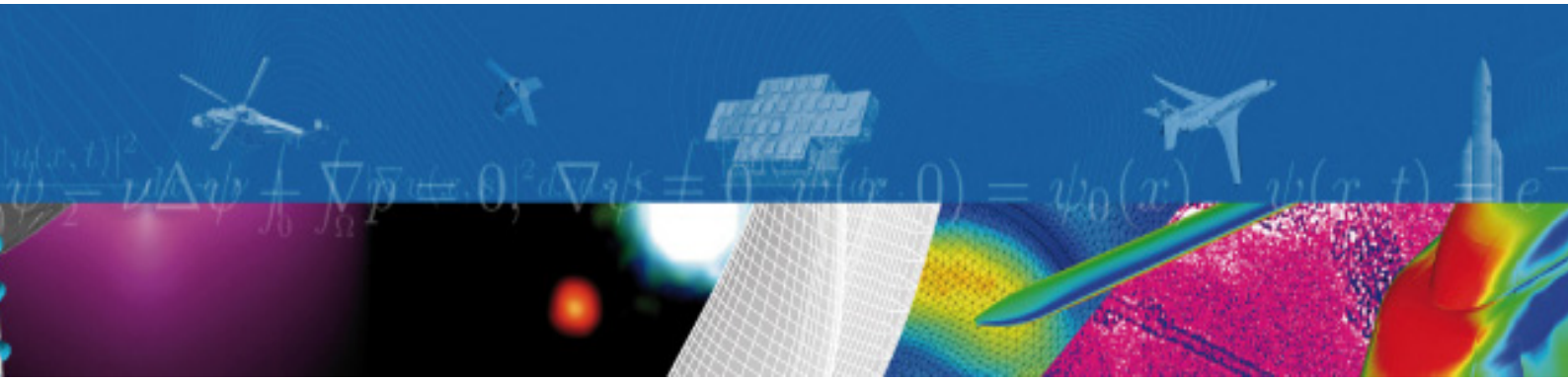


Plan

Stratégique Scientifique

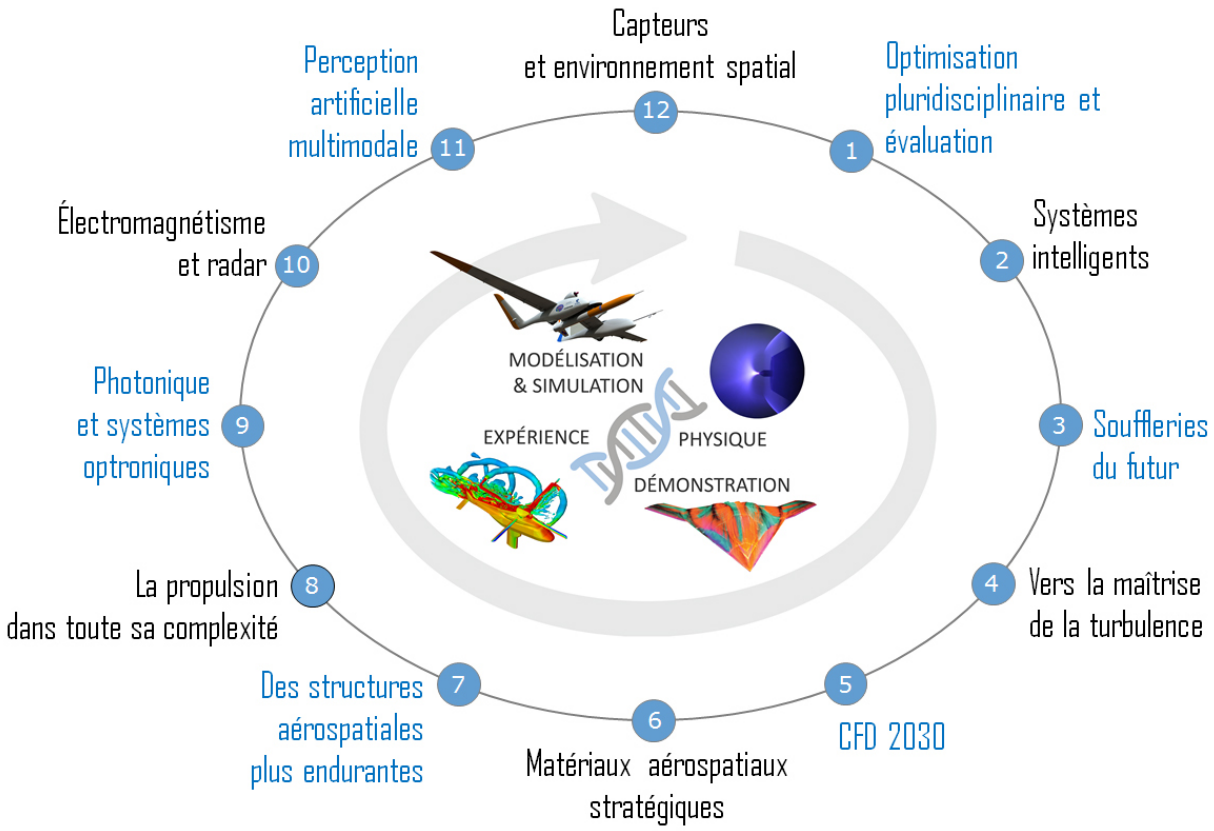
2015-2025

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

Sommaire

Dessiner le futur : des sciences aux technologies 3
Pourquoi un PSS 4
Les enjeux de compétitivité de l'industrie aérospatiale 9
Finalités structurantes et orientations des recherches futures 10
1. Défense 10
2. Aéronautique 15
3. Espace 17
Les ruptures et les approfondissements nécessaires 20
Douze défis scientifiques à relever 22
Huit leviers pour réussir 50



Annexes

Contribution de l'ONERA à la Base industrielle et technologique de Défense 60
Contribution à la Stratégie nationale de recherche 63
Positionnement vis-à-vis des technologies de rupture identifiées par le Gifas 64
Glossaire 66

Plan Stratégique Scientifique de l'ONERA

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, 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 sera nécessaire de repréciser le sens de l'action de l'ONERA sur le plan scientifique dans les années à venir. De ce point de vue, ce Plan scientifique stratégique est un élément essentiel du dialogue avec l'État, la communauté scientifique et les industriels.

Mars 2016

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.

Contributions de l'ONERA
à la recherche aéronautique et spatiale.
Brochure 2015. Voir www.onera.fr

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.

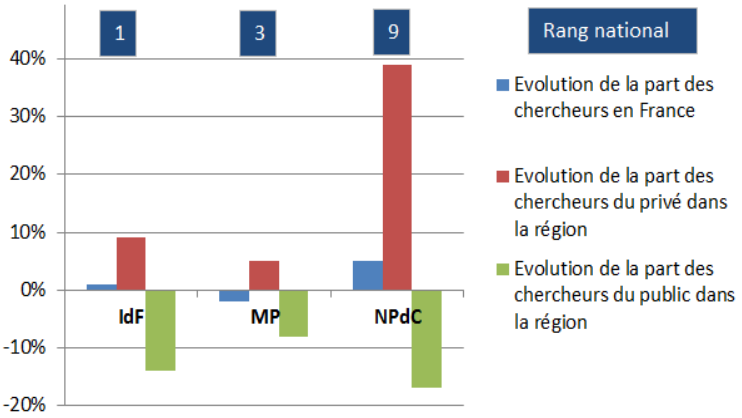
L'ONERA a pour mission de développer et d'orienter les recherches dans le domaine aérospatial ; de concevoir, de réaliser, de mettre en œuvre les moyens nécessaires à l'exécution de ces recherches ; d'assurer, en liaison avec les services ou organismes chargés de la recherche scientifique et technique, 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…).

