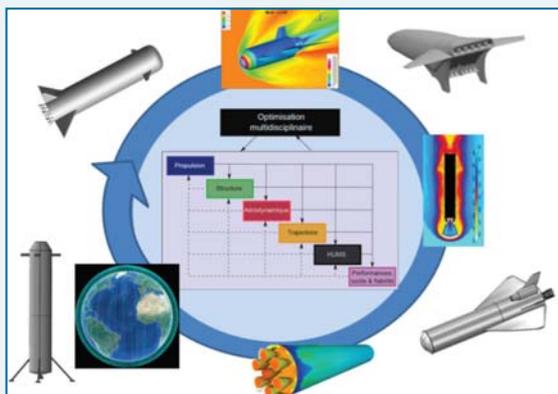
*Des environnements de simulation et d'évaluation des performances opérationnelles par maquette numérique*



Blade, le *simulation lab* de l'ONERA

L'évaluation et l'analyse des performances des systèmes en phase de conception doivent s'envisager aujourd'hui par une exploitation extensive des moyens numériques pour la virtualisation des environnements, celle des systèmes et des opérations. L'un des enjeux pour l'ONERA est de faire que par leur architecture, ces environnements de simulation puissent être adaptés à la grande diversité d'objets du domaine ASD (avions de transport et de combat, drones, lanceurs, engins hyper-véloces, systèmes de défense, etc.). Un nouveau *BattleLab*, un *SpaceLab*, un *FlightLab* et leur centres de commandement associés seront développés ces prochaines années. Ils intégreront une physique réaliste des environnements opérationnels (spatiaux et terrestres) tout comme des modèles des capteurs et leurs traitements intégrés ainsi que les modèles à différents niveaux de fidélité des engins (ou plus largement des produits) et de leur commande. Les maquettes numériques des objets et de leur environnement exploiteront du *Hardware In the Loop* ou des techniques d'assimilation de données pour atteindre, quand nécessaire, un haut niveau de fidélité. Les techniques de l'IA seront également mises à profit pour l'analyse des données issues des simulations et la prédiction des performances.

## [zoom] Conception de lanceurs réutilisables



Les recherches réalisées sur les méthodes de conception multidisciplinaire avec multifidélité, intégrées dans la plateforme ACADIA ont permis d'explorer des concepts originaux de lanceurs réutilisables. Plusieurs configurations, optimisant à la fois les architectures aéro-dynamiques et structurales, les modes de propulsion (fusée et statoréacteur), les lois de guidage sous l'ensemble des contraintes opérationnelles et de surveillance de l'état de santé du lanceur, ont été proposées, dont celles représentées ici.

## Les atouts ONERA

Ces développements reposeront sur des travaux de premier plan menés à l'ONERA en MDO/MDA depuis plus d'une dizaine d'années. Les moyens de simulation opérationnelle mis au point bénéficieront du potentiel déjà important de la plateforme de simulation Blade ainsi que de ressources uniques à l'ONERA en matière de modèles de capteurs et de traitement associés pour atteindre la simulation intégrée à haut niveau de réalisme.

## Les priorités pour 2025

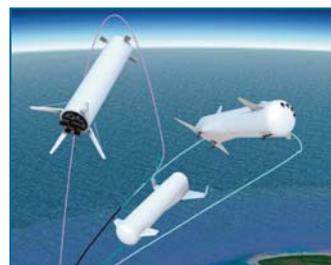
- **Modèles multidisciplinaires des systèmes**, précis et robustes, intégrant les couplages entre les modèles physiques et les incertitudes à différents niveaux de fidélité et méthodes d'optimisation adaptatives à grande dimension .
- **Méthodes de réduction de dimension des modèles** pour les systèmes multiphysiques par analyse de sensibilité et d'apprentissage de modèles complexes (non-linéaires, hybrides).
- **Modèles de coconception produits/procédés et de conception sous contraintes d'exigences de fabrication et d'exploitation** (maintenance, sûreté/sécurité).
- **Méthodes de conception et de génération de plans d'expérience dirigée par les modèles** (*Model Based Systems Engineering*).
- **Simulation par maquette numérique de systèmes « complets » pour la mise en place d'essais virtuels** permettant d'investiguer des conditions extrêmes, des processus de dégradation et des aléas.
- **Méthodes d'analyse des données de simulation dans un contexte *Big Data*** pour l'exploration et l'exploitation des données de simulation pour l'aide à la décision.

## Les partenaires

DGA et DGAC. Projets collaboratifs des IRT Saint-Exupéry et SystemX et collaborations bilatérales avec l'Inria (Rocquencourt, Rennes et Sophia Antipolis), le CNRS (Saint-Étienne), Georgia Tech. Certains thèmes sur la réduction de modèles seront placés dans le cadre de l'ECR ONERA/ISAE-Supaero.



Dragon : concept ONERA d'avion de ligne à propulsion hybride distribuée



Différents concepts de lanceurs réutilisables (HERACLES)



Lancement aéroporté de petits satellites H2020 ALTAIR

# défi 2

## Systèmes intelligents

### Concevoir des systèmes intelligents, performants, sûrs et fiables

ACTUALISÉ  
2020

#### Le défi

Le développement de systèmes dits « intelligents » vise d'une manière générale à atteindre des capacités autonomes d'adaptation face aux variations de l'environnement et à celles de leur état propre, pour parvenir à des performances élevées et un haut niveau de sûreté et de sécurité.

Les systèmes considérés sont tous les engins aérospatiaux (avions, drones, lanceurs, satellites, etc.) mais aussi les robots terrestres, marins, sous-marins et les technologies exploitées dans la production et la maintenance dont les évolutions actuelles s'appuient sur une intégration accrue des moyens de contrôle, de perception de l'environnement, d'interactions homme-système de communication pour réaliser des tâches et des missions d'une complexité croissante.

#### Conception des fonctions « autonomes » sûres



Coopération de drones hétérogènes (PEA Must)

La maîtrise de systèmes dynamiques complexes devant des incertitudes et des perturbations de toutes natures, des variations et des non-linéarités de comportement voire des aléas passe par des techniques de commande multi-boucles sophistiquées, intégrant des estimateurs d'état et des capteurs (inertiel, vision, GNSS, etc.) pour atteindre un haut niveau de robustesse et d'adaptation.

Dans ce contexte de complexification des lois de commande et des modèles exploités, l'un des enjeux est d'être en mesure d'analyser et de garantir les performances ainsi que les propriétés des systèmes face aux exigences de certification.

Aussi, le développement de ces architectures de commande « avancée » doit être supporté par des techniques appropriées d'ingénierie des systèmes embarqués, de spécification et de développement ainsi que de vérification des logiciels y compris ceux exploitant l'IA afin d'assurer la sûreté et la sécurité de ces systèmes « cyberphysiques ». Celles-ci doivent permettre également l'analyse et l'optimisation des implémentations logicielles sur des architectures matérielles de nouvelle génération (GPU, *multi* et *manycore*, etc.)

#### Assurer l'intégration homme-système

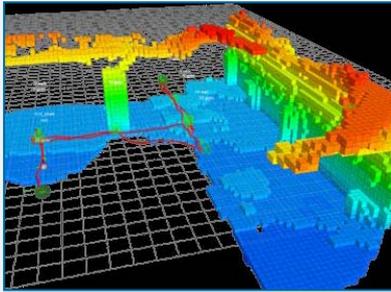


Intégration des fonctions cognitives et sensimotrices humaines dans la conception des systèmes de défense

La prise en compte de la dimension cognitive dans les interactions homme-système est capitale pour la conception et la maîtrise de systèmes complexes, tant pour des systèmes autonomes, que pour ceux qui exploitent des flux d'information importants ou intègrent des aides à la décision par l'IA. Le comportement de ces derniers doit rester interprétable et maîtrisable en toutes circonstances par les opérateurs.

A ce titre, la conception des modalités d'interaction homme-système doit être « centrée humain » et tenir compte des capacités de perception, sensori-motrices et cognitives des opérateurs. Aussi, le développement de modèles des interactions homme-système, de techniques monitoring de paramètres physiologiques marqueurs de l'état physique et cognitif humain ainsi que de conception-évaluation des IHM est-il nécessaire pour satisfaire aux exigences de la certification des systèmes.

### [zoom] GUIMAUVE, perception et guidage embarqué pour flottes de véhicules autonomes



Le projet GUIMAUVE a constitué le cadre du développement et de l'évaluation expérimentale d'un ensemble d'algorithmes de guidage et de perception visuelle pour des flottes de véhicules autonomes (mini-drones et robots mobiles) évoluant en milieu encombré.

Les techniques d'estimation d'état, de localisation et de cartographie simultanée de l'environnement de navigation avec évitement d'obstacles statiques et dynamiques exploitent la possibilité d'une distribution du problème sur des « agents coopératifs ».

### Les priorités pour 2025

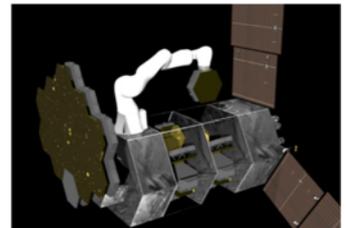
- **Développer des commandes avancées pour les systèmes aérospatiaux et robotiques**, en particulier des lois de commande adaptative robustes, de commande optimale, de commande prédictive basées sur des modèles réduits ou appris, et de commande sans modèle fondées sur l'apprentissage par renforcement.
- **Développer les techniques de navigation et supervision/décision pour des systèmes autonomes distribués** pour la réalisation de tâches « coopératives » complexes à haut niveau de robustesse par une modélisation sémantique des environnements et une résilience importante face aux aléas.
- **Étendre les méthodes de modélisation et d'analyse des systèmes embarqués et des logiciels aux architectures distribuées** pour la vérification des propriétés d'exécution et leur reconfiguration dynamique.
- **Assurer la sécurité des systèmes basés IA par le développement de méthodes permettant de maîtriser les processus d'apprentissage** (apprentissage hybride, intégration de modèles physiques, etc) et **l'interprétation des fonctions** voire leur vérification formelle.
- **Maintenir l'intelligibilité des informations et des comportements** dans les interactions entre opérateurs et systèmes autonomes et/ou informationnels et au-delà le contrôle de dynamique des interactions homme(s)-système(s).

### Les partenaires

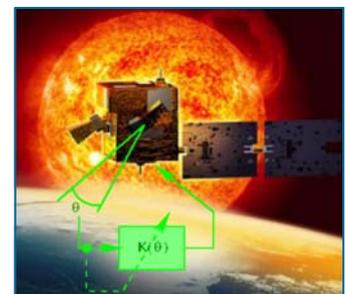
DGAC/DSNA ; industriels de l'aéronautique et des systèmes de drones ; collaborations avec : CNRS et Inria, ECR ONERA/ISAE Supaero, CEA-List, ICM, Crea, Enac, Irit, Laas, Isir, Lip6, Université Paris-Saclay ; Nasa, DLR, Jaxa.



Démonstration d'une architecture décisionnelle ONERA dans l'AUV Daurade (véhicule DGA/TN)



Système robotique pour l'assemblage dans l'espace



Loi de commande adaptative de la mission Picard

# défi 3

## Souffleries du futur

### Concevoir et préparer les essais de demain dans les grandes souffleries

ACTUALISÉ  
2020

#### Le défi

Il comporte une double dimension. La première est celle de la préparation des essais de mise au point et de validation de demain, dans un contexte où la simulation numérique, le *big data*, l'interaction essai-calcul tant pour l'exploitation que pour le pilotage vont connaître encore de nouveaux développements. La seconde est celle de l'utilisation scientifique de ces grands moyens au service des défis de l'ONERA mais aussi de ses partenaires scientifiques, en complémentarité avec ses souffleries de recherche.

#### *Pérenniser et étendre les capacités des grands moyens d'essais*



Les technologies de rupture pour les avions civils et militaires à l'horizon 2030 et au-delà devront être mises au point, évaluées et validées par l'utilisation des souffleries de grande capacité, ceci aussi bien pour les avions civils que pour la défense où sont concernés les avions et les drones de combat, les missiles et les moteurs.

L'ONERA dispose au tout premier niveau mondial de grandes souffleries qui permettent de répondre dans des conditions proches de la réalité aux besoins des industriels de la défense, de l'aéronautique et de l'aérospatial.

Une analyse détaillée de ces moyens, des perspectives d'utilisation par les industriels européens et internationaux ainsi que des enjeux de souveraineté pour certaines souffleries, ont abouti au programme ATP (*Aero Testing Programme*) de l'ONERA dont la première phase a débuté en 2017 pour une durée de 6 ans. Ce programme assurera le maintien en conditions opérationnelles ainsi que le développement de nouvelles capacités.

#### *Maîtriser les nouvelles métrologies et développer l'hybridation des essais avec des simulations numériques*



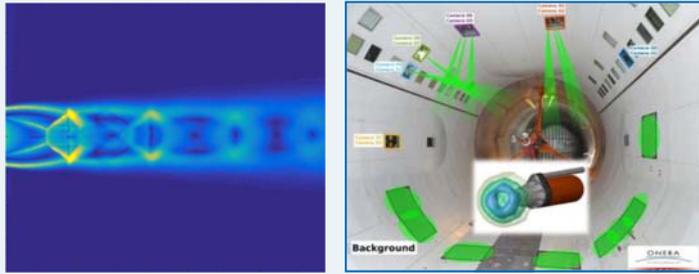
Utilisation conjointe de la CFD et des mesures en soufflerie : la fusion-assimilation doit aider la théorie à améliorer ses modèles

L'avenir de ces moyens repose sur la maîtrise des nouvelles métrologies et sur l'hybridation avec des simulations numériques précises et rapides. Les technologies clés correspondantes sont préparées dans les départements de l'ONERA (en laboratoire, dans des installations de recherche et au moyen des plateformes numériques, en particulier la plate-forme d'aérodynamique elsA), en visant une participation aussi précoce que possible des grands moyens d'essai dans le déroulement des recherches.