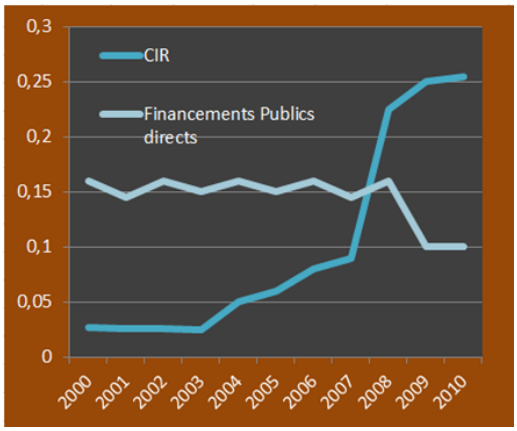


Évolution des chercheurs privés et publics entre 2006 et 2011 dans les régions Ile de France, Midi-Pyrénées et Nord-Pas de Calais (source : OST)

Dans ce contexte renouvelé*, bien que ses missions soient inchangées, il est important de repréciser 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.

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).

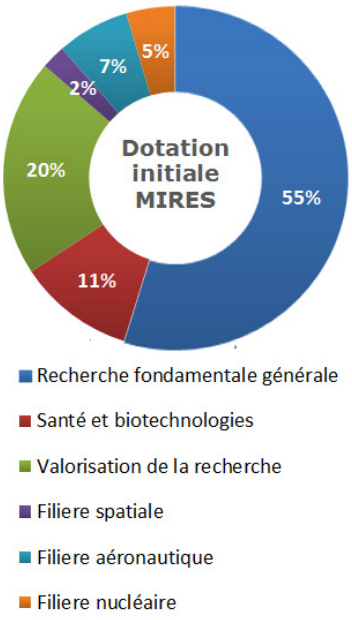


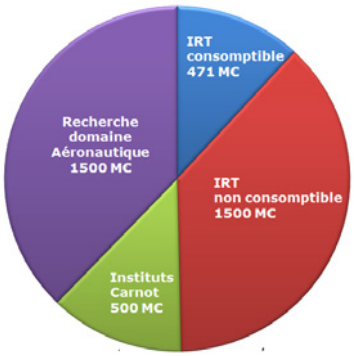
Évolution des financements publics directs aux entreprises et du CIR en % du PIB (source DGRI-SETTAR)

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).

*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





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 en 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

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

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.

CORAC | Aéronautique Environnement Recherche

DEMONSTRATEURS TECHNOLOGIQUES

- 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

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.

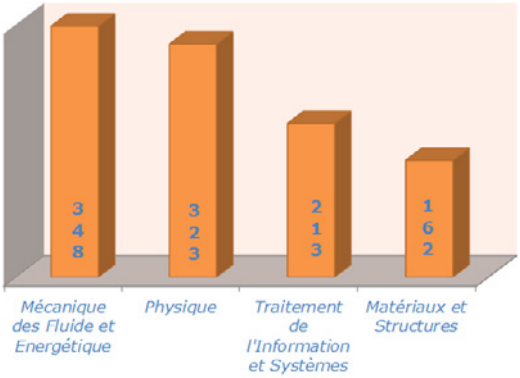
COSPACE

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.

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.



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

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

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 (cf. Huit leviers pour réussir, p. 50). Cependant, si l'ONERA doit évoluer dans son nouveau contexte, un certain nombre d'actions, menées dans un passé récent vers une plus grande cohérence de son organisation au regard d'exigences qui ont fait la preuve de leur efficacité, doivent être préservées. Il s'agit de la structuration des projets de recherche et de leur suivi, du rôle des branches et de leurs directeurs scientifiques, de la mise en place de projets d'intérêt commun avec de grands partenaires, de l'évaluation scientifique des départements, ou encore de l'organisation de journées d'échange avec le monde industriel.

Sur un plan plus culturel, la politique de publication et de communication a beaucoup évolué vers une plus grande ouverture et un accent mis sur la transmission et la validation par les pairs, dans le respect des intérêts de propriété intellectuelle et de confidentialité inhérents aux activités de recherches spécifiques à ses missions et à son statut d'EPIC. Mais il faut encore amplifier cette évolution : l'ONERA est encore trop mal connu et insuffisamment (ou de façon trop hétérogène) reconnu comme leader scientifique.

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

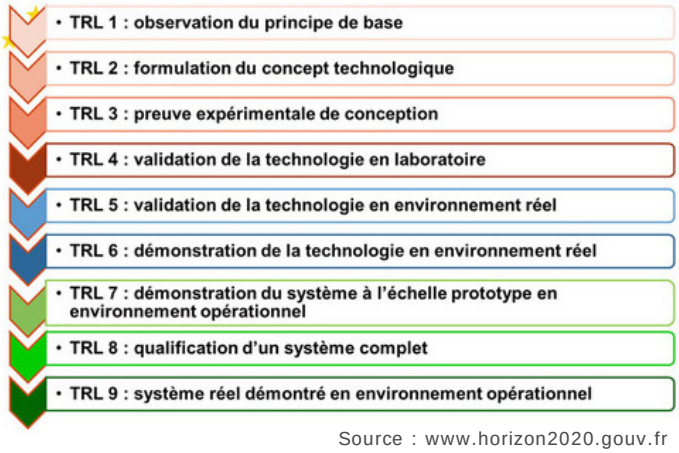
59 PR - projets de recherche
3 ans ; mono-disciplinaires, maturateurs de technologie

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

Le PSS concerne les TRL depuis le niveau 2 mais doit aller jusqu'au TRL 6, l'accès à ce dernier niveau étant permis par les moyens spécifiques dont dispose l'ONERA par comparaison avec d'autres organismes de recherche : des grands moyens d'essais jusqu'aux plateformes aéroportées qui permettent d'évaluer les technologies de capteurs comme les systèmes de vol, des capacités à s'engager avec des partenaires dans des démonstrateurs, des moyens propres de réalisation technologique.

Il est cependant essentiel de bien distinguer les démonstrateurs des prototypes et plus encore des produits qui ne relèvent pas de la mission de l'ONERA.



Source : 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.

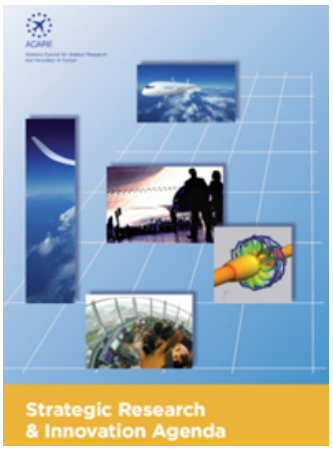
En ce qui concerne la défense et les enjeux de souveraineté de la France, l'ONERA – par ses études, ses recherches et son expertise – contribuera à maintenir et à développer l'excellence des systèmes d'armes français. Plus précisément les travaux de l'ONERA concernent quatre des cinq « fonctions stratégiques » 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_2, 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.

Brochure ONERA Transport aérien 2050, pour l'Erea



Agenda recherche et innovation stratégiques Acare

Trajectoire 2050 (Commission européenne)

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.

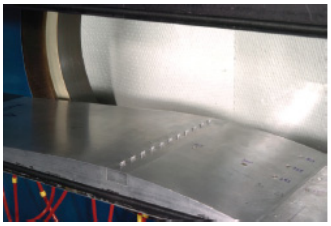
Augmentation de performances des systèmes existants

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 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 superalliages 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).



Montage d'étude du contrôle de l'interaction choc/couche limite dans la soufflerie S8Ch

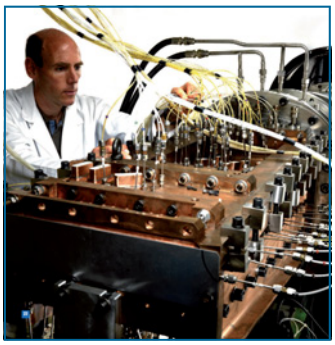
Assistance à l'appontage intégrant des techniques basées capteurs

Développement d'armes furtives et hypervéloces

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.



Banc superstatoréacteur ONERA

*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.

Configuration possible d'un missile à très haute vitesse

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.

Nouveaux concepts de systèmes de combats aériens

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

Le drone aérien ONERA ReSSAC et un robot terrestre du Laas

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.

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 technologies 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.

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.

Antennes du radar transhorizon Nostradamus de l'ONERA

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.

Système Graves (Grand réseau adapté à la veille spatiale)

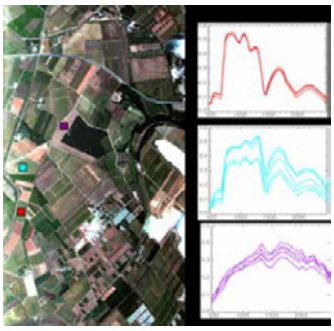
Dans le cadre de sa mission de référent Connaissance de l'environnement électromagnétique et infra-rouge, l'ONERA développe les outils de qualification de SER et de SIR — méthodes, moyens, modélisations, métriques de comparaison des variantes — et portera cette mission à un niveau international pour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

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



Validation expérimentale de l'apport de l'hyperspectral

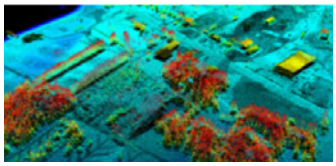
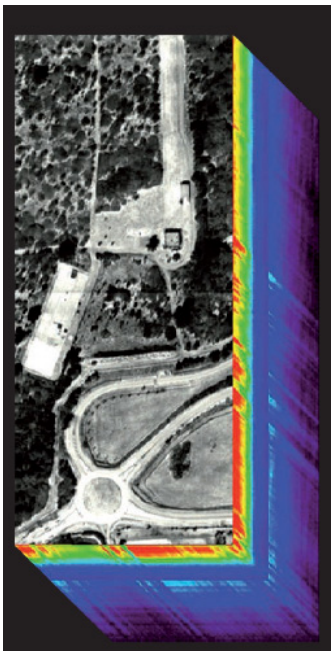


Image laser 3D



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

- 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
- 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 multimodales 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.

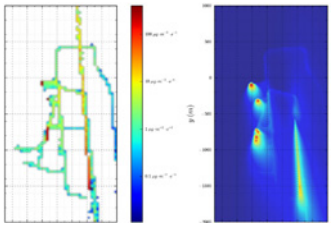
2. Aéronautique

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 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.



Modélisation de la qualité de l'air sur un aéroport régional

Infrastructure d'évaluation des systèmes de transport aérien

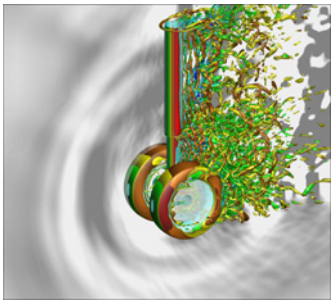
Une nouvelle génération d'aéronefs

Diminuer l'empreinte environnementale des systèmes aériens et les rendre plus durables passe par la réduction des émissions (CO_2, NO_X, 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 règlementation 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.

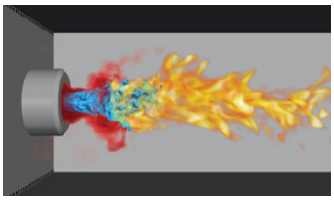
L'augmentation de la résilience face aux agressions externes ou aux dysfonctionnements du système aérien passe, elle, par une meilleure appréciation des conditions environnementales, voire une prévision de celles-ci et une adaptation fine des missions, une adaptation des matériaux et des composants,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



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)

De nombreuses formules aéropropulsives 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.

Un monde aérien plus global, plus performant et plus digital

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

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'avion (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

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 connaîtrons 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 DSNA et l'ENAC.

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

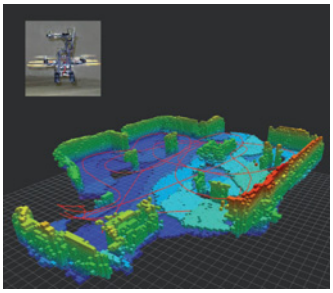
Les drones appartiennent déjà au présent. En pleine émergence, ils laissent entrevoir un futur dans lequel ils contribueraient à satisfaire des besoins de toutes natures et dans tous les domaines, publics et privés, civils et militaires.

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


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

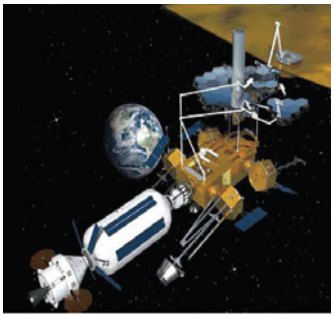
Lorsque la sécurité des drones aura été démontrée, lorsque les concepts de robotique collaborative auront confirmé leur potentiel, tout porte à croire que des solutions du même type pourront être jugées applicables ou adaptables à d'autres aéronefs. Dans le même temps, se posera la question de l'intérêt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

3. Spatial

Maquette d'Ariane 6 dans la soufflerie S2MA pour simulation à Mach 2,9

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.

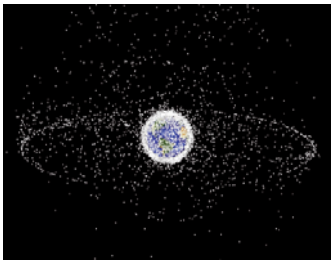

Exemple de dispositif spatial de capture multi-corps à fort élancement

Dans le Plan long terme 2015-2024 de l'Agence spatiale européenne, les programmes scientifiques *Observation de la Terre* et *Exploration cosmique* se déclinent en 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

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

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 :

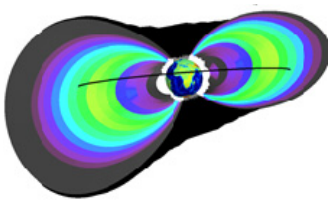


Débris spatiaux en orbite (NASA Orbital Debris Program Office)

- 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.

Une nouvelle utilisation de l'espace



Simulation des ceintures de radiation terrestres (modèle ONERA Salammbô)

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 microsatellites, 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.

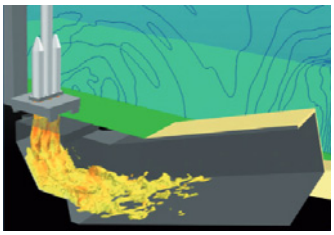
L'ONERA dispose également d'une forte expertise dans le domaine de l'environnement spatial, développée et utilisée étroitement avec le Cnes.

Le développement de nouveaux systèmes de propulsion

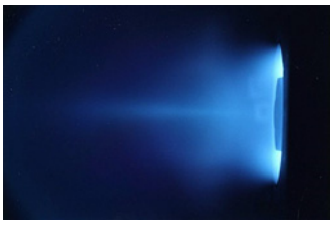
Dans le domaine de l'accès à l'Espace, il sera essentiel de progresser dans la compréhension et la maîtrise des phénomènes complexes : expertise en propulsion solide et propulsion liquide, recherche en aérodynamique, en aérothermique, en acoustique et en mécanique du vol.

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
- 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



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



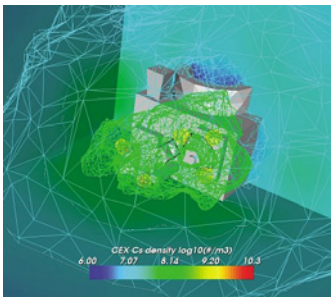
Panache de plasma propulsif en sortie d'un moteur plasmique

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

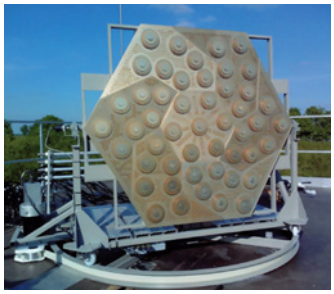
Concernant les missions scientifiques, les accéléromètres de très haute sensibilité pour la mesure du champ de gravité des planètes et la recherche fondamentale seront mis à contribution dans les prochaines missions scientifiques et interplanétaires, européennes et internationales.

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.