#### Les atouts ONERA

- Un parc de souffleries couvrant tous les besoins
- Des ateliers de fabrication de maquettes et de systèmes dynamométriques à la pointe des technologies
- Des métrologies au meilleur niveau mondial développées en partenariat entre les départements scientifiques et la direction des souffleries

### [zoom] La BOS *Background Oriented Schlieren*



La BOS est une technique de visualisation des gradients de densité dans les écoulements, qui utilise la relation de Gladstone-Dale entre la densité et l'indice de réfraction du fluide. A gauche, l'image d'un jet sous-détendu supersonique par application de la BOS ; à droite, montage de la BOS dans la grande soufflerie S1 du centre de Modane.

## Les priorités pour 2025

### – Explorer les nouvelles configurations d'aéronefs civils et militaires

Tester des configurations avec moteurs à très haut taux de dilution, voire non carénés, évaluer les performances des solutions propulsives avec ingestion des couches limites de la cellule (concept BLI), et intégrer des technologies de contrôle des phénomènes physiques tels que transition, décollement et émission acoustique, couplages aéroélastiques, tout en favorisant une meilleure productivité et en accompagnant les nouvelles démarches de conception de formules aéropropulsives.

### – Développer des moyens d'essais aéroacoustiques de pointe pour la maîtrise du bruit des aéronefs

Proposer une capacité d'essais aéroacoustiques en veine fermée. L'effort inclut le développement de méthodes de traitement du signal, le développement d'une métrologie adaptée, aux basses comme aux hautes vitesses, en champ proche et en champ lointain.

### – Exploiter le dialogue mesure-simulation pour une meilleure fiabilité des essais et des calculs

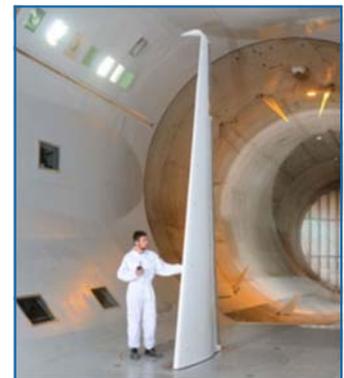
Progresser sur l'hybridation calcul/expérience pour corriger les conditions en souffleries, cerner les domaines de sensibilité et concentrer les mesures, réduire et évaluer les biais expérimentaux et numériques, recalibrer les calculs de production, pour aller vers une méthodologie de fusion-assimilation sur des objets complets et des possibilités de transposition au vol.

### – Explorer le domaine des hautes vitesses

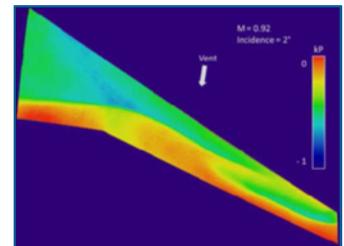
Des applications, militaires (vecteurs tactiques ou stratégiques hypervéloces) ou non (rentrées atmosphériques de véhicules ou de débris spatiaux), redynamisent aujourd'hui le sujet des hautes vitesses. Ces recherches nécessitent un effort particulier pour augmenter la gamme de fonctionnement et la robustesse des différents diagnostics en soufflerie. Ce sujet doit aussi, et peut être plus qu'ailleurs, exploiter le dialogue mesure-simulation décrit ci-dessus.

## Les partenaires

C'est l'ensemble du réseau des partenaires de l'ONERA dans les domaines de la mesure, de la simulation et leur hybridation.



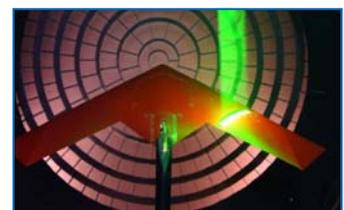
Maquette de voilure d'avion régional laminaire (S1MA)



La PSP – Pressure Sensitive Paint – révèle en dynamique les coefficients  $K_p$  sur la grande maquette



Tests de stabilité aéroélastique de nouvelles configurations d'empennage (S2MA)



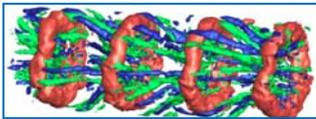
Visualisation PIV3C-3D de l'écoulement autour d'une maquette d'UCAV (L1, Lille)

# défi 4

ACTUALISÉ  
2020

## Vers la maîtrise de la turbulence

**Contrôler les écoulements  
et tendre vers la maîtrise de la turbulence**

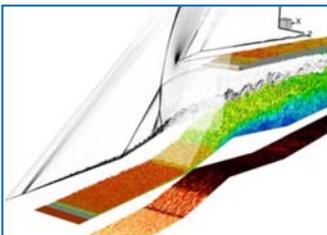


PIV résolue en temps : organisation de la turbulence développée dans un jet, révélée par un forçage acoustique qui intensifie les anneaux tourbillonnaires et les tourbillons longitudinaux.

### Le défi

Sur le plan de l'aérodynamique seule ou en situation de couplage (aérothermique, aéro-acoustique, aérothermodynamique, diphasique, givrage...), la modélisation de la turbulence pleinement développée ainsi que celle de la transition vers celle-ci constituent un défi qui impacte l'ensemble des applications aéronautiques. En se concentrant par exemple sur la problématique environnementale qui préoccupe aujourd'hui l'aviation civile, quelles que soient les solutions qui seront développées pour réduire la signature environnementale des avions, la turbulence est au cœur du sujet. Sur le plan militaire, la montée en nombre de Mach (hypervélocité) des outils de défense implique aussi un accroissement de notre capacité à prévoir et à contrôler la turbulence.

*Un sujet stratégique pour toutes les applications aéronautiques*



Régime de pompage d'une entrée d'air supersonique (code ONERA HPC FastS).

Les prévisions des performances globales (traînée, entrée en tremblement, manœuvrabilité pour un aéronef), des transferts thermiques pariétaux (film de refroidissement, point chaud sur une aube, dimensionnement d'une protection thermique), de l'efficacité des moteurs (injection, mélange), des nuisances environnementales (bruit et polluants chimiques générés par les moteurs, bruit interne), des aspects sûreté du transport aérien (décrochage, givrage) dépendent directement de la représentativité de la turbulence, que ce soit dans les expérimentations ou dans les simulations numériques.

*Compréhension, expérimentation, simulation, modélisation... et contrôle*



Conduite des essais en vol du démonstrateur Blade A340-300 munis de deux manchons laminaires aux extrémités de voilure (CleanSky 2, avec Airbus, Dassault Aviation, DLR, Saab).

Cela nécessite une utilisation couplée de souffleries de recherche et de simulations numériques multi-niveaux allant de la résolution « exacte » des équations par des simulations dites directes (DNS) à celle d'équations filtrées à différents niveaux (LES, DES, RANS). Sur ce plan l'ONERA développe, en concertation avec les industriels des solutions logicielles qui font l'objet du défi 5 : CFD 2030. Les expérimentations fines, la simulation numérique détaillée, la modélisation s'appuyant sur l'intelligence artificielle (IA) et sur une physique maîtrisée, ouvrent la voie au contrôle des écoulements moyennant le développement de technologies d'actionneurs, de capteurs et de boucles de contrôle.

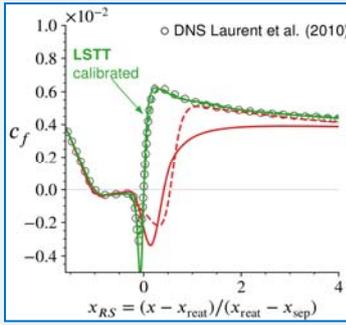
### Les atouts ONERA

- Des spécialistes de tout premier plan mondial en modélisation, simulation et expérimentation sur la turbulence et le contrôle des écoulements pour les applications aéronautiques.
- Des investissements dans le domaine expérimental, avec l'appui des tutelles (DGAC notamment), qui placent l'ONERA en fer de lance sur les investigations amont de certains sujets. La soufflerie givrante en cours de finalisation au DMPE-Toulouse pour l'étude de l'impact des gouttes surfondues sur l'aérodynamique des ailes d'avions (cause de plusieurs accidents létaux) en est un exemple.



La nouvelle soufflerie givrante de l'ONERA, à Toulouse

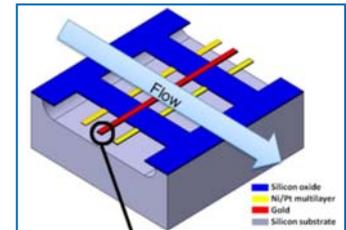
[zoom] Modélisation de la transition vers la turbulence dans un décollement laminaire



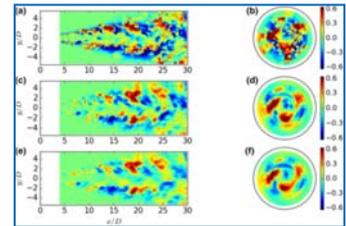
Prévision de la transition laminaire-turbulent sur un profil d'aile fortement chargé (profil OA209 ; nombre de Reynolds  $1,8 \times 10^6$  ; incidence  $15^\circ$ ) en présence d'un bulbe de décollement laminaire : la distribution du coefficient de frottement calculée à l'aide d'un nouveau modèle – *Laminar Separation Transition Triggerring* – qui s'avère très performant (courbe verte) , comparée aux résultats d'une DNS (symboles) et aux deux modèles classiques (courbes rouges : modèle S-A trait plein, modèle  $k-\omega$  Wilcox tirets).

Les priorités pour 2025

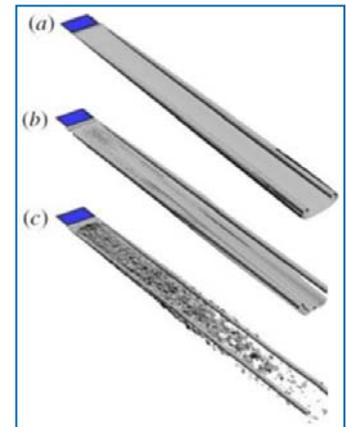
- Développer métrologie et expériences pour l'aérodynamique, l'aérothermochimie et l'aéroacoustique et appliquer les méthodes de post-traitement les plus avancées  
Poursuivre le développement des métrologies de pointe : vélocimétrie PIV 3D résolue en temps, BOS pour la masse volumique, peinture sensible à la pression pour les efforts pariétaux instationnaires, capteurs MEMS pour la mesure du frottement, antennerie acoustique, fluorescence induite par laser et méthodes de diffusion ou de spectroscopie pour la combustion, alliées aux méthodes de traitement du signal et d'image les plus avancées, pour réduire la complexité et le stockage d'information.
- Construire des modèles de transition et de turbulence sur des bases physiques et en utilisant les outils de l'IA  
Modéliser les instabilités, le déclenchement et le développement de la transition vers la turbulence dans les configurations « aux limites » (ailes en dérapage, en limite de décrochage, régimes hypersoniques, écoulements réactifs...), modéliser la turbulence développée (dynamique et thermique) en fonction de paramètres mal connus : état de surface, type de perturbation extérieure, instationnarités lentes, au moyen d'expériences et d'approches numériques dédiées. Intégrer les modèles dans les plateformes RANS et LES.
- Développer conjointement actionneurs et modèles pour contrôler les phénomènes  
Explorer et mettre en œuvre le contrôle des écoulements afin d'optimiser l'efficacité aérodynamique, au moyen de nouveaux senseurs, actionneurs, lois de contrôle et outils numériques.
- Prévoir et contrôler le bruit, le givrage et les tourbillons  
Sur la base d'expériences et d'outils numériques modulaires interopérables : comprendre et réduire l'impact des sources de bruit et des signatures tourbillonnaires des avions, au sol (sécurité) mais aussi en croisière (traînée de condensation) ; contrôler les accrétions de givre, optimiser les puissances utilisées (dégivrage, anti-givrage) ; gagner en maturité sur la modélisation des transitoires.



Capteur MEMS pour la mesure du frottement turbulent. Schéma de principe de la partie sensible



Modèle réduit d'une LES d'un jet supersonique réactif par POD (jet Mascotte à Mach 2,15 ; température génératrice 1450 K).



Simulation directe de la transition vers la turbulence et de l'apparition des instationnarités des tourbillons derrière une aile portante – représentation de la vortacité : (a)  $Re=2500$ , (b)  $Re=3000$ , (c)  $Re=5000$

Les partenaires

Universités Paris-Saclay, Toulouse et Lille, IPP, Pprime, LMFA, IMFT, Imperial College, Caltech, DLR, Nasa, Jaxa.

# défi 5

## CFD 2030

### Concevoir la mécanique des fluides numérique de 2030 pour l'aérospatial

ACTUALISÉ  
2020

#### Le défi

Développer une stratégie globale de simulation basée sur la réalisation de modélisations et simulations modulaires, chaînées ou couplées, validées par des expérimentations à toutes les échelles, s'appuyant sur des capacités de calcul à très hautes performances et tirant parti des progrès de la science des données.

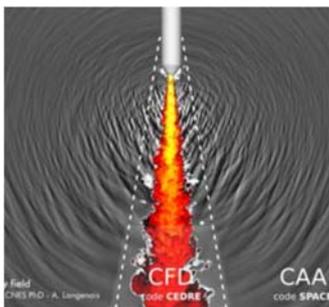
*L'interopérabilité et l'hybridation des logiciels sont les priorités*



elsA pour l'aérodynamique et l'aéroélasticité, CEDRE pour la combustion, l'aérothermique et l'aérothermomécanique, Sabrina et Space pour l'aéro-acoustique : autant d'outils stratégiques pour l'ONERA et pour ses partenaires industriels.

Ces logiciels capitalisent un savoir-faire en matière de simulation et de modélisation physique validé par le potentiel expérimental multi-niveaux de l'ONERA. En priorité : élaborer sur la base d'une architecture par composants interopérables (y compris avec l'extérieur), une offre logicielle cohérente qui « hybride » ses principaux logiciels en mutualisant les composants d'intérêt général pour la simulation multi-physique haute fidélité.

*Des systèmes faciles d'emploi, adaptés aux grandes machines de calcul*



Simulation numérique CEDRE/SPACE du bruit (jets) des propulseurs spatiaux au décollage. Couplage [jet turbulent, sources, propagation en champ proche] / [propagation non linéaire des ondes acoustiques en champ lointain]



Vers une CFD rapide, fiable, avec génération automatique de maillage

L'ONERA prépare aussi l'avenir en développant et en consolidant des méthodes numériques efficaces, robustes et à précision contrôlée, des méthodologies de construction et de conduite de simulations couplées, multi-physiques et multi-échelles, intégrables dans des systèmes de modélisation aisés d'emploi et adaptés aux architectures des grandes machines de calcul. Le développement d'approches hybrides associant physique de base et apprentissage profond doit permettre d'importantes avancées en simulation dans le cadre d'une évolution rapide des infrastructures de calcul et de données.

#### Les atouts ONERA

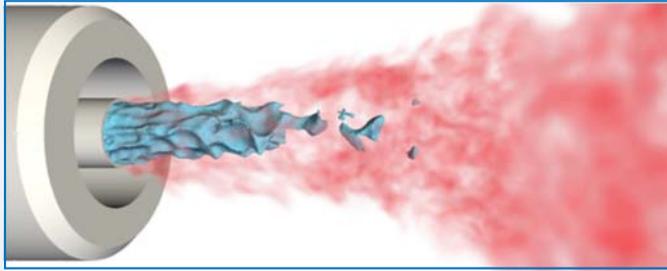
- Une plateforme aérodynamique (elsA) et une plateforme multiphysique (CEDRE) validées, reconnues et interopérables
- Une multicompétence couvrant toutes les disciplines cœurs de métier de la CFD (génie logiciel, analyse numérique, modélisation physique, expérimentation-validation)
- Une capacité d'innovation dans le domaine du logiciel scientifique
- Une maîtrise des progrès récents dans le domaine de l'IA (techniques d'apprentissage profond)

#### Les priorités pour 2025

- **Concevoir une architecture logicielle mutualisée pour la mécanique des fluides et l'énergétique au service de la recherche et de l'industrie ASD**

Architecture logicielle en composants interopérables couplant des logiciels ONERA entre eux et avec l'extérieur, pour des simulations multidisciplinaires, en stationnaire ou instationnaire. Exploitation des innovations pour le logiciel scientifique. Intégration de l'apport des mathématiques appliquées.

## [zoom] la simulation multiphysique de CEDRE



La simulation multiphysique en mécanique des fluides demande des modèles décrivant la chimie, la thermodynamique, l'aérodynamique... et des modèles d'interactions – thermochimie, aérothermodynamique, liquide-gaz, transfert radiatif... CEDRE répond à ce cahier des charges. Il peut aussi être couplé à d'autres logiciels aux physiques plus éloignées : mécanique des structures, acoustique...

– **Prendre en compte la complexité géométrique et les phénomènes physiques avec précision, robustesse et efficacité**

Développement de solveurs RANS/LES sur maillages quelconques, adaptatifs, mobiles. Automatisation de la génération de maillages. Exploration des ruptures via des méthodes d'ordre élevé pour l'aérodynamique et pour l'énergétique. Compréhension approfondie de la formulation LBM.

– **Maîtriser erreurs et incertitudes pour l'introduction de la CFD dans les processus de certification**

Vérification-validation des codes, développement d'estimateurs d'erreurs, développement de méthodes d'estimation et de propagation d'incertitudes, quantification des incertitudes dues aux paramètres opérationnels et géométriques, ainsi que des incertitudes de modélisation.

– **Mener des « simulations aux frontières » s'appuyant sur des modèles multiphysiques haute fidélité couplés**

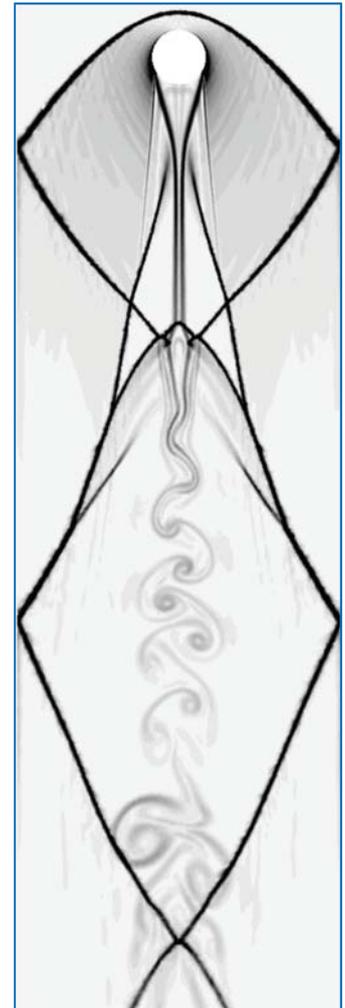
Mener des simulations hybrides RANS/LES aérodynamique/énergétique sur des objets complets (simulation *nose-to-tail* de véhicule hypersonique, moteur aéronautique – de l'entrée d'air à la sortie moteur). Développer des méthodes numériques d'interface précises et robustes entre modèles physiques différents.

– **Tirer parti du couplage expérience-simulation au-delà de la validation et de la compréhension des phénomènes**

Développer et orienter l'hybridation expérience-CFD grâce à des méthodes d'assimilation et de fusion de données pour affiner la compréhension des écoulements, régulariser les mesures et les rendre plus exhaustives, jusqu'à la fourniture de données aérodynamiques représentatives de la maquette en vol.

– **Maîtriser l'exaflopique et la science des données au service de la simulation numérique**

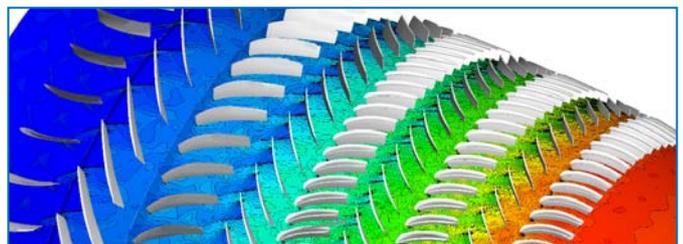
Bénéficier de l'arrivée des machines exaflopiques par une orientation multi-cœurs des codes et l'utilisation d'accélérateurs. Tirer profit des techniques de l'intelligence artificielle pour l'amélioration des modèles (sous contrainte des lois de la physique) et le traitement de problèmes numériques raides apparaissant dans la résolution des équations aux dérivées partielles non-linéaires. S'appuyer sur les progrès du calcul haute performance et de la science des données pour contribuer à la création de jumeaux numériques servant de point d'appui à la conception, l'optimisation des performances et la maintenance des avions ou de leurs composants.



Montée en puissance de la précision pour la simulation numérique des écoulements turbulents avec les méthodes Galerkin discontinu (DG)

## Les partenaires

Cerfacs, Coria, Universités de Paris-Saclay et Toulouse, Inria, DLR, Safran, Airbus, MBDA, EDF.



elsA, 2 Mds de points, 9h de CPU sur 5456 processeurs du calculateur Sator de l'ONERA pour simuler les 9 roues complètes d'un compresseur axial

# défi 6

## Matériaux aérospatiaux stratégiques

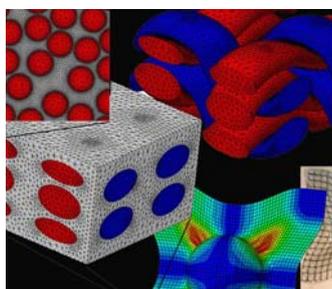
### Développer des matériaux stratégiques pour l'aérospatial

ACTUALISÉ  
2020

#### Le défi

Ce défi s'intéresse aux aspects tant scientifiques que technologiques du développement des matériaux pour l'industrie aérospatiale afin d'assurer à la France son indépendance stratégique et renforcer son leadership mondial.

*Assurer à la France indépendance stratégique et leadership mondial*



Modélisation multi-échelle de composites tissés 3D

Le développement de nouveaux matériaux nécessite un investissement sur le long terme, et les recherches, nécessairement multidisciplinaires couvrent un éventail très large : des propriétés électroniques et de la structure atomique des matériaux, jusqu'au comportement fonctionnel et mécanique des composants dans leur environnement, en passant par la conception, l'élaboration et la caractérisation de matériaux métalliques, céramiques ou composites. La simulation numérique des matériaux y prend une part croissante.

*La majorité des enjeux du transport aérien reposent sur les matériaux*



MEB et microanalyses (EDS-WDS-EBSD) pour l'étude de la microstructure et de la chimie des alliages

Ce défi s'articule principalement sur les enjeux du transport aérien, c'est-à-dire la réduction du CO<sub>2</sub>, des effluents et des nuisances sonores ainsi que la sécurité aérienne. Il s'attache aussi à ceux de la défense avec le renouveau de l'hypervélocité des engins et aéronefs, et à ceux de l'espace avec la croissance du *New Space* et l'émergence de nouvelles questions liées à l'arsenalisation de de l'espace.

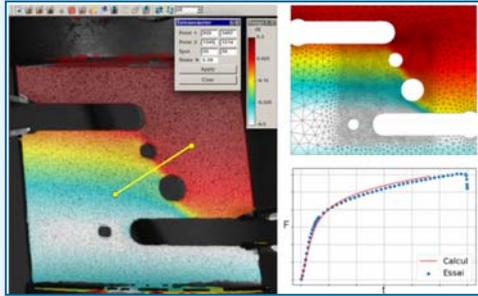
#### Les atouts de l'ONERA

- Seul centre de recherche français à disposer de l'ensemble des moyens de conception et d'élaboration ainsi que de caractérisation et de modélisation d'alliages pour l'aérospatial, ainsi que de leurs systèmes de protection.
- Des capacités de pointe pour la caractérisation physico-chimique, microstructurale et pour la réalisation d'essais complexes représentatifs de conditions réelles de sollicitations (thermomécanique, multiaxialité, couplages...).
- Un socle de compétences multidisciplinaires reconnu internationalement axé sur l'intégration de la physique dans la modélisation multi-échelle et multiphysique des matériaux et la validation expérimentale.
- Des développements récents de capacités de simulation numérique haute performance et d'apprentissage ainsi que de couplages essais-calcul.
- Un partenariat historique et stratégique avec l'industrie aérospatiale française.



Tour d'atomisation pour l'élaboration des matériaux par la voie métallurgie de poudres

### [zoom] ESCALE, plate-forme logicielle pour le dialogue essai-modèle-calcul



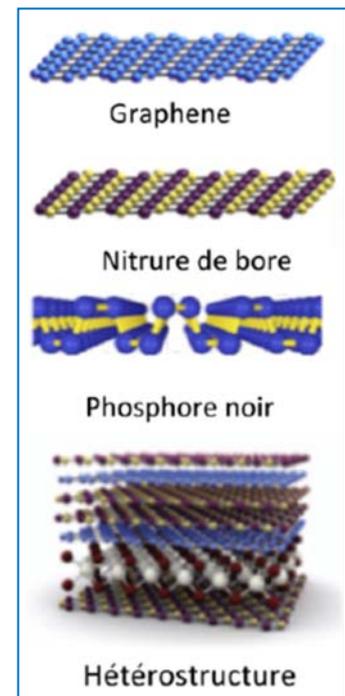
La plate-forme logicielle ESCALE s'appuie sur l'analyse d'images. Son objectif est double : permettre la comparaison essais-calculs, mais aussi piloter des essais par une ou plusieurs grandeurs extraites de la simulation numérique. Cet outil, intéressant le milieu académique, va désormais lui être ouvert via la formation d'un consortium.