Simulation numérique de l'environnement satellitaire local chargé (satellite Microscope)



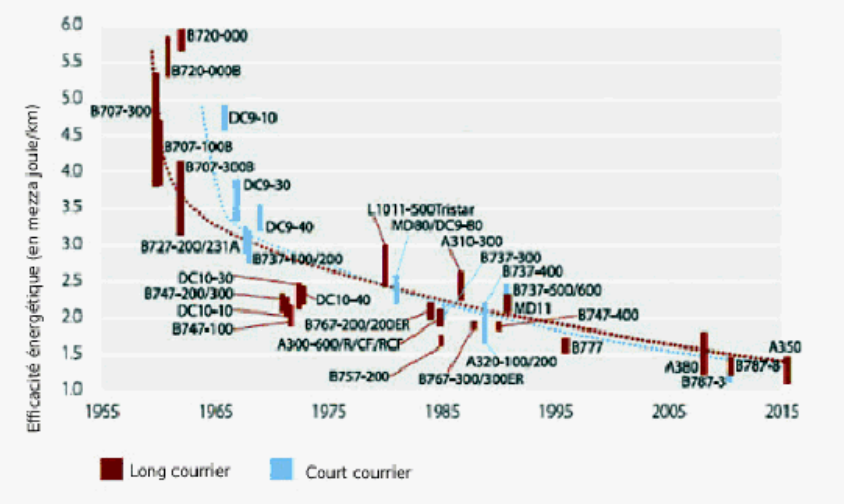
Emetteur du système bistatique ABISS pour la détection et le suivi d'objets spatiaux

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



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

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 challenges 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 :

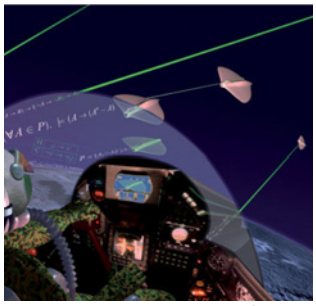
Concept Ampere (propulsion électrique répartie)

- **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 numé-

rique 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…

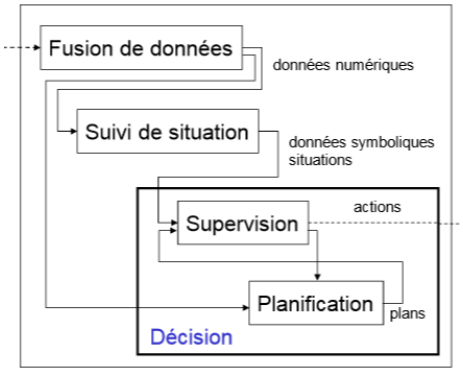
Concept à grand allongement et haubans Albatros

- **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



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

- **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.



Exemple d'architecture décisionnelle

- **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 approfondissement, 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.

> *"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 co-conception qui allient dans une même optimisation : technologies de capteurs, traitement des signaux mesurés, exploitation des données et prise en compte des contraintes opérationnelles.

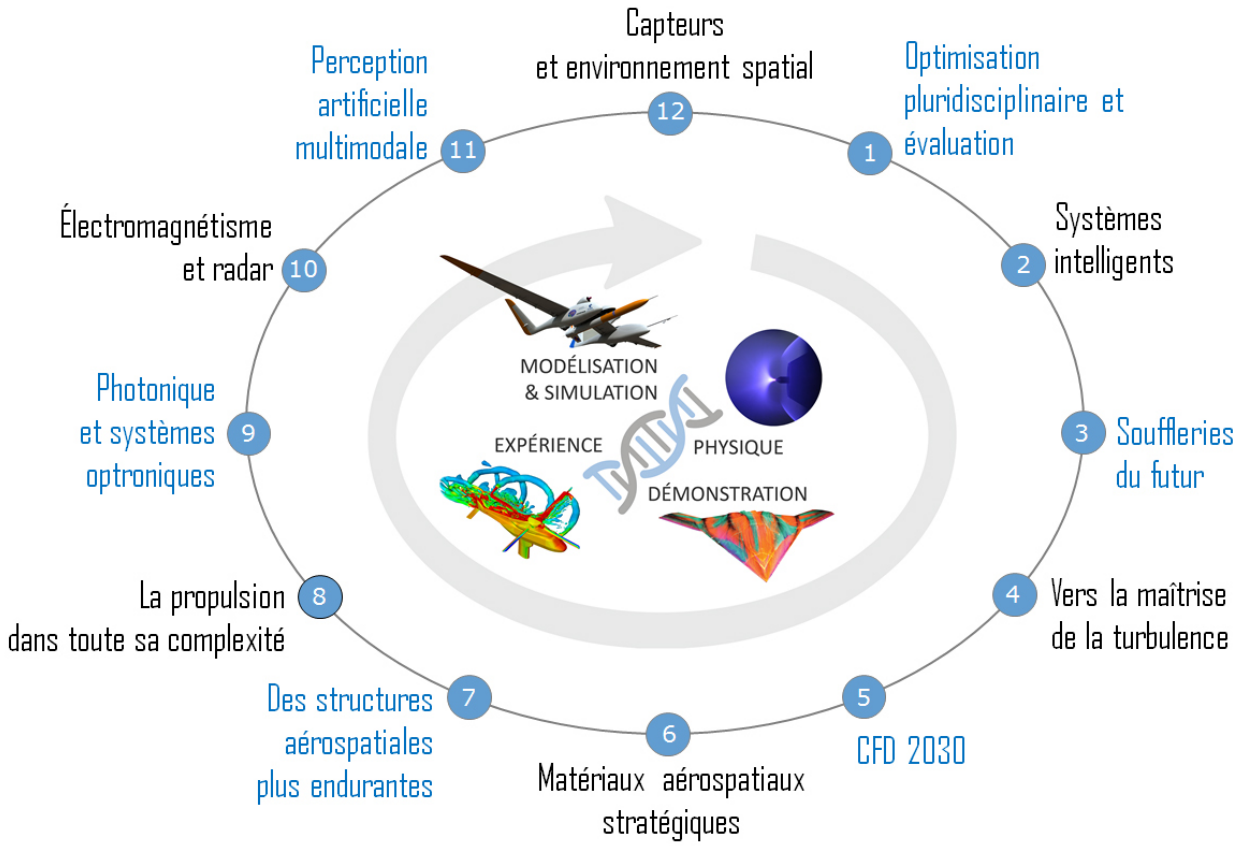
Le croisement de l'analyse des besoins au service des finalités exprimées avec les possibilités nouvelles issues de la science et la technologie pour y répondre a conduit l'ONERA à identifier douze défis, recouvrant deux grand domaines : les véhicules et les systèmes aérospatiaux d'une part, et l'observation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

Les défis sur les thématiques de l'optronique (défi 9) et de l'observation électromagnétique (défi 10) permettent par exemple de garantir l'expertise EM voire OP 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 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.

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

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.

défi 1 Optimisation pluridisciplinaire et évaluation

Une plateforme numérique d'optimisation pluridisciplinaire et d'évaluation de nouveaux concepts

Le défi

Optimiser conjointement les paramètres structurels, ceux des systèmes de propulsion, des lois de guidage/pilotage et des systèmes embarqués, et aider à évaluer de nouveaux concepts, par des simulations interactives et immersives constituent un double enjeu pour la maîtrise du processus d'innovation dans le domaine aérospatial. Cet environnement doit également permettre de répondre aux besoins d'expertise exprimés par les services officiels.

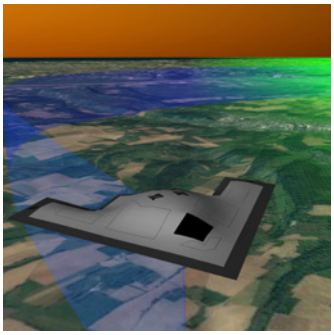
Des méthodologies de conception multi-domaines et multi-critères

Blade, le *simulation lab* de l'ONERA

Ces méthodes, au cœur des progrès futurs, couvriront les besoins :

- de **modélisation** paramétrique de systèmes multidisciplinaires et multi-fidélité mettant en œuvre notamment des méthodes de réduction de modèles et d'analyse de propagation des incertitudes
- d'**exploration** de l'espace de conception par des techniques d'optimisation multicritère, favorisant la recherche de compromis entre des objectifs de performances antagonistes, tout en respectant les contraintes que doit satisfaire le système en s'appuyant sur les méthodes les plus avancées de chaque discipline
- d'**interactivité** forte entre les ingénieurs et les processus de conception par des méthodes de *data mining* favorisant la traçabilité des configurations évaluées et des techniques de visualisation des résultats dans des espaces à grandes dimensions et des métriques rendant possible la prise de décision
- d'**innovation** en intégrant la modélisation par des méthodes de fidélité variable des technologies les plus avancées

Un environnement de simulation hybride distribuée



Simulation dans Blade incluant un drone de combat

Cet environnement étendra les capacités des plateformes actuelles — laboratoire de simulation Blade, systèmes d'ATM Iesta et simulation avec interfaces homme/système Pycshel en intégrant :

- des **méthodes** formelles **d'analyse fonctionnelle** d'objectifs de mission et de vulnérabilité face à des perturbations et aléas
- l'**interaction homme-système** via des interfaces physiques et des modèles supportant des représentations de l'activité cognitive et physique des opérateurs
- des **données** issues d'essais et de mesures des calculateurs embarqués de pilotage ou de traitement des informations capteurs
- des **outils d'observation du comportement** des systèmes via la représentation logique de leur dynamique, de *data mining* en grandes dimensions avec incertitudes et d'extraction de connaissances

[pépite (en cours)] une plateforme d'optimisation multidisciplinaire

La plateforme de MDO/MDA Acadia intégrera des outils de modélisation multi-disciplinaires, de réduction de modèles, de propagation des incertitudes et d'optimisation multi-objectif. Elle sera exploitée en définissant un nombre limité de plateformes aéronautiques visibles et attractives comme les nouvelles architectures d'avion de transport avec des voilures en ailevolante (BWB) ou voilures tournantes et à propulsion distribuée, des architectures de drones convertibles ainsi que des lanceurs réutilisables.