### Les priorités pour 2025

- **Développer la nouvelle génération de matériaux pour les turboréacteurs et les systèmes de protection thermique**  
Développer de nouvelles voies d'élaboration des matériaux innovants issus de la métallurgie des poudres et maîtriser le couplage matériau-procédé. Développer conjointement des matériaux structuraux et leur système de protection contre l'environnement.
- **Concevoir, caractériser et modéliser des matériaux innovants pour l'absorption acoustique**  
Développer de nouveaux matériaux et méta-matériaux absorbants à propriétés physiques ajustables via leur architecture interne en utilisant l'impression 3D et le compactage des poudres.
- **Développer, caractériser et modéliser le comportement de matériaux à faible densité et résistant à de très hautes températures**  
Concevoir des solutions alternatives aux alliages conventionnels, visant des gains de densité de 20 à 25 %. Renforcer la ténacité des matériaux céramiques en introduisant des fibres ou en agissant sur leur microstructure.
- **Réaliser des nanostructures et nanomatériaux**  
Comprendre les mécanismes de croissance et les propriétés électroniques et optiques de nano-objets (notamment en 2D : graphène, feuillets de nitrure de bore (BN) hexagonal, dichalcogénures et phosphore noir). Développer une ingénierie des propriétés électroniques et optiques d'hétérostructures en vue d'applications : détecteurs de gaz et de lumière, dispositifs électroluminescents, spintronique, télécommunications.
- **Vers le matériau numérique**  
Développer une plate-forme logicielle, les modélisations et les couplages d'échelles pour la simulation HPC du comportement d'un matériau virtuel (métaux, céramiques, composites), de l'atome à l'éprouvette, depuis son élaboration jusqu'à sa fin de vie. Exploiter les techniques d'apprentissage pour concevoir de nouveaux matériaux et explorer le potentiel des compositions et architectures possibles. Produire et/ou recueillir et structurer les données massives nécessaires.



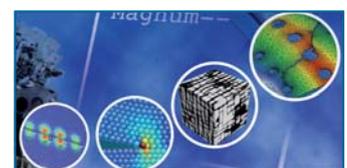
Aube de turbine et microstructure du superalliage base nickel



Feuillets et hétéro-structures 2D

### Les partenaires

Safran, Dassault Aviation, MBDA, Thales, Naval Group. CNRS, instituts Carnot, CNES, les IRT, Cetim. Partenaires académiques en IdF, *Flagship Graphene*.



Approches multi-échelles de simulation du matériau

# défi 7

## Des structures aérospatiales plus endurantes

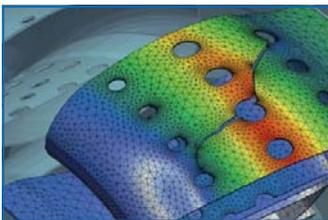
### Imaginer des structures aérospatiales plus légères et plus tolérantes à leur environnement

ACTUALISÉ  
2020

#### Le défi

Il s'attache aux problèmes scientifiques et technologiques à l'échelle de la structure, et il vise toutes les finalités aérospatiales : vecteurs, plateformes, lanceurs. Si les applications civiles sont majoritairement dominantes, de nombreuses applications duales sont concernées. Nos recherches ont vocation à préparer et faciliter la tâche des industriels en permettant la conception des structures optimisées garantissant le niveau nécessaire de performance et de sécurité. Elles explorent également le principe et le potentiel des technologies de rupture.

*Améliorer la sécurité, la durée de vie, préparer les ruptures nécessaires*

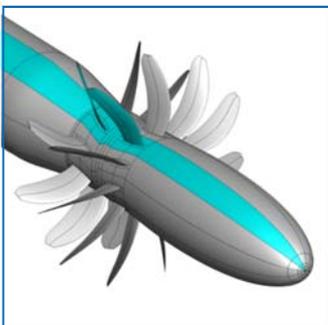


Propagation d'une fissure avec le code Z-set (ONERA, Mines ParisTech)

Pour contribuer aux objectifs de réduction de consommation, d'hybridation électrique des systèmes propulsifs voire de décarbonation du transport aérien, de nouvelles solutions structurales devront être imaginées et des questions nouvelles apparaîtront par exemple si des pistes comme celle de l'hydrogène devaient être investiguées en profondeur. Le développement de solutions hypervéloces pour les avions ou les engins amènera lui aussi des questions sur les structures, sur les couplages entre phénomènes à cette échelle ainsi que sur l'interaction entre le matériau et la structure ou encore sur les chargements réellement subis.

Dimensionnées par rapport aux charges normales, limites, extrêmes ou accidentelles, les structures devront garantir un niveau au moins égal de sécurité, de durée de vie et d'intégrité que par le passé. Elles devront non seulement être résistantes mais aussi tolérantes et adaptables à leur environnement naturel (aérodynamique, hydrique, thermique, givrage), mécanique (vibrations), opérationnel (marin, électromagnétique) ou agressif (impacts, foudre, feu, corrosion, abrasion).

*Viser au-delà des concepts actuels et développer des solutions innovantes*

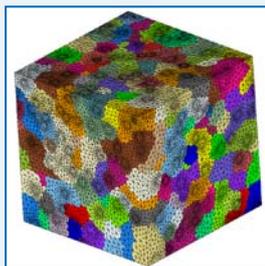
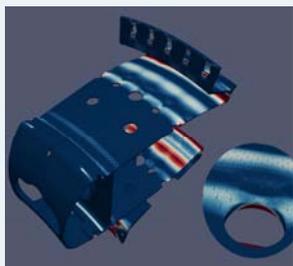


Évaluation des formes à chaud de pale de CROR AIPX7 avec non-linéarités en grands déplacements

Pour atteindre des gains significatifs, le secteur aérospatial va donc devoir viser au-delà des concepts actuels et développer des solutions innovantes, dont il sera nécessaire de démontrer et prouver numériquement et expérimentalement la faisabilité, la performance et la viabilité au regard de matrices d'essais raisonnées, si ce n'est à l'échelle 1, du moins sur des démonstrateurs et maquettes pouvant être testés dans les laboratoires et les souffleries dont dispose l'ONERA.

La validation voire la certification par le calcul vont également poursuivre leur développement et dans cette perspective le lien calcul-expérience, l'utilisation de données massives, la construction de jumeaux numériques ou encore l'exploitation de technologies d'apprentissage seront mis à profit en prolongement des résultats acquis lors des quatre premières années du PSS.

### [zoom] le calcul très haute performance de Z-set



Le solveur AMPFETI du code Z-set permet la simulation haute fidélité des matériaux et des structures, en un temps adapté aux besoins industriels. Les dimensionnements tiennent compte de phénomènes physiques complexes et de détails géométriques jusqu'alors négligés (micro-perforations des chambres de combustion). L'identification du comportement de matériaux fortement multi-échelles comme les combustibles solides est maintenant possible.

### Les atouts de l'ONERA

- Compétences et moyens d'essai uniques en France, par exemple tenue de structures à l'impact et au crash ; grands essais de vibration au sol (GVT) des avions
- Forte multidisciplinarité de connaissances et de compétences
- Renommée et visibilité internationales, étroites collaborations avec le DLR sur l'aéroélasticité, la résistance à l'impact et le crash

### Les priorités pour 2025

- **Identifier, étudier, optimiser et valider les concepts structuraux du futur dans leur environnement naturel**

Intégrer des solutions innovantes aux structures (passives ou actives) comme le contrôle santé, les structures hybrides fonctionnelles, des actionneurs intégrés, et des matériaux architecturés ou à gradient. Optimiser des structures aérospace plus légères garantissant la sécurité (résistance à l'impact et au crash, stabilité aéro-élastique) et prenant en compte la non-linéarité et le couplage des phénomènes physiques.

- **Modéliser et maîtriser les effets de la foudre, du feu et du givre sur les structures**

Traiter des agressions foudre et feu à partir d'une compréhension fine des mécanismes physico-chimiques du matériau composite. Développer les modèles et les simulations multi-physiques. Exploiter la soufflerie givrante (mécanismes de givrage, procédés de dégivrage) et la future plateforme d'essais Pycofire (feu sur composites). Réaliser et exploiter les mesures de foudroiement en vol. Mesurer les paramètres électriques au niveau composite/assemblage/fixation, et caractériser les impédances de connexion sur un avion complet.

- **Modéliser et prévoir le comportement et la durée de vie des assemblages**

Modéliser le comportement des assemblages métalliques, composites ou hybrides en prenant en compte les réactions physico-chimiques et métallurgiques des matériaux dans les procédés d'assemblage, prédire leurs évolutions dans le temps.

- **Prévoir la durée de vie des structures pour une réduction de la masse et des coûts de maintenance**

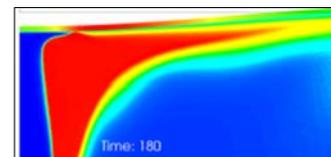
Traiter dans les modèles de durée de vie les hétérogénéités microstructurales, les défauts liés au processus d'élaboration, les couplages multi-physiques, la stabilité physicochimique des pièces issues de la fabrication additive.

### Les partenaires

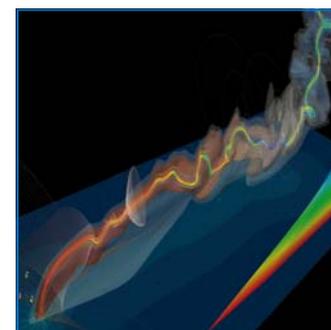
- Industriels : Airbus, Alstom, Dassault Aviation, Naval Group, Airbus Helicopters, Safran, Thales.
- Institutionnels : DGA/TA, École polytechnique, Ensta, IRT Saint Exupéry.



Tour de crash pour mesurer la résistance des structures aux écrasements



Simulation conjointe de la flamme et de la déformation d'une plaque composite 180 s après l'allumage



Simulation numérique du glissement d'un arc de foudre sur une paroi métallique

# défi 8

## La propulsion dans toute sa complexité

Répondre aux besoins d'une aviation civile plus respectueuse de l'environnement et à des besoins opérationnels militaires plus exigeants

ACTUALISÉ  
2020

### Le défi

Propulsions aérobie, liquide ou solide, pour des moteurs d'avions, d'hélicoptères, de drones, de fusées, de missiles, de satellites, plus fiables, moins polluantes et moins bruyantes : un défi interdisciplinaire considérable pour la simulation multiphysique et pour l'expérimentation-validation qui est abordé en collaboration étroite avec les partenaires industriels.

*Un défi pour la simulation et pour l'expérimentation-validation*

### Les atouts de l'ONERA

- Expérience et compétences sur le triptyque « modélisation simulation expérimentation »
- Capacités de métrologie et d'élaboration d'expériences représentatives
- Interaction avec les industries (compréhension des besoins, accompagnement du développement et du transfert)

*Aviation civile, missiles, lanceurs, satellites... toutes les propulsions*

### Les priorités pour 2025

- **Soutenir les évolutions des systèmes propulsifs de l'aviation civile vers une aviation plus écologique**

En aérodynamique et en énergétique : soutenir l'industrie dans sa démarche vers la réduction des impacts de la propulsion aéronautique ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ , bruit, contrails...) en évaluant les gains de rendement de nouvelles configurations d'avions (concepts BLI, propulsion distribuée...), la réduction des émissions de carburants alternatifs (biofuel,  $\text{H}_2$ ...), les solutions propulsives hybrides, plus électriques, sur le plan des performances et sur celui de la gestion de l'énergie à bord.

- **Contribuer à la conception des solutions propulsives des nouveaux missiles, du futur lanceur européen**

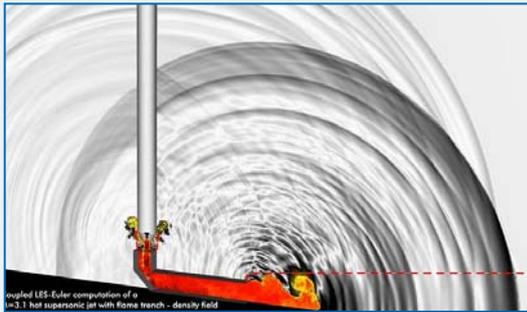
Maîtriser accrochage et stabilisation de la combustion des statoréacteurs et supertoréacteurs, ainsi que les technologies de refroidissement des structures pour l'endurance à haute vitesse. Accompagner Ariane 6 et ses évolutions. En propulsion liquide, prévoir les charges thermiques de la chambre de combustion, maîtriser l'atomisation de l'oxygène liquide et estimer les marges de stabilité (oscillations de pression des moteurs à propergol solide, robustesse des techniques d'allumage). Enfin, explorer des technologies de rupture comme l'utilisation de plasmas pour contrôler la combustion, l'usage d'ergols et propergols verts (compatibilité REACH), la propulsion hybride, la propulsion par ondes de détonation. Toutes ces recherches s'appuient sur des simulations numériques multiphysiques prenant en compte des géométries complexes, voire évolutives dans le cas de la propulsion solide, validées par des expérimentations de haut niveau technique.



Particules de suies numériques (noires) produites par un Injecteur swirlé (code CEDRE)



Recherche « stato » : injection transverse d'hydrogène à Mach 1 dans un écoulement jusqu'à 1800 K à Mach 2.

[zoom] **Bruit de lanceur**

Simulations couplées LES-Euler du bruit (ondes sonores) d'un jet chaud à Mach 3,1 d'un propulseur à poudre (*booster*) canalisé par un carneau sur un pas de tir de lanceur.

L'atténuation de ces ondes, consécutives au design du carneau et à des injections d'eau massives sur le jet, protège l'intégrité de la charge utile du lanceur.

- **Développer la propulsion avancée pour les satellites**

Exploiter les installations d'essai présentes et à venir (banc Cassiopée) pour les faibles poussées et les hautes altitudes ainsi que la maîtrise des diagnostics avancés (fluorescence induite par laser, balance micronewton) tout en étudiant la physique des plasmas ainsi que les interactions globales satellite-propulseur-environnement spatial afin de reconsidérer les stratégies de transfert orbital.

- **Modéliser et simuler les couplages multiphysiques : écoulements diphasiques, multiphasiques, non réactifs, réactifs ; évolution microstructurale, déformation et endommagement des matériaux et composants sous charges dynamiques et thermiques ; propriétés acoustiques des propulseurs**

Simuler correctement les interactions de fluides diphasiques pour capturer les différents régimes et les bonnes échelles (gouttes, films...). Étudier la structure et l'évolution microstructurale des matériaux dans une approche multiphysique, multi-échelle, basée sur des simulations multiphysiques et sur des modèles d'interaction chimie-matériaux et fluides-matériaux. Utilisation de métrologies de pointe (optiques, spectroscopiques...), développement de méthodes numériques couplées. Mise en place d'une démarche d'optimisation multicritères impliquant des objectifs de performance aérodynamique, de qualité structurale, de durée de vie, de tolérance aux dommages et de discrétion acoustique. Explorer les voies de l'hybridation calcul-expérience et de l'IA dans ces différents domaines

- **Maîtriser les interactions matériaux /environnement**

Pousser les limites des domaines de résistance des composants chauds en testant de nouveaux matériaux réfractaires, des dépôts de barrières thermiques ou le refroidissement par matériaux poreux architecturés, tout en évaluant la dégradation thermique des carburants et son impact sur les circuits. Concevoir des matériaux thermo-structuraux (CMC, ultra-réfractaires) pour la propulsion hypersonique et proposer de nouvelles approches théoriques pour accompagner l'introduction d'aubes de grand diamètre en matériaux composites tissés 3D.

## Les partenaires

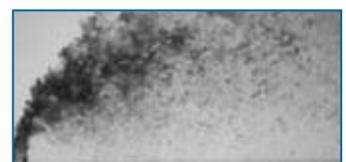
DGA, CNES, DLR, CentraleSupélec, Coria, Cerfacs, CEA, Safran (Aircraft Engines, Helicopter Engines, Tech, Ceramics), MBDA, ArianeGroup.



Caractérisation des signatures infrarouge et radar de jets de moteurs à propulsion solide (projet PROPILEX) au Fauga-Mauzac



Propulseur plasmique ECRA



Jet liquide en écoulement gazeux transversal : expérience et simulation



Interaction flamme matériaux

# défi 9

## Photonique et systèmes optroniques

### Exploiter la diversité de l'observation optique Maîtriser la chaîne optronique, de la source au capteur

ACTUALISÉ  
2020

#### Le défi

Les récentes évolutions technologiques rendent accessibles à l'ingénierie des concepts permettant d'aborder des défis applicatifs ambitieux : mieux voir, à plus grande distance, à travers des milieux complexes, éventuellement dans un environnement non coopératif, en exploitant la diversité spectrale et temporelle des sources et des capteurs. Dans ce cadre, des techniques maîtrisées, pour certaines déjà industrielles, côtoient des concepts fondamentaux encore en friche ou réservés à l'environnement contrôlé des laboratoires – mais, en photonique et optronique, les cycles de développement technologique sont courts, et ils imposent d'anticiper une maturation en quelques années.

#### *La miniaturisation de fonctions avancées au niveau du pixel d'imagerie*



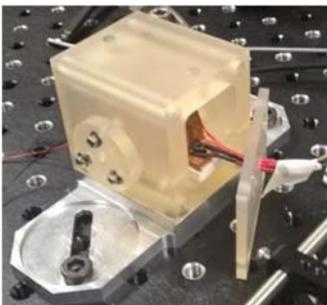
TERRISCOPE : plateforme mutualisée de recherche en télédétection optique aéroportée pour la caractérisation de l'environnement et des surfaces continentales à partir d'avions et de drones.

Du composant au système complet, en passant par l'instrument combinant éventuellement de multiples fonctionnalités, la R&D en photonique et optronique connaît plusieurs niveaux de développement :

- l'accès à des composants et instruments robustes, fiables, étalonnés pour la conception de systèmes, éventuellement embarqués, ouvrant l'accès à des mesures plus variées et précises, permettant une meilleure connaissance de l'environnement optronique, éventuellement en complément d'une instrumentation radar ;
- la conception de composants et dispositifs permettant d'accéder à de nouvelles fonctionnalités (imagerie 3D ou 4D, imagerie passive dans de nouveaux domaines spectraux, etc.), avec des portées accrues et des résolutions plus fines ;
- la prise en compte combinée du traitement des données et de la simulation de la scène et des signaux lors de la conception des systèmes optroniques pour garantir la pertinence des concepts retenus et permettre une augmentation des performances en opération ;
- la simulation physique avancée de la scène et des signaux pour répondre aux exigences des futures campagnes de mesures de l'environnement optronique, ainsi que pour l'étude de l'activité anthropique.

#### *Une perception augmentée de l'environnement optronique, conjuguant mesures fines et simulation physique avancée*

#### Les atouts de l'ONERA

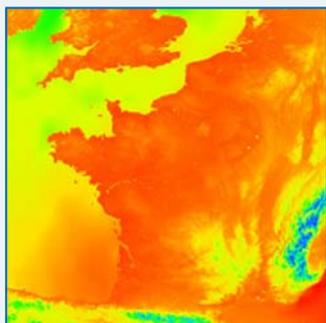


Oscillateur paramétrique optique pour les applications lidar embarquées

L'ONERA bénéficie d'une expérience reconnue en optronique infrarouge, assise sur une complémentarité unique entre la conception et la réalisation d'instruments de référence, des outils numériques de modélisation et de simulation, et un savoir-faire expérimental au meilleur niveau mondial. Le simulateur MATISSE, l'optique adaptative et la spectro-imagerie par TF sont des fleurons de notre savoir-faire.

Depuis 5 ans, l'ONERA a su répondre aux besoins de la Défense en matière de données et modèles pour la connaissance physique de la scène et des signaux, et s'est ainsi positionné comme « référent environnement optronique » pour la DGA. Ces efforts devraient aboutir au leadership d'un pôle d'expertise européen pour l'environnement optronique, notamment pour des sujets comme la surveillance de l'espace, l'arme laser et l'alerte spatiale.

### [zoom] le logiciel de simulation de scènes MATISSE



Le code MATISSE, code de propagation et de transfert radiatif atmosphérique de référence pour la Défense, permet l'évaluation par simulation des performances de senseurs optroniques face à des objets d'intérêt militaire. MATISSE dispose de nombreuses bases de données (profils atmosphériques, propriétés optiques des fonds de sols, propriétés optiques des nuages et des aérosols...) qui permettent de prendre en compte la diversité des conditions susceptibles d'être rencontrées par un senseur optronique. MATISSE est utilisé par une vingtaine d'entités – entreprises industrielles françaises, établissements européens et laboratoires universitaires. Il faut souligner les récents couplages du code avec des outils industriels de référence.

Sur un aspect plus fondamental, l'ONERA a conforté sa position de pionnier en nanophotonique infrarouge, une technologie qui ouvre la voie à l'ingénierie de composants de rupture.

### Les priorités pour 2025

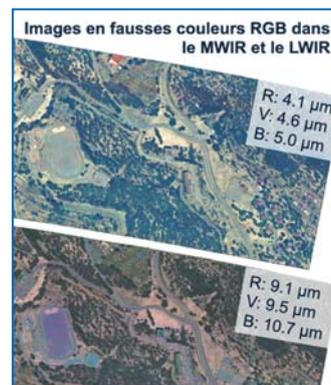
- **Investir dans les filières technologiques pour des composants de rupture**  
Accompagner et anticiper les progrès rendus accessibles par la nanophotonique, les sources lasers et OPO, les optiques *freeform*, les circuits photoniques intégrés, les micro-résonateurs photoacoustiques, ainsi que les filières de photodétection pour l'imagerie passive et active ; concevoir et réaliser des composants multifonctions, éventuellement grâce à une intégration de fonctions opto-électroniques ou numériques au niveau du pixel de détection.
- **Développer des concepts instrumentaux compacts, robustes, fiables**  
Augmenter les résolutions spectrale et spatiale des télédétections active et passive pour une meilleure connaissance de la scène optronique, y compris en lien avec l'activité anthropique ; exploiter le réseau des *nanosats* et *cubesats* pour déployer nos instruments dans l'espace.
- **Exploiter les technologies quantiques pour l'instrumentation et la métrologie**  
Accompagner et anticiper l'essor des technologies et concepts quantiques pour revisiter et rendre plus sensibles nos protocoles expérimentaux (analyse de la combustion, lidar, imagerie 3D, télécoms optiques, etc.)
- **Concevoir, réaliser et opérer des systèmes orientés par les finalités ASD**  
Concevoir des systèmes de télédétection dans le cadre de scénarios applicatifs prédéfinis (lidar atmosphérique, spectro-imagerie haute résolution, imagerie à haute résolution angulaire, etc.) ; caractériser, modéliser et corriger la propagation optique en milieu turbulent ; concevoir des systèmes multi-capteurs, incluant éventuellement une composante radar ; exploiter la variabilité spectrale et temporelle de la scène et les petites échelles spatiales pour caractériser l'activité anthropique dans son environnement.
- **Capitaliser les bases de données issues de mesures ou de simulations**  
Faire évoluer les outils de description des signaux (combinant environnement, cible et capteur) pour le dimensionnement et l'évaluation des futurs senseurs ; améliorer les capacités de prédictions des signatures de cibles d'intérêt militaire ; évaluer l'apport des techniques d'apprentissage profond pour le traitement et la génération des données ; produire des données à plus haute valeur ajoutée par la complémentarité mesures-modèles.

### Les partenaires

Latmos, LSCE et observatoires de Paris, Grenoble, Aix, Nice ; IRFU, IOGS, C2N, le CEA-Leti ; Lynred, Total, Thales R&T, Tosa, Safran, Airbus D&S, Leosphere, Phasics et un tissu dense d'industriels de l'optronique. L'ONERA est également impliqué dans l'Institut du Quantique et l'Institut des Sciences de la Lumière de l'Université Paris-Saclay.



Source laser fibrée ONERA haute énergie pour le lidar vent LIVE.



SIELETTERS  
Imagerie hyperspectrale  
infrarouge aéroportée

# défi 10

## Électromagnétisme et radar

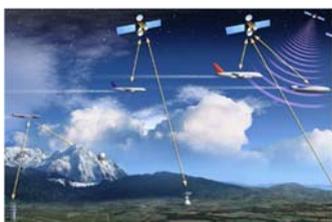
**Augmenter l'acuité des systèmes**  
**Exploiter la richesse de la mesure**

ACTUALISÉ  
2020

### Le défi

L'usage des ondes électromagnétiques dans les capteurs et la maîtrise de leurs effets dans les systèmes opérationnels restent un enjeu de premier plan à la lumière du renouveau technologique actuel (les technologies numériques, les métamatériaux, potentiellement les technologies quantiques), y compris sur le traitement numérique du signal et de l'information (le numérique, l'IA). Ces progrès ouvrent de nouveaux degrés de liberté pour reconsidérer l'ensemble de la chaîne instrumentale. Par ailleurs, une connaissance accrue de l'environnement, par mesure ou simulation, permettra une adaptation dynamique des capteurs au contexte d'utilisation, notamment sur plates-formes coordonnées.

### *Accompagner la transition vers le radar tout numérique*



Connaissance du canal de propagation électromagnétique pour les liaisons de radiocommunications, ou de radionavigation par satellite.

La progression continue des calculateurs, embarqués ou en laboratoire, ouvre des espaces d'investigation en autorisant des simulations plus proches de la réalité (physique ou statistique), en particulier pour calculer les signatures, et en accompagnant la transition vers le radar tout numérique. Ces évolutions impacteront des domaines tels que :

- l'acquisition de données à très haute résolution par des systèmes compacts, agiles, multivoies, éventuellement distribués sur un essaim de drones ;
- le traitement et l'exploitation simultanée, et très rapide, de données massives et multicapteurs, y compris avec les outils IA ;
- la simulation, embarquée ou non, de scènes plus complexes et réalistes, y compris en milieu urbain, allant jusqu'à l'aide à la décision.

Ces évolutions permettront de repenser des problématiques telles que les antennes intelligentes, la compatibilité électromagnétique (notamment pour l'avion plus, ou tout, électrique), l'imagerie radar temps réel, la qualification de capteurs, et la connaissance d'un environnement électromagnétique de plus en plus contraint.

### *La simulation, embarquée ou non, jusqu'à l'aide à la décision*

### Les atouts de l'ONERA



Nostradamus est un radar en forme d'étoile de trois bras d'environ 400 mètres de long, chacun d'eux étant constitué de 96 antennes biconiques « diabolo », disposées de manière aléatoire sur le sol.

Fort d'une expérience reconnue dans les moyens de test, les simulations et la physique de la propagation ou des antennes, avec une maîtrise de l'ensemble des éléments des systèmes radioélectriques et radars, et disposant d'instruments au meilleur niveau international, l'ONERA est en capacité d'aborder globalement la thématique des applications de défense et de sécurité, notamment dans les domaines du radar transhorizon par ondes de ciel ou de surface, du radar passif, du radar tout numérique multifonctions, ou du SAR, que ce soit au sol ou en aéroporté.

Depuis 5 ans, l'ONERA a su répondre aux besoins de la Défense en matière de données et modèles pour la connaissance physique de la scène et des signaux, et a été reconnu comme « référent environnement électromagnétique » par la DGA. Objectif : modéliser les cibles et l'environnement des futurs capteurs ou des systèmes électromagnétiques.

Sur l'aspect des moyens expérimentaux, l'opération identifiée HF21 vise à moderniser le radar transhorizon Nostradamus. Démarrée en 2018, cette jouvence fournira le premier radar 100% numérique de l'ONERA, qui sera notamment exploité pour des démonstrations de radar cognitif.