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 à haut niveau de réalisme.

Ampere : concept d'avion léger avec propulsion électrique répartie

Les priorités pour 2020

- **Génération de modèles paramétriques probabilistes** afin de prendre en compte les incertitudes aléatoires et épistémiques dans les systèmes dynamiques et **méthodes d'analyse de sensibilité pluri-disciplinaires associées** dans le cadre d'une ingénierie dirigée par les modèles
- **Modèles de substitution précis et robustes** pour la simulation en temps maîtrisé par des méthodes de régression génériques et de mesure d'incertitudes associées et **outils d'optimisation multi-disciplinaire sous incertitudes**
- **Méthodes formelles et statistiques pour l'analyse des architectures systèmes** dans l'évaluation de performances fonctionnelles et temporelles ainsi que pour la caractérisation des risques de défaillance et l'estimation d'évènements rares
- **Simulation hydride distribuée avec éléments réels** pour l'évaluation des performances opérationnelles en intégrant des composants et des mesures physiques et en exploitant des comportements autonomes des systèmes ainsi que des moyens de représentation des données et des comportements par des interfaces de réalité virtuelle

Eole : démonstrateur d'aéronef automatisé et réutilisable pour la mise en orbite de petits satellites

Les partenaires

DGA et DGAC. Projets collaboratifs des IRT St-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.

défi 2 Systèmes intelligents

Concevoir des systèmes intelligents performants et sûrs

Le défi

Le développement de systèmes dits « intelligents » vise d'une manière générale à atteindre des capacités d'adaptation significatives face aux variations de l'environnement dans lequel ils évoluent ainsi que de celles de leur état intrinsèque.

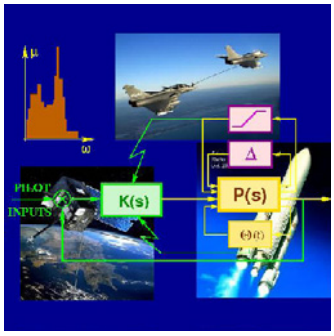
Concevoir les fonctions liées à l'autonomie

Coopération de drones hétérogènes (PEA Action)

La maîtrise du comportement de systèmes dynamiques complexes devant des incertitudes et des contraintes de toutes natures, des non-linéarités de fonctionnement voire des défaillances passe par des structures de commande multi-boucles robustes et, à un niveau plus élevé, des boucles de commande référencées sur des capteurs extéroceptifs permettant d'établir directement dans l'espace des capteurs une relation locale entre le système et son environnement. La planification et la supervision des missions doivent être également prises en charge par un niveau décisionnel capable de conduire des raisonnements sur la base de données incomplètes et incertaines.

Le développement des architectures de commande doit être supporté par des environnements cohérents de modélisation, d'aide à la synthèse et à l'analyse des performances ainsi que de conception des plateformes informatiques nécessaires à leur exécution et à la vérification de leur implémentation, ceci en tenant compte des évolutions des calculateurs embarqués.

Assurer l'intégration homme-système



Boucle de pilotage pour systèmes aéronautiques et spatiaux

La prise en compte de dimensions cognitives, perceptives ou sensori-motrices dans les interactions homme/système est capitale pour la conception et la maîtrise de systèmes complexes, que ce soit pour la mise en œuvre des boucles rapides de pilotage de ces systèmes ou pour des fonctions de plus haut niveau (supervision, décision, etc.).

Une meilleure connaissance des interactions entre l'homme et la machine fera émerger des interfaces centrées sur l'humain, des outils de monitoring et d'aide à la décision, ainsi que les pratiques organisationnelles de décision distribuée (gestion du trafic aérien, procédures air-sol) dans le but de réduire les charges cognitives et physiques des opérateurs et d'étendre les capacités humaines en apportant des technologies et des outils d'aide aux opérateurs.

[pépite (en cours)] le drone résilient — projet prf Dropter

On y retrouve des techniques de commande adaptative permettant la poursuite du vol d'un drone avion malgré des problèmes d'actionneurs de gouverne ou d'aileron.
Un scénario de perte du capteur de mesure de vitesse est aussi envisagé dans lequel des techniques en ligne permettent la poursuite du vol en sécurité. Des approches de commande référencée vision, étudiées par ailleurs pour l'atterrissage d'avions de lignes, sont aussi mises à contribution.

Les atouts ONERA

Les développements de ce défi reposeront sur une expertise et des moyens uniques pour l'automatique, la robotique et l'ingénierie cognitive (toolboxes Smac, More ; Genetic... moyens d'essais : drones et robots, laboratoire d'ingénierie cognitive).

Les priorités pour 2020

- **Développer méthodes et outils de spécification des fonctions systèmes et d'analyse des risques** pour l'analyse formelle des concepts opérationnels et des réglementations, la modélisation probabiliste et l'évaluation prédictive des défaillances, la vérification des exigences
- **Maîtriser qualité et performances des plateformes informatiques et des logiciels embarqués** en proposant des méthodes de programmation pour les calculateurs et réseaux de nouvelle génération
- **Optimiser le comportement des aéronefs pour une intégration optimale, fiable et sûre dans l'espace aérien** pour des nouveaux concepts globaux de gestion du trafic aérien (ATM,UTM)
- **Disposer d'un contrôle du comportement et de la navigation sûre d'engins aérospatiaux en toutes conditions** en faisant évoluer les techniques de commande pour les systèmes dynamiques, les méthodes de recalage et de réduction de modèles et en développant des techniques de commande référencées multi-capteurs adaptatives
- **Intégrer les fonctions cognitives et sensorimotrices humaines dans la conception des systèmes de contrôle** pour concevoir des interfaces centrées sur l'humain et des outils d'aide à la décision
- **Assurer préparation, supervision, coordination des missions d'engins autonomes** avec des architectures logicielles de planification dynamique de missions pour des systèmes multi-agents
- **Intégrer le contrôle santé pour optimiser l'opération et la maintenance des systèmes** par des méthodes de détection des dysfonctionnements et de reconfiguration, de contrôle santé des structures et composantes par l'analyse des données collectées

La dimension sûreté devra être prise en compte notamment à travers les systèmes cyber-physiques qui sont amenés à se développer massivement.

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

Les partenaires

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

défi 3

Souffleries du futur

Concevoir et préparer les essais de demain dans les grandes souffleries

Le défi

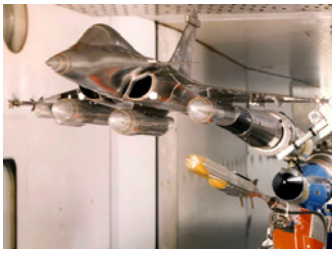
Il comporte une double dimension. La première est celle de la préparation des essais de mise au point et de validation de demain, dans un contexte où la simulation numérique, le big-data, l'interaction essai-calcul tant pour l'exploitation que pour le pilotage vont connaître encore de nouveaux développements. 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.

Explorer les nouvelles configurations, étendre les domaines de vol

Les technologies de rupture pour les aéronefs 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 aéronef civils que pour la défense où sont concernés les avions de combat, les drones de combat, les missiles et les moteurs.