### [zoom] ABISS, système radar pour la surveillance de l'espace



émission



réception

Le radar européen ABISS est un démonstrateur radar bistatique, développé et opéré à la demande de l'Agence spatiale européenne. Le site de réception est le centre ONERA de Palaiseau, et l'émission a lieu 100 km à l'ouest (Crucey). ABISS a été dimensionné pour détecter une cible de référence de 1 m de diamètre à une altitude de référence de 350 km. Il peut ainsi détecter à différentes altitudes une grande diversité d'objets spatiaux (satellites, débris).

### Les priorités pour 2025

#### – Exploiter et capitaliser les données massives multi-sources, issues de mesures ou de modèles

Réaliser des modèles numériques de terrain ; construire des bases de données issues de mesures ou de simulations ; utiliser l'IA et l'apprentissage profond pour extraire les informations des données radars, en capturant dans les données des cohérences non immédiatement visibles mais physiquement significatives ; veiller à la validation scientifique des informations issues des simulations ; combiner le traitement des données et la simulation lors de la conception des systèmes pour permettre une certification ou une augmentation des performances en utilisation.

#### – Développer et maîtriser les radars numériques multifonctions, multistatiques, compacts et agiles

Permettre une meilleure connaissance de la scène électromagnétique par télédétection, y compris en lien avec l'activité anthropique ; exploiter le réseau des nanosats et cubesats pour déployer nos instruments dans l'espace ; exploiter la diversité des porteurs aéroportés pour opérer nos instruments et systèmes ; développer des systèmes radar auto-adaptatifs, capables de gérer l'allocation des ressources en temps réel et en fonction de l'environnement.

#### – Accompagner et exploiter les développements technologiques et applicatifs

Accompagner et exploiter les développements liés aux télécoms pour nos instruments et protocoles d'observation ; anticiper l'essor des nouveaux concepts et technologies (quantiques, numériques) pour réexaminer et rendre plus sensibles nos moyens de mesure.

#### – Combiner modélisation et traitement du signal pour une simulation experte des systèmes

Maîtriser la propagation jusqu'aux ondes millimétriques (caractérisation du milieu et de sa dynamique, modélisation de l'environnement et des effets de propagation) ; développer des techniques de traitement spécifiques pour les corrections ou les simulations ; extraire les paramètres des cibles ou scènes à partir des signaux mesurés ou simulés .

#### – Réduire, par la simulation, les essais de compatibilité électromagnétique

L'intégration d'outils de modélisation devrait permettre à dix ans de simuler entièrement un avion de taille moyenne ; adresser la problématique du câblage dans l'avion tout ou partiellement électrique, y compris via des démonstrateurs (physique et virtuel).

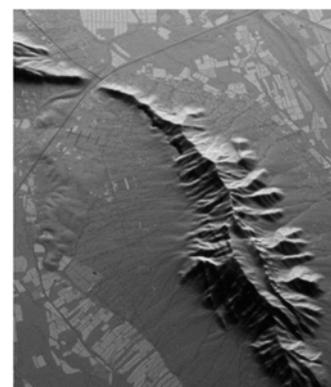


Image SAR simulée de Kandahar (Afghanistan)



Pari réussi : retrouver sous 4 m de neige le fan hub perdu par un A380 (avec AIRBUS et BEA).

Le moyen SETHI a effectué une campagne d'une vingtaine de jours au Groenland qui a donné lieu à un grand nombre d'enregistrements. Ici, des images polarimétriques en bande L (l~25 cm, pénétration de l'ordre de 10 m) du glacier Russell.

### Les partenaires

DGA, CNES, ESA et l'Agence spatiale indienne ; Thales et la PME Oktal-SE ; universités de Rennes, Limoges, Nice, Toulouse et quelques universités européennes, École de l'air, Fraunhofer (All.), FOI (Suède), CentraleSupélec et DSO (Singapour) avec le laboratoire commun Sondra, IETR, Latmos, FHR. L'ONERA est également impliqué dans l'Institut du Quantique et l'Institut des Sciences de la Lumière de l'Université Paris-Saclay.

# défi 11

## Perception artificielle multimodale

### Maîtriser la robustesse de la perception artificielle dans l'analyse des scènes dynamiques

ACTUALISÉ  
2020

#### Le défi

La perception artificielle constitue un élément central dans la surveillance de l'environnement, les systèmes de sécurité, l'autonomie des systèmes aéronautiques et aérospatiaux. Elle intègre des processus d'intégration spatio-temporelle et d'interprétation des informations à différents niveaux sémantiques qui doivent permettre la représentation et l'analyse de scènes dynamiques à partir de systèmes de capteurs intelligents dynamiquement reconfigurables.

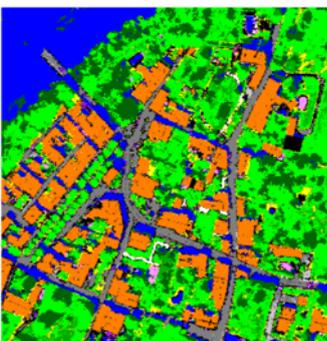
#### *La perception agile par des capteurs intelligents*



Essaim de drones de surveillance en coopération

Les systèmes de perception auxquels s'intéresse l'ONERA sont souvent des systèmes embarqués sur différents types de véhicules. Ils sont à ce titre contraints par différents facteurs (puissance de calculateurs, environnement, communications, etc.). On cherche aujourd'hui à en faire des systèmes intelligents basés sur des objets communicants, doués d'une capacité élevée d'analyse et de décision, à la fois pour comprendre l'environnement dans lequel ils évoluent, mais aussi pour piloter les vecteurs qui les intègrent, afin d'accéder à des informations de manière plus active et adapter les traitements aux finalités.

#### *L'interprétation interactive et le traitement des données massives*



Classification non supervisée d'images hyperspectrales

Les systèmes de perception fournissent des informations 3D hétérogènes souvent fusionnées avec des données d'opportunité et géoréférencées pour fournir des représentations multi-échelle d'environnements dynamiques. La maîtrise de la fidélité des représentations multiphysiques et multi-échelles et de la qualité de service des informations et des interprétations induit des besoins en matière d'apprentissage pour des traitements plus adaptatifs sur des données de grande taille, parfois parcimonieuses et sujettes à des incertitudes.

#### Les atouts ONERA

L'ONERA dispose d'une expertise métier très importante dans le domaine du traitement de l'information géophysique ainsi que pour les systèmes de surveillance et de sécurité. Il a fait également du domaine du traitement embarqué l'une de ses spécialités depuis de nombreuses années.

### [zoom] MEDUSE – la numérisation du monde et sa sémantisation



Les données géospatiales issues de capteurs SAR et optroniques permettent de constituer des représentations multi-échelles de l'environnement. Via l'analyse de la variabilité spatio-temporelle des scènes, les enjeux de MEDUSE sont la compréhension de scènes dynamiques au sens large, l'anticipation de leur évolution, la détection d'événements imprévus ou anormaux.

Les traitements des données satellitaires réalisés dans ce cadre concernent plus spécifiquement :

- la classification non supervisée de données hyperspectrales
- l'estimation de l'émissivité des matériaux à partir de données
- l'estimation des déformations de bâtiments
- la détection de changements sur des piles d'images SAR

### Les priorités pour 2025

- Techniques d'apprentissage pour **l'aide à l'interprétation à haut niveau sémantique d'images multi-sources et multi-temporelles** dans un contexte de données insuffisantes (apprentissage auto-supervisé, apprentissage séquentiel, apprentissage interactif, etc.)
- Développer des modèles de **perception active** et de **perception distribuée multimodale** intégrant des représentations spatiales et temporelles des informations et exploitant des interactions avec l'environnement et/ou les opérateurs.
- Explorer les **techniques d'apprentissage massif pour la localisation-navigation par vision artificielle, la météorologie par imagerie et la coconception traitement(s)/capteur(s)** pour des fonctions avancées de détection-identification-reconnaissance.
- Développer des méthodes pour **l'évaluation des algorithmes à base d'apprentissage machine et de la maîtrise de la confiance informationnelle** rendant la décision algorithmique interprétable ou explicable.
- **Définir des modèles de structures de données et développer des traitements distribués de données hétérogènes massives multi-sources** dans le contexte de l'observation de l'activité terrestre ou spatiale, du renseignement, de l'inspection et contrôle de structures, etc.



Détection de changement sur des séries d'images SAR



Détection d'événements ponctuels sur une série temporelle d'images

### Les partenaires

Ces développements s'adressent à un large spectre d'applications civiles et militaires. Ils feront l'objet d'un nombre importants de collaborations de recherche notamment avec les établissements regroupés sur le plateau de Saclay (Ensta, IOGS, Télécom Paris, CEA-List, ENSC, etc.) ainsi qu'avec des unités mixtes de recherche du CNRS (Gipsa, Laas, Lip6, Isir, etc.).

# défi 12

## Capteurs et environnement spatial

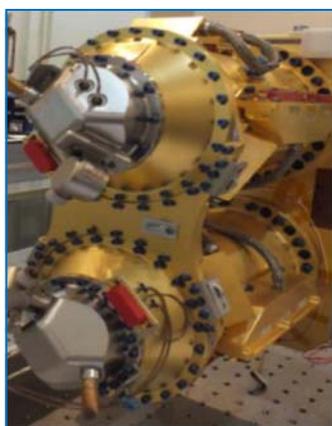
**Développer et adopter de nouveaux capteurs**  
**Mesurer, modéliser et maîtriser les effets de l'environnement aérien et spatial**

ACTUALISÉ  
2020

### Le défi

Les nouveaux capteurs sont des vecteurs d'innovation, parfois de rupture, par l'exploitation de nouveaux phénomènes physiques ou par les développements technologiques qu'ils induisent, pour l'ensemble du système auquel ils participent. Les mesures qu'ils rendent accessibles et la connaissance expérimentale qui en découle sont des éléments majeurs pour affiner nos modèles et maîtriser les effets de l'environnement physique.

*La maîtrise des phénomènes physiques, jusqu'à l'ingénierie robuste et fiable*



Accéléromètres ONERA T-SAGE de la mission Microscope en salle d'intégration du satellite.

Quatre familles d'instruments, considérés seuls ou en combinaison, structurent ce défi :

- les accéléromètres ultra-sensibles de l'ONERA. L'amélioration continue ainsi que la modélisation fine de leurs performances sont nécessaires pour répondre aux exigences des futures missions spatiales de physique fondamentale, de géodésie terrestre ou planétaire, ainsi que d'étude de l'activité anthropique ;
- la manipulation des atomes froids en environnement opérationnel permet d'envisager la mise au point d'une nouvelle famille de capteurs inertiels et embarqués basés sur l'interférométrie à onde de matière : accéléromètres, gyromètres, gravimètres et gradiomètres atomiques, permettant des mesures dites absolues, sans recalage ;
- les micro et nano-systèmes résonnants sont très efficaces pour la réalisation d'horloges ou de capteurs miniaturisés de haute performance tels que magnétomètres, senseurs thermiques, senseurs de gaz ou capteurs inertiels. Leur mise au point repose sur des concepts en rupture et des développements technologiques pluridisciplinaires, pour des enjeux applicatifs qui abordent tout le spectre des instruments aéroportés ;
- les instruments et systèmes à plasma, à base de faisceaux d'ions ou d'électrons, peuvent répondre à une grande diversité d'applications aérospatiales : propulsion électrique, combustion assistée par plasma, décontamination, métrologie ou contrôle des écoulements.

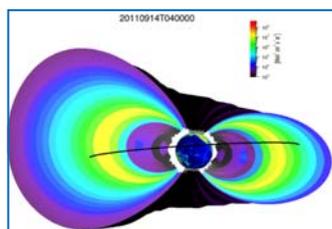
*La simulation, embarquée ou non, jusqu'à l'aide à la décision*

La connaissance de l'environnement aérospatial et de ses effets sur les instruments et les composants, par une combinaison de mesures, modèles et simulations, est une activité majeure pour le développement du domaine spatial, et devient un enjeu pour le domaine aérien.

### Les atouts de l'ONERA

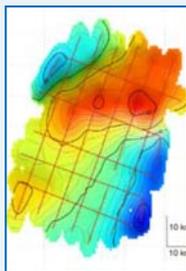
L'ONERA bénéficie d'une complémentarité unique entre des moyens spécifiques de mesure, des outils numériques de modélisation et de simulation, et un savoir-faire technologique et expérimental au meilleur niveau mondial. Cela permet une compréhension fine des systèmes de mesure et des milieux souvent complexes du domaine aérospatial.

Depuis 5 ans, de nouveaux développements ont été menés sur le thème de la propulsion électrique, combinant la mise au point du propulseur de nouvelle génération à ECR (*Electron Cyclotron Resonance*), la simulation numérique haute performance et des bancs de test allant de la micro-propulsion (pour nanosats) à la forte puissance (pour satcoms). Ces efforts devraient aboutir à la constitution d'un centre d'excellence européen pour la propulsion électrique.



Modélisation des ceintures de radiations (électrons et protons).  
Code Salammbô

## [zoom] le gravimètre à atomes froids de l'ONERA



Ces capteurs reposent sur la mesure d'accélération d'un nuage d'atomes ultra-froids en chute libre, par une technique d'inter-férométrie atomique. L'ONERA développe principalement des capteurs inertiels atomiques compacts, fiables et fonctionnels pour des applications de terrain, notamment en utilisation embarquée. Ces capteurs permettent des mesures dites absolues, sans besoin de recalage. A gauche, le gravimètre GIRAPE de l'ONERA, embarqué sur un navire du SHOM. A droite une carte marine de pesanteur obtenue par GIRAPE.

## Les priorités pour 2025

### – Technologies quantiques pour l'instrumentation et la métrologie

Rendre les capteurs inertiels atomiques compacts, fiables et fonctionnels pour des applications de terrain, y compris sur porteur mobile (bateau, avion, satellite) ; réaliser une centrale atomique mesurant les six composantes inertiels ; exploiter les technologies et concepts quantiques pour reconsidérer et rendre plus sensibles nos protocoles de mesure (diagnostics de combustion, mesures dans les écoulements, lidar, capteurs photoacoustiques, etc.).

### – Des accéléromètres électrostatiques sensibles au femto-g

Améliorer les accéléromètres électrostatiques pour une utilisation spatiale ou terrestre ; développer des micro-accéléromètres pour les missions interplanétaires ; concevoir des gradiomètres pour des mesures sur porteur mobile.

### – Vers une centrale inertielle MEMS de classe « tactique » à « navigation »

Maîtriser, en résolution et stabilité, la conception et la fabrication de chaque famille de capteurs (gyromètre, accéléromètre, magnétomètre) ainsi que leur combinaison au sein d'une centrale inertielle ; exploiter leur hybridation avec des senseurs atomiques ; maîtriser les matériaux 2D et exploiter leur potentiel pour les capteurs.

### – Systèmes et instruments à plasma pour l'aérospatial

Démontrer le potentiel des plasmas pour des systèmes aérospatiaux représentatifs afin de répondre aux nouvelles exigences environnementales et technologiques ; étudier des systèmes de décharge pour l'assistance à l'allumage et à la combustion ; développer le concept à ECR pour la propulsion électrique de satellites.

### – Connaissance de l'environnement aérospatial

Raffiner les mesures et la modélisation de la météorologie de l'espace ; améliorer la connaissance des phénomènes atmosphériques, y compris l'activité électrique et l'impact de l'activité anthropique ; développer l'assimilation de données pour accéder à la dynamique des phénomènes ; exploiter le réseau des nanosats et cubesats pour déployer nos instruments de mesure dans l'espace.

### – Systèmes embarqués robustes aux effets de l'environnement spatial

Maîtriser par la mesure et les modèles l'interaction de l'environnement spatial avec les matériaux et les dispositifs opto-électroniques ; anticiper et accompagner la constante évolution des technologies ; fournir des outils pour la conception, pour l'aide à la certification et pour la prévision (risque foudre, tempête géomagnétique solaire), y compris pour les réseaux de puissance embarqués dans un futur avion électrique.

### – Navigation robuste et autonome des vecteurs spatiaux

Développer de l'expertise, au profit principalement de la DGA, avec un double souci de configurations reconfigurables qui exploitent l'ensemble des informations disponibles ; participer à la mise au point d'une architecture globale de surveillance de l'espace et des débris.

Capteurs inertiels MEMS vibrants



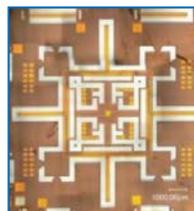
Accéléromètre différentiel DIVA à lames vibrantes tête-bêche (quartz)



Gyromètre VIG constitué d'un diapason central et d'un système de découplage (quartz)



Gyromètre accéléromètre à haute résolution ROSA (quartz)



Gyromètre tri-axe (GaAs)

## Les partenaires

CNES, OCA, NASA-JPL, ESA, GFZ, ZARM, ENS, IOGS, Syrte, C2N, ESIEE, CNRS, DGA, SHOM, SAFIRE. L'ONERA est également impliqué dans l'Institut du Quantique et l'Institut des Sciences de la Lumière de l'Université Paris-Saclay.

**ACTUALISÉ  
2020**

## Les nouveaux leviers du PSS. Actualisation 2020

Le succès et les réalisations du Plan stratégique scientifique se sont largement appuyés sur les huit leviers identifiés en cohérence avec le Contrat d'objectif et de performance de l'ONERA (cf document de bilan des quatre premières années du PSS). L'actualisation du PSS permet de renouveler ces leviers en ôtant ceux qui ont atteint leurs objectifs, et en identifiant de nouveaux leviers ou de nouvelles actions au sein des leviers conservés. Les actions associées à ces leviers sont rapidement listées ci-dessous.

### 1. Mobiliser et mieux reconnaître les femmes et les hommes

- Modification de la dénomination : ingénieur de recherche à ingénieur-chercheur, sans condition de doctorat
- Réorganisation de la filière Recherche : mise en place d'un grade CR, reconnaissance externe des DR en rang A
- Innovation, essaimage et formes nouvelles d'association avec les PME et ETI via le dispositif « Impulsion »
- Développement de l'attractivité de l'ONERA sur le plan scientifique

### 2. Engager la transformation numérique des métiers de la recherche

- Développement ou appropriation des outils coopératifs internes et externes en préservant la protection du PSTN
- Fluidification et simplification de l'environnement de l'activité contractuelle sous toutes ses formes

### 3. Améliorer le transfert de l'innovation scientifique

- Développement d'initiatives pour l'émergence d'innovations de rupture à fort contenu scientifique
- Mise en place d'un axe « valorisation potentielle » lors des bilans de projets sur ressources générales
- Mise en place des projets de type Pdev avec DVPI pour la maturation à moyen terme
- Recherche de partenariats d'innovation de long terme avec des industriels et obtention de leur soutien

### 4. S'appuyer sur les feuilles de route de l'ONERA

- Maintien de la cohérence dans les projets sur ressources générales entre priorités du PSS et objectifs des feuilles de route
- Construction de bilans scientifiques des feuilles de route lors de l'actualisation ou la réécriture du PSS

### 5. Poursuivre le développement de la recherche partenariale nationale et internationale

- Poursuite de la structuration des relations avec des universités dans l'environnement direct des sites de l'ONERA
- Approfondissement des partenariats avec les écoles d'ingénieurs sous tutelle Défense. Soutien à l'École de l'air sur les nouveaux enjeux liés à l'espace
- Exploitation des opportunités au niveau national et international dans les domaines de l'IA, des nano-satellites, de l'ingénierie quantique, du développement logiciel et de l'analyse des impacts environnementaux du transport aérien

### 6. Augmenter les bourses de thèse de l'ONERA pour favoriser le partenariat et l'animation scientifique du domaine ASD

- Réflexion sur la coopération avec l'AID sur les thèses soutenant les feuilles de route et l'exploitation des résultats des thèses DGA

- Développement des thèses de doctorat avec les architectes (par exemple nouvelles méthodologies d'évaluation système)
- Augmentation du nombre de bourses ONERA pour le développement de partenariats équilibrés (laboratoires communs, insertion dans les universités et les écoles d'ingénieurs présentes dans l'environnement des sites ONERA)

## 7. Exploiter et protéger le patrimoine des données scientifiques de l'ONERA et s'inscrire dans la démarche de la science ouverte

- Réflexion et construction d'outils (plateformes, *data centers*) pour :
  - ◇ la mise en forme et l'exploitation des données ONERA pour l'apprentissage
  - ◇ l'évolution de la structuration des données expérimentales, leur conservation et leur exploitabilité future
- Réflexion sur le compromis science ouverte/ confidentialités (défense, PI, industriels)/ protection du PSTN et sur le rôle de l'ONERA comme « pourvoyeur de données »
- Développement de l'accès aux données externes au travers ou non de consortiums

## 8. S'engager dans les technologies quantiques

- Implication dans les démarches nationales et régionales (instituts quantiques, plateformes technologiques)
- Réflexion sur les thématiques scientifiques, les applications, les technologies vsées, les partenaires industriels potentiels de toutes tailles
- Organisation de cette activité transverse à l'ONERA et de la formation

### Éléments de suivi annuel du PSS

- Projets internes (PRF, ARF, PR, ARE)
- Projets collaboratifs (ANR, Europe) et bras de levier associé
- Laboratoires communs ou opérations de recherche communes
- Production scientifique
- Démonstrateurs et développement d'expérimentations
- Contrats industriels sur bas TRL et thèses Cifre
- Recrutements, Chercheurs invités
- Thèses lancées et post-docs
- Thèses soutenues
- Production logicielle, brevets ou logiciels déposés

## Contribution de l'ONERA à la Base industrielle et technologique de Défense (DGA)

L'ONERA apporte une contribution essentielle à la Base industrielle et technologique de Défense en particulier sur un grand nombre des priorités technologies identifiées au sein des 16 agrégats de S&T\*.



**Aéronautique de combat**

- Technologies associées à la discrétion
- Systèmes avioniques ouverts et évolutifs
- Autonomie décisionnelle et nouvelles interfaces homme-machine
- Technologies de détection et de guerre électronique
- Capteur multifonctions, techniques de fusion de données et de traitement d'image, coopération multiplateformes
- Capteurs optroniques de nouvelle génération



**Hélicoptères de combat et aéronefs de transport**

- Technologies associées à la détection
- Aide au pilotage par faible visibilité
- Technologies associées à la discrétion
- Autoprotection



**Missiles**

- Autodirecteurs multimodes
- Compacité des équipements
- Systèmes de préparation de mission optimisés
- Hautes vitesses
- Matériaux furtifs
- Outils de simulation



**Renseignement et surveillance**

- Technologies pour les systèmes ROIM spatiaux
- Détection, reconnaissance, identification et localisation des objectifs et émetteurs
- Imagerie SAR et moyens d'exploitation automatique
- Techniques de similarité d'images
- Indexation, recherche, extraction de données multimodales
- Inférence et analyse des données multimodales pour extraction de connaissances
- Insertion des drones dans la circulation aérienne

\* Document de présentation de l'orientation de la R&T. Période 2014 -2019 w [www.defense.gouv.fr/dga](http://www.defense.gouv.fr/dga)

- Senseurs optroniques multifonctions
- Technologies de partage et de valorisation de l'information disséminée



**Systèmes terrestres  
et munitions**

- Technologies pour le segment sol post Syracuse :  
antennes bi-bandes X-Ka
- Connaissance et modélisation des phénomènes géophysiques



**Systèmes  
d'information  
et de communication**

- Architectures performantes en matière de résilience



**Cybersécurité**

- Détection de surface de toxiques chimiques
- Décontamination



**Défense NBC, santé  
et facteurs humains**



### Systèmes navals

- Intégration de drones aériens ou sous-marins et coopération multiplateformes
- Systèmes de navigation autonomes à très hautes performances
- Radars à antennes actives



### Compétences transverses

- Détecteurs infrarouges hautes résolution- sensibilité fonctionnant à températures plus élevées, imageurs à bas niveau de lumière
- Composants optroniques : détecteur hyperspectral
- Composant hyperfréquence (résonateurs, oscillateurs)
- Traitement radar évolués : émission colorée, large bande, instantanée en réception
- Technologie inertielle hybridée vision
- Sûreté de fonctionnement des systèmes informatiques embarqués
- Résilience des systèmes de systèmes



### Soutien à l'innovation

- Ingénierie de l'information & robotique
- Traitement de l'information complexe
  - ◇ sources : texte, multimédia, vidéo, flux Ip, logs, codes, imagerie multi capteurs (IR, visible, hyperspectral, Lidar, SAR...), radar, sonar...
  - ◇ applications : observation, surveillance, renseignement, cyber-défense, robotique, perception de l'environnement, de la situation ou des comportements, détection / reconnaissance / identification de cibles, alerte, navigation & localisation...
  - ◇ techniques : traitement du signal, des images et du langage, fusion d'informations hétérogènes, pistage, fouille de données, traitement de données massives, classification supervisée ou non, intelligence artificielle, techniques d'apprentissage ...
- Systèmes sûrs, fiables et robustes
- Sécurité informatique, intégrité et authentification des données et des échanges, supervision des réseaux, réseaux adhoc, sûreté de fonctionnement des logiciels, systèmes hybrides et embarqués...
- Vers une intelligence embarquée, distribuée
- Systèmes interconnectés, autonomie augmentée ou ajustable, aide à la décision, co-design « capteurs-traitements », systèmes multi-agents, simulations comportementales, *serious games* pour l'entraînement ou la mise en situation...



Document de présentation de l'orientation de la S&T.  
Période 2014 -2019. [www.defense.gouv.fr/dga](http://www.defense.gouv.fr/dga)

## Contribution de l'ONERA à la Stratégie nationale de recherche



### Gestion sobre des ressources et adaptation au changement climatique

- Suivi intelligent du système Terre
- Gestion durable des ressources naturelles
- Évaluation et maîtrise du risque climatique et environnemental



### Une énergie propre, sûre et efficace

- Efficacité énergétique
- Réduction de la dépendance en matériaux stratégiques
- Substituts au carbone fossile pour l'énergie et la chimie



### Le renouveau industriel

- Conception de nouveaux matériaux
- Capteurs et instrumentation



### Transports et systèmes urbains durables

- Nouvelles conceptions de la mobilité



### Société de l'information et de la communication

- Exploitation des grandes masses de données
- Collaboration homme-machine



### Sociétés innovantes, intégratives et adaptatives

- Disponibilité des données et extraction de connaissances



### Une ambition spatiale pour l'Europe

- Chaîne de services dans l'observation de la terre
- Compétitivité des secteurs des télécommunications et de la navigation
- Technologies pour l'observation et l'exploration de l'univers
- Défense et sécurité du territoire



### Liberté et sécurité de l'Europe, de ses citoyens et de ses résidents

- Chaîne de services dans l'observation de la terre
- Compétitivité des secteurs des télécommunications et de la navigation



Stratégie nationale de recherche  
France Europe 2020  
[www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/](http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/)

## Positionnement vis-à-vis des technologies de rupture identifiées par le Gifas

Le groupe de travail « Technologies de rupture » de la commission R&D du Gifas a identifié 26 fiches techniques, classées en six domaines, discutées avec la DGA/MRIS et présentées à l'ANR.