Valider les simulations numériques par l'hybridation calcul / expérience

L'A400M à basse vitesse dans la soufflerie F1 du Fauga-Mauzac



Trajectographie de missiles sous Rafale (soufflerie S2MA)

Les grandes souffleries de l'ONERA, au tout premier niveau mondial, préparent l'avenir en participant, avec les départements de l'ONERA, à l'exploration de nouvelles configurations, à la maîtrise des nouvelles métrologies et au développement de l'hybridation des essais avec des simulations numériques.

Le rôle des essais en souffleries dans la conception des nouvelles formules devrait ainsi s'affirmer dans la mesure où leur représentativité par rapport aux conditions réelles se renforce, réduisant essais en vol et coûts associés.

Les atouts ONERA

- Un parc de souffleries couvrant tous les besoins
- Un atelier de fabrication de systèmes dynamométriques de très haut niveau
- Une métrologie de pointe

[pépite (en cours)] la fusion-assimilation CFD-essais

Le futur est à l'utilisation conjointe de la CFD et des essais. Cette association permettra de vaincre le mur de difficultés auquel se heurte la théorie. Pour des calculs et essais effectués sur une même configuration, l'opération de « fusion assimilation » permet d'aider la théorie à améliorer – ou régler – ses modèles et à créer le chaînon manquant là où le calcul est incertain ou la modélisation trop simplifiée.

Les priorités pour 2020

- **Savoir 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 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 avec toutes les précisions habituellement exigées.

- **Prendre en compte dès l'essai en soufflerie les effets dynamiques dans le comportement en vol des aéronefs**

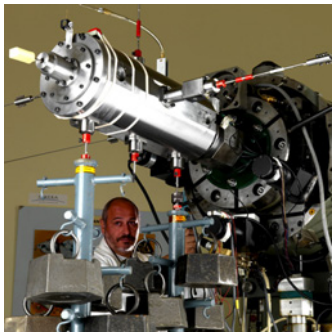
  Accompagner le calcul numérique pour les apparitions de phénomènes dynamiques et pour une définition précise des enveloppes de vol, grâce à la miniaturisation et à la densification des capteurs et des chaînes de traitement du signal

- **Exploiter le dialogue mesure-simulation pour une meilleure fiabilité des essais**

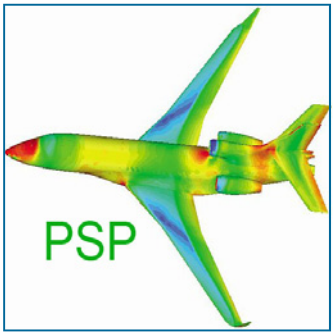
  Développer l'hybridation calcul/expérience pour corriger les conditions en souffleries, pour cerner les domaines de sensibilité où concentrer la mesure et pour recaler les calculs de production.

- **Rapprocher l'essai en soufflerie et l'essai en vol**

  Mieux simuler les conditions réelles du vol en développant des technologies de contrôle actif à base de MEMS pour améliorer les techniques de transition et en visant la simulation expérimentale en similitude aéroélastique.



Balance pour la mesure des efforts en soufflerie



Maquette de Falcon 7X recouverte de peinture sensible à la pression, pendant un essai

Les partenaires

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

défi 4

Vers la maîtrise de la turbulence

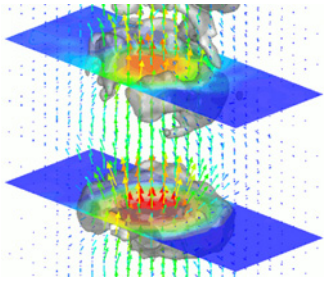
Contrôler les écoulements et tendre vers la maîtrise de la turbulence

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 la turbulence constituent un défi qui impacte l'ensemble des applications aéronautiques.

.

Un sujet stratégique pour toutes les applications aéronautiques



La turbulence en 3D grâce à la PIV3D et ses calculateurs

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 une expérimentation ou dans une simulation numérique.

Compréhension, expérimentation, simulation, modélisation… et contrôle

Dérive laminaire dans S1MA

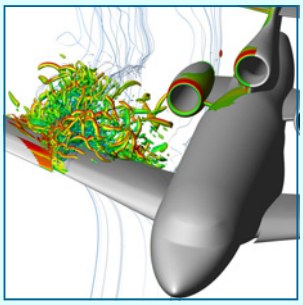
Ce travail de modélisation s'appuie sur une utilisation couplée de souffleries de recherche et de simulations numériques multi-niveaux allant de la résolution « exacte » des équations par des simulations dites directes (DNS) à celle d'équations filtrées à différents niveaux (LES, DES, RANS).

La maîtrise de la physique de la turbulence, les expérimentations fines, la simulation numérique détaillée et la modélisation ouvrent alors 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 outils de simulation performants (logiciels et calculateurs internes) ainsi qu'un parc d'installations expérimentales couvrant une large gamme de TRL.

[pépite] la méthode ZDES

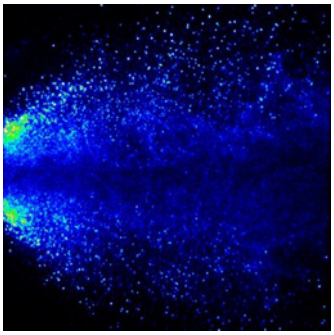


La prévision des sources aéro-acoustiques responsables des nuisances sonores est un exemple où la connaissance précise du champ fluctuant dans un écoulement turbulent est vitale. Pour répondre à ce défi, l'ONERA a développé une méthode multi-résolution appelée ZDES (Zonal Detached Eddy Simulation). Cette méthode permet de faire cohabiter dans une même simulation, une modélisation moyennée en temps peu coûteuse, et une modélisation plus avancée pour résoudre les fluctuations turbulentes.

Les priorités pour 2020

- **Développer métrologie et expériences pour l'aérodynamique, l'aérothermochimie et l'aéroacoustique**

  Vélocimétrie *PIV* 3D résolue en temps, *BOS* et holographie numérique pour la masse volumique, peinture sensible à la pression pour les efforts pariétaux, 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, comme aux méthodes e*mbarquées* pour réduire la complexité et donc le stockage d'information.



Dispersion de gouttes de kérosène dans une chambre de combustion (LIF)

- **Réduire la complexité**

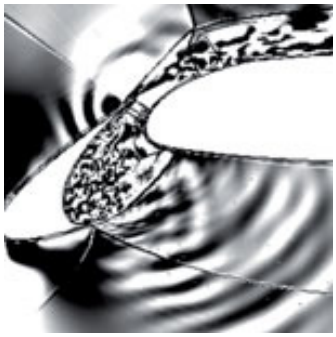
  Proper Orthogonal Decomposition et *Dynamic Mode Decomposition* pour les classements énergétique et spectral, mais aussi approches nouvelles, à intégrer dans les plateformes numériques pour un traitement embarqué limitant le stockage d'information.

- **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.

- **Construire des modèles de transition et de la turbulence sur des bases physiques**

  Modéliser les instabilités, le déclenchement et le développement de la transition vers la turbulence et modéliser la turbulence (dynamique et thermique) développée en fonction de paramètres mal connus : état de surface, type de perturbation extérieure, instationarités lentes au moyen d'expériences et d'approches numériques dédiées. Intégrer les modèles dans les plateformes .



Simulation numérique de la production d'ondes acoustiques en hypersustentation (ZDES)

- **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 aéronefs ; contrôler les accrétions de givre, optimiser les puissances utilisées (dégivrage, antigivrage) ; gagner en maturité sur la modélisation des transitoires.

Les partenaires

COMUEs Paris-Saclay, Toulouse et Lille, Pprime, LMFA, IMFT, Imperiall College, Caltech, Nasa, Jaxa

défi 5

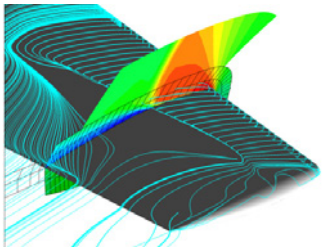
CFD 2030

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

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.