L'ONERA se positionne via le PSS sur 21 d'entre elles (contributions significatives en gras, plus modestes en normal, absentes en gris).

### Ingénierie de l'information

- **Acceptabilité, fiabilité et sécurité des systèmes et robots autonomes**
- **Coopération agile inter-capteurs sous contraintes opérationnelles fortes**
- Analyse de données massives, détection et isolation d'incohérences et/ou de désinformation
- **Évaluation et comportement autonome pour les drones**
- **Coopération sans communication**

### Ondes / fluide

- Diffusion acoustique bistatique
- (Méta-matériaux forte atténuation pour ASM)
- (Rayonnement acoustique petits fonds)

### Photonique

- **Contrastes additionnels en Imagerie**
- **Détecteurs**
- **Imagerie 3D longue portée**
- **Lasers**
- **Temps fréquence atomes froids**

### Matériaux / énergie

- (Systèmes électriques de forte capacité et de forte puissance)
- **Nouveaux matériaux structuraux CMO haute performance**
- **Ingénierie des surfaces**
- (Blindages légers)

### Nanotechnologies

- **Ingénierie de matériaux à base de nanotechnologies**
- **Intégration hétérogène de matériaux**
- Micro-nano systèmes
- **Nanotechnologies pour l'EM**

### Hommes et systèmes

- **Ingénierie du facteur humain et de l'interaction homme-système**
- (Tenue de situation et modélisation de l'environnement humain)
- **Présentation de l'information massive et interaction avec les données**
- **Prise de décision collaborative en environnement complexe, critique et/ou dynamique**
- **Neuro-ergonomie**



Rapport « Technologies de rupture identifiées en 2013 et 2014 pour le domaine *défense, aéronautique et spatial* » du groupe de travail « Technologies de rupture » de la commission R&D du Gifas

**A**

ACARE	Advisory Council for Aviation Research
AID	Agence de l'innovation de défense
ANR	Agence nationale de la recherche
AR	Action de recherche (ONERA)
ARE	Action de recherche exploratoire (ONERA)
ARF	Axe de recherche fédérateur (ONERA)
ARTES	Advanced Research in Telecommunication Systems (ESA)
ASD	Aéronautique, Spatial, Défense
ASL	Airbus Safran Launchers
ATM	Air Traffic Management
ATP	Aero Testing Programme
AUV	Autonomous Underwater Vehicle

**B**

BEA	Bureau d'enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'aviation civile
BITD	Base industrielle et technologique de défense
BLADE	Breakthrough Laminar Aircraft Demonstrator in Europe
BLI	Boundary Layer Ingestion
BOS	Background Oriented Schlieren
BT	Barrière thermique
BWB	Blended Wing Body

**C**

C2N	Centre de nanosciences et de nanotechnologies (CNRS)
CAA	Computational aeroacoustics
CALTECH	California Institute of Technology
CE	Communauté européenne
CEA	Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
CERFACS	Centre européen de recherche et formation avancée en calcul scientifique
CETIM	Centre technique des industries mécaniques
CFD	Computational Fluid Dynamics
CIFRE	Convention industrielle de formation par la recherche
CIR	Crédit impôt recherche
CLORA	Club des organismes de recherche associés
CMC	Composite à matrice céramique
CMO	Composite à matrice organique
CND	Contrôle non destructif
CNES	Centre national d'études spatiales
CNRS	Centre national de la recherche scientifique
CORAC	Conseil pour la recherche aéronautique civile
CORIA	Complexe de recherche interprofessionnel en aérothermochimie
COSPACE	Comité de concertation État-Industrie sur l'espace
CPU	Central processing unit
CR	Chargé de recherche
CREA	Centre de recherche de l'Armée de l'air
CROR	Counter Rotating Open Rotor
CWIPI	Coupling with Interpolation Parallel Interface

**D**

DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DES	Detached Eddy Simulation
DG	Discontinuous Galerkin
DGA	Direction générale de l'Armement
DGAC	Direction générale de l'Aviation civile

DGE	Direction générale des Entreprises
DGRI	Direction générale de la recherche et de l'innovation
DIRD	Dépense intérieure de recherche et développement
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DNS	Direct Numerical Simulation
DR	Directeur de recherche
DSG	Direction scientifique générale de l'ONERA
DSO	Defense Science Organisation (Singapour)
DSNA	Direction des systèmes de navigation aérienne (DGAC)
DTG	Direction technique générale de l'ONERA
DVPI	Direction de la valorisation et de la propriété intellectuelle

**E**

EASA	Agence européenne de la sécurité aérienne
EBSA	Electron Back Scattered Diffraction
ECR	Équipe commune de recherche (ONERA-ISAE)
ECRA	Electron Cyclotron Resonance Acceleration
EDA	European Defence Agency
EDS	Energy Dispersive X-ray Spectroscopy
eELT	European Extremely Large Telescope (VLT)
EM	Électromagnétique
ENAC	École nationale d'aviation civile
ENS	Ecole normale supérieure
ENSC	École nationale supérieure de cognitive
ENSTA	École nationale supérieure des techniques avancées
ETI	Entreprise de taille intermédiaire
EREA	European Research Establishments in Aeronautics
ESA	Agence spatiale européenne
ESF	Euro Space Foundation
ESO	Observatoire européen austral
ESRE	Association of Spatial Research Establishments
ETI	Entreprise de taille intermédiaire

**F**

FAA	Federal Aviation Administration (USA)
FM	Frequency Modulation
FOI	Swedish Defence Research Agency

**G**

GARTEUR	Group for Aeronautical Research and Technology in Europe
GENCI	Grand équipement national de calcul intensif
GEO	Geostationary orbit
GEOINT	Geospatial Intelligence
GFZ	German Research Centre for Geosciences
GIFAS	Groupement des industries françaises aéronautiques et spatiales
GIPSA	Grenoble images parole signal automatique
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPEC	Gestion prévisionnelle de l'emploi et des compétences
GPS	Global Positioning System
GPU	Graphic Processing Unit
GRAVES	Grand réseau adapté à la veille spatiale
GTF	Geared Turbofan
GTO	Geostationary Transfer Orbit
GVT	Ground Vibration Testing

<b>H</b>	
H2020	Horizon 2020 - 8e programme cadre européen pour la recherche et l'innovation
HCERES	Haut Conseil de l'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur
HPC	High Performance Computing
HP	Haute Pression (turbine)
<b>I</b>	
IA	Intelligence artificielle
ICAS	International Council of Aeronautical Sciences
ICM	Institut du cerveau et de la moelle épinière
IdF	Région Ile-de-France
IEF	Institut d'électronique fondamentale
IESTA	Infrastructure d'évaluation des systèmes de transport aérien
IETR	Institut d'électronique et de télécommunications de Rennes
IFAR	International Forum for Aviation Research
IHM	Interface homme machine
IHS	Interface homme système
IMFT	Institut de mécanique des fluides de Toulouse
INRIA	Institut national de recherche en informatique et automatique
IOGS	Institut d'optique Graduate School
IPP	Institut polytechnique de Paris
IPSL	Institut Pierre Simon Laplace
IR	Infrarouge
IRFU	Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers
IRIT	Institut de recherche en informatique de Toulouse
IRT	Institut de recherche technologique
ISAE	Institut supérieur de l'aéronautique et de l'espace
ISIR	Institut des systèmes intelligents et de robotique
<b>J</b>	
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
JPL	Jet Propulsion Laboratory (NASA)
<b>L</b>	
L1	Soufflerie de recherche du centre ONERA de Lille (basse vitesse)
LAAS	Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes (CNRS)
LATMOS	Laboratoire atmosphères, milieux, observations spatiales (IPSL)
LBM	Lattice-Boltzmann Method
LEAP	Leading Edge Aviation Propulsion
LEO	Low Earth Orbit
LES	Large Eddy Simulation
LETI	Laboratoire d'électronique et de technologie de l'information (CEA)
LIDAR	Light Detection and Ranging
LIP6	Laboratoire d'informatique de Paris 6
LIST	Institut des systèmes numériques complexes (CEA)
LIF	Laser Induced Fluorescence
LMFA	Laboratoire de mécanique des fluides et d'acoustique
LPM	Loi de programmation militaire
LPN	Laboratoire de photonique et de nanostructures (CNRS)
LSCE	Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement
LSTT	Laminar Separation Transition Triggerring
LWIR	Long-Wavelength Infrared

**M**

MBSE	Model Based Systems Engineering
MDA	Multi-Disciplinary Analysis
MDO	Multi-Disciplinary Design Optimization
MEB	Microscope électronique à balayage
MEMS	Microsystème électromécanique
MHD	Magnétohydrodynamique
MICROSCOPE	Microsatellite à compensation de traînée pour l'observation du principe d'équivalence
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MINAO	Laboratoire commun ONERA-CNRS Micro et nano optique
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MNT	Modèle numérique de terrain
MP	Région Midi-Pyrénées (devenue Occitanie)
MRIS	Mission pour la recherche et l'innovation scientifique (DGA)
MWIR	Mid-Wavelength Infrared

**N**

NASA	National Aeronautics and Space Administration
NLR	Netherlands Aerospace Centre
NOx	Oxydes d'azote
NPdC	Région Nord-Pas-de-Calais (devenue Hauts-de-France)
NRBC	Nucléaires, radiologiques, biologiques, chimiques [risques]
NUS	National University of Singapore

**O**

OA	Optique adaptative
OCA	Observatoire de la Côte d'Azur
OST	Organisation scientifique du travail
OTAN	Organisation du traité de l'Atlantique Nord

**P**

Pdev	
PEA	Programme d'étude amont (DGA)
PI	Propriété intellectuelle
PIA	Programme d'investissements d'avenir
PIV	Particle Image Velocimetry
PLIF	Planar Laser-Induced Fluorescence
PME	Petite et moyenne entreprise
PPRACE	Partnership for Advanced Computing in Europe
PPRIME	Institut polytechnique de Poitiers : recherche et ingénierie en matériaux, mécanique et énergétique
PR	Projet de recherche (ONERA)
PRF	Projet de recherche fédérateur (ONERA)
PSP	Peinture sensible à la pression
PSS	Plan scientifique stratégique
PSTN	Potentiel scientifique et technique de la nation

**R**

RANS	Reynolds-Averaged-Navier-Stokes
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals
RGB	Red Green Blue
ROEM	Renseignement d'origine électromagnétique
ROIM	Renseignement d'origine image
ROS	Radar à onde de surface
RPAS	Remotly Piloted Aerial System

RTE	Réseau thématique environnement (CORAC)
<b>S</b>	
S1MA	Soufflerie S1 du centre ONERA de Modane-Avrieux (continue, Mach 0,05 à 1)
S2MA	Soufflerie S2 du centre ONERA de Modane-Avrieux (continue, Mach 0,1 à 3)
SAR	Synthetic Aperture Radar
SCCOA	Système de commandement et de conduite des opérations aérospatiales
SER	Surface équivalente radar
SESAR	Single European Sky ATM Research
SETTAR	Service de l'innovation, du transfert de technologie et de l'action régionale
SGDN	Secrétariat général de la défense et de la sécurité nationale
SHM	Structural Health Monitoring
SHOM	Service hydrographique et océanographique de la Marine
SIR	Signature infrarouge
SONDRA	Supelec Onera NUS DSO Research Alliance
SpaceWOC	Space Weather Operation Center (USAF)
SPATIONAV	Système de surveillance maritime développé par la DGA
SPIRALE	Système préparatoire infrarouge pour l'alerte
SQUIDS	Superconducting Quantum Interference Devices
SRIA	Strategic Research and Innovation Agenda
SSA	Space Situational Awareness
SST	Satellite-Satellite Tracking
SVM	Support Vector Machine
SYRTE	Laboratoire Systèmes de référence temps-espace
<b>T</b>	
TA	Techniques aéronautiques (DGA)
TF	Transformée de Fourier
TNT	Télévision numérique terrestre
TRL	Technology Readiness Level
TSP	Temperature Sensitive Paint
TTW	Through The Wall
TUG	Spacecraft Transfer Payload from LEO to GEO
<b>U</b>	
UCAV	Unmanned Combat Aerial Vehicle
UE	Union européenne
UHBR	Ultra High Bypass Ratio
UHTC	Ultra High Temperature Ceramics
uPSP	Unsteady Pressure Sensitive Paint
URANS	Unsteady Reynolds Average Navier Stokes
<b>V</b>	
V&V	Verification and Validation
VCSEL	Vertical Cavity Surface-Emitting Laser
VEGA	Vettore Europeo di Generazione Avanzata
VESTA	Validation et évaluation de systèmes de transport aérien
VLT	Very Large Telescope
WA	Vérification, validation et acceptation
<b>W</b>	
WDS	Wavelength Dispersive Spectroscopy
<b>Z</b>	
ZARM	Center of Applied Space Technology and Microgravity (Brême, All.)
ZDES	Zonal Detached Eddy Simulation

Ce document et ses mises à jour sont consultables  
en [www.onera.fr/pss](http://www.onera.fr/pss)

ONERA - Direction scientifique générale - mai 2016  
Actualisation de février 2020  
V2.0.1