L'interopérabilité et l'hybridation des logiciels est une priorité

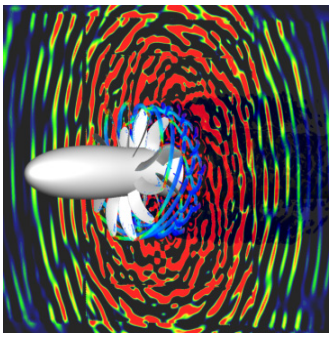


Le logiciel ONERA Aghora préfigure la CFD de demain

elsA pour la mécanique des fluides, Cedre pour la combustion, l'aéro-thermique et l'aérothermomécanique, Sabrina, Space pour l'aéro-acoustique, autant d'outils stratégiques pour l'ONERA et pour ses partenaires industriels.

Ils capitalisent un savoir-faire en matière de simulation et de modélisation physique validé par le potentiel expérimental multi-niveaux de l'ONERA. Une priorité pour l'ONERA est d'élaborer sur la base d'une architecture par composants interopérables entre eux et avec l'extérieur, une offre logicielle cohérente qui "hybride" ses logiciels fédérateurs et les meilleurs logiciels de recherche développés en interne ou chez ses partenaires.

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



Simulation numérique aéro acoustique d'une double hélice Cror

ONERA ELSA

ONERA CEDRE

elsA et Cedre, les deux grands « codes » ONERA pour l'aérodynamique et la propulsion

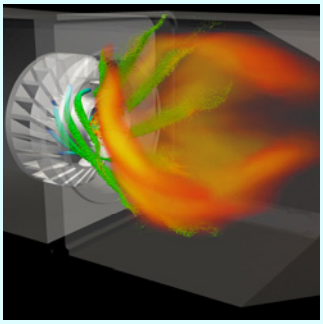
L'ONERA prépare aussi l'avenir en développant et en consolidant une classe de méthodes numériques robustes et fiables, des méthodologies de construction et de conduite de simulations couplées, multiphysiques, multi-modèles et multiéchelles, intégrables dans des systèmes de modélisation aisés d'emploi et adaptés aux architectures des grandes machines de calcul.

Ces nouvelles méthodes, à base tant numérique que physique, seront graduellement intégrées dans les plateformes multiphysiques futures et mises à la disposition des industriels.

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)

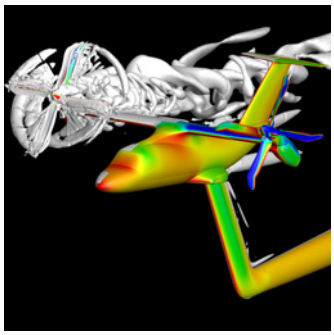
[pépite] la simulation multi-physique de Cedre



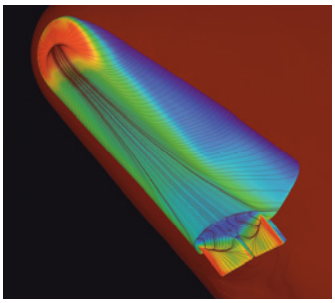
La simulation en mécanique des fluides demande des modèles décrivant les physiques de la chimie, de la thermodynamique, de l'aérodynamique mais également des modèles d'interactions : thermochimie, aérothermodynamique, liquide-gaz, transfert radiatif... Cedre, doté de «solveurs» spécialisés prend en compte toutes ces physiques et leurs interactions. Il peut être couplé à d'autres logiciels de physiques plus éloignées : mécanique des structures ou acoustique par exemple.

Les priorités pour 2020

- **Intégrer des plateformes CFD pour la recherche et l'industrie**
  Architecture logicielle en composants interopérables couplant des plateformes ONERA entre-elles et avec l'extérieur, pour des simulations multidisciplinaires, traitant un grand nombre de configurations, en stationnaire ou instationnaire. Intégrer progressivement les approches adjointes nécessaires à l'optimisation et l'assimilation.
- **Prendre en compte la complexité géométrique avec précision**
  Pour le maillage de configurations de plus en plus détaillées, développement d'un solveur hybride structuré/non structuré pour l'aérodynamique, exploration des ruptures via des méthodes de type éléments finis avec différentes modélisations de turbulence.
- **Maîtriser erreurs et incertitudes pour l'introduction de la CFD dans les processus de certification**
  Vérification-validation des codes, implantation d'estimateurs d'erreurs, développement de méthodes d'estimation et de propagation d'incertitudes, exploitation des essais en souffleries, en collaboration avec les industriels, afin de quantifier les incertitudes et les biais dus aux paramètres opérationnels et géométriques.
- **Modèles multiphysiques-multiéchelles couplés et validés**
  Mener des simulations hybrides RANS/LES sur des objets complets (propulseur, de l'entrée d'air à la sortie moteur jusqu'aux traînées de condensation), s'appuyant sur un standard de communication entre codes et maillages, opérationnel en environnement HPC.
- **Tirer parti du couplage expérience-simulation au-delà de la validation et de la compréhension des phénomènes**
  Développer et orienter l'hybridation expérience-CFD 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 au service de la simulation numérique**
  Préparer l'arrivée des machines exaflopiques par une orientation multi-cœurs des codes et l'utilisation d'accélérateurs, dans une démarche de recherche avec les constructeurs et en accédant aux infrastructures nationales et européennes.



Simulation numérique elsA pour le projet européen Nicetrip



Simulation numérique de la rentrée atmosphérique du démonstrateur PreX (ESA)

Les partenaires

Cerfacs, Coria, Comues de Paris Saclay, Toulouse et Lille, Université de Bordeaux, IMFT ; groupes Safran et Airbus.

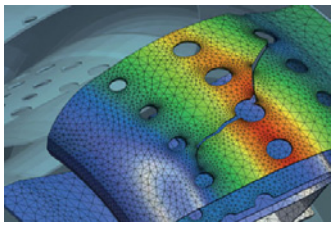
défi 6 Matériaux aérospatiaux stratégiques

Développer des matériaux stratégiques pour l'aérospatial

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.

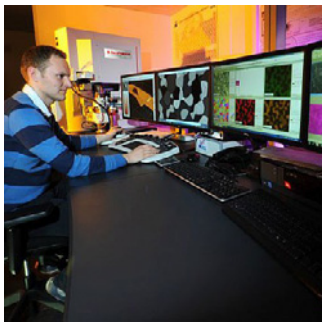
Assurer à la France l'indépendance stratégique et renforcer son leadership mondial



Propagation d'une fissure avec le code ONERA Zset-Zebulon

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, en passant par la conception, l'élaboration et la caractérisation de matériaux métalliques, céramiques ou composites, jusqu'au comportement fonctionnel et mécanique des composants dans leur environnement.

Tous les enjeux du transport aérien se retrouvent dans le domaine des matériaux



Microscope électronique à balayage (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_2, des effluents et des nuisances sonores ainsi que la sûreté de fonctionnement mais aussi sur ceux de la défense ou les enjeux duaux défense/civil, comme l'exploitation de l'espace, l'augmentation de la compétitivité en coût et performances et le développement de socles de compétences.

Les atouts de l'ONERA

- Seul centre de recherche français à disposer de l'ensemble des moyens de conception et élaboration ainsi que de caractérisation et de modélisation d'alliages pour l'aérospatiale et de leurs systèmes de protection.
- Des capacités de pointe pour la caractérisation physico-chimique, microstructurale ainsi que thermomécanique des matériaux dans leur environnement
- Un socle de compétences multidisciplinaires reconnu internationalement axé sur l'intégration de la physique dans la modélisation multi-échelle et multi-physique des matériaux et la validation expérimentale
- Un partenariat historique et stratégique avec l'industrie aérospatiale française

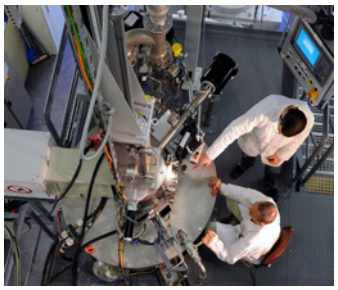
[pépite] les céramiques transparentes

L'ONERA développe des céramiques très transparentes aux excellentes propriétés thermo-mécaniques, à partir de poudres d'alumine (Al_2O_3) et de spinelle ($MgAl_2O_4$) compressées à chaud.

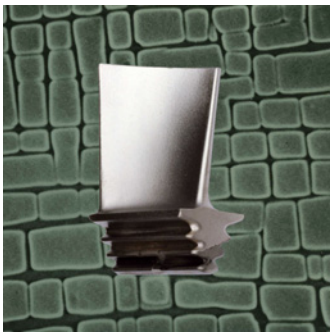
Les applications de défense vont des fenêtres pour missiles, transparentes à la lumière visible et infrarouge, aux vitrages blindés pour hélicoptère de combat. Avec une épaisseur trois fois moindre, ces céramiques offrent un blindage équivalent à un vitrage pare-balle classique.

Les priorités pour 2020

- **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, comme les procédés de fabrication additive, et maîtriser le couplage matériau-procédé. Développer des matériaux structuraux et leur système de protection contre l'environnement de façon conjointe.
- **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 des divers moyens de compactage des poudres.
- **Développer, caractériser et modéliser le comportement de matériaux à faible densité et résistants à très hautes températures -** Concevoir des solutions alternatives aux alliages conventionnels, visant des gains de densité de 20 à 25 %, en combinant des éléments réfractaires et donc lourds (*Nb*), à des éléments légers (*Ti, Al, Si*). Renforcer la ténacité des matériaux céramiques en introduisant des fibres ou en agissant sur leur microstructure.
- **Réaliser des nanostructures et nanomatériaux sur un socle de compétences interdisciplinaires et expérimentales -** Réaliser des nano-hétéro-structures à base de carbone pour combiner, modifier et exalter les propriétés de ce type de nanomatériaux. La maîtrise directe des propriétés à l'échelle du nanomètre ouvre des perspectives inédites.
- **Maîtriser la modélisation multi-échelle et multi-physique des matériaux en environnement complexe -** Développer la modélisation des phénomènes physiques allant de l'atome à la pièce industrielle : conception d'alliages, comportement mécanique, vieillissement en service et tenue aux conditions extrêmes.
- **Accélérer la maturation des nouveaux matériaux en optimisant le dialogue simulation-expérimentation -** Réduire drastiquement les temps de développement et d'introduction des nouveaux matériaux en optimisant les interactions entre l'expérimentation et la modélisation.



Tour d'atomisation pour l'élaboration des matériaux par la voie métallurgie de poudres et de pièces par la fabrication additive



Aube de turbine et microstructure du superalliage base nickel qui la compose (AM1)

Les partenaires

Safran, Dassault Aviation, MBDA, Thales, DCNS. Instituts Carnot, Cnes, IRTs, Cetim. Partenaires académiques en IdF, Flagship Graphène.

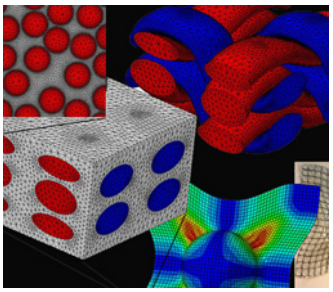
défi 7 Des structures aérospatiales plus endurantes

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

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, l'intégrité

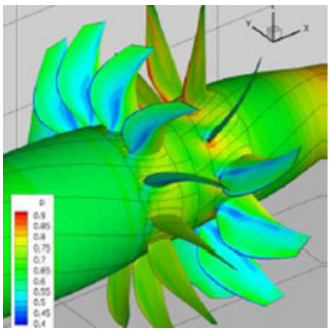


Modélisation multi-échelle en cascade du comportement et de l'endommagement de composites tissés 3D

Les solutions structurales futures devront être plus légères et plus « vertes » afin de réduire la consommation et les émissions des appareils, d'augmenter leurs capacités mais aussi de mieux répondre aux enjeux des cycles de vie.

Dimensionnées par rapport aux charges normales, limites, extrêmes ou accidentelles, elles devront garantir un niveau au moins égal de sécurité, de durée de vie et d'intégrité. 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



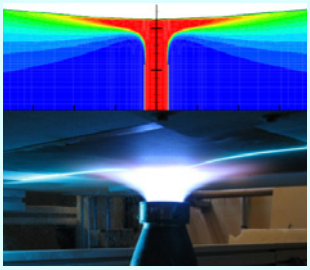
Simulation des couplages aéro-élastiques statiques sur un *counter rotative open rotor*

Pour atteindre des gains significatifs, le secteur aérospatial va 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 pertinence 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.

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 aéronefs
- Forte multidisciplinarité de connaissances et de compétences
- Renommée & visibilité internationale, étroites collaborations avec le DLR sur l'aéroélasticité, la résistance à l'impact et le crash

[pépite (en cours)] les matériaux et le feu



Alors que la certification au feu de ces matériaux est établie expérimentalement au moyen d'essais feu standards (normes ISO et FAR), l'ONERA mène des recherches pour comprendre les phénomènes physiques en jeu, assurer une meilleure gestion des marges de sécurité et anticiper les problématiques nouvelles.

Les priorités pour 2020

- **Développer des composites résistant à la foudre et au feu, et évaluer l'efficacité de leurs protections**

  Traiter des agressions foudre et feu à partir d'une compréhension fine des mécanismes physico-chimiques du matériau composite. Démarche type « tolérance aux dommages », validation des calculs multi-physiques via des essais « réalistes » au laboratoire.

- **Modéliser et prévoir la 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, et 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

- **Identifier, étudier et valider les concepts structuraux du futur**

  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 pour l'optimisation des écoulements aérodynamiques.

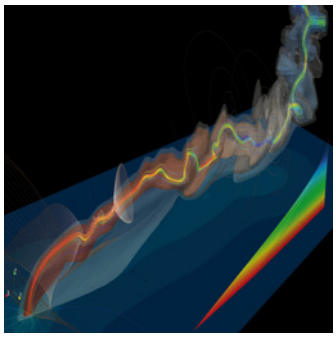
- **Optimiser les structures dans leur environnement naturel, vibratoire, opérationnel ou agressif**

  Optimiser des structures aérospatiales de plus en plus légères garantissant la sécurité (résistance à l'impact et au crash, absence d'instabilités aéro-élastiques) et prenant en compte les phénomènes physiques non-linéaires

- **Evaluer et traiter le risque foudre**

  Mesures en vol intégrables sur avion civil, élaboration des modèles validés, mesure des paramètres électriques au niveau composite/assemblage/fixation, et caractérisation des impédances de connexion sur un aéronef complet.

Tour de crash pour mesurer la résistance des structures aux écrasements



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

Les partenaires

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

défi 8

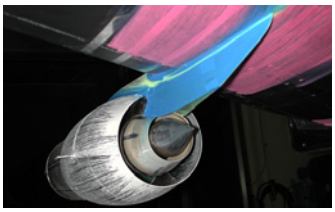
La propulsion dans toute sa complexité

Répondre aux exigences les plus sévères sur les systèmes de propulsion

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 multi-physique et pour l'expérimentation-validation qui sera abordé en collaboration étroite avec les partenaires industriels.

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



Intégration nacelle-voilure. Visualisation par enduits visqueux (soufflerie S3CH, Meudon)

Les atouts de l'ONERA

- Expérience et compétences, intégration « physique modélisation simulation validation expérimentation »
- Capacités de métrologie et d'élaboration
- Interaction avec les industries (compréhension des besoins et des contraintes, accompagnement du développement et du transfert)

Aviation civile, missiles, lanceurs, satellites… toutes les propulsions

Le banc M1 d'étude des chambres de combustion (conditions réalistes des vols de croisière)

Les priorités pour 2020

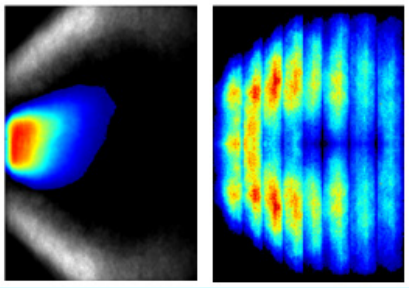
- **Soutenir les évolutions des systèmes propulsifs de l'aviation civile**

  En aérodynamique et en énergétique : soutenir l'industrie dans sa démarche vers l'accroissement des taux de dilution et de compression des turboréacteurs dans le contexte d'une plus forte intégration cellule-système propulsif et de l'ingestion des régions visqueuses de l'écoulement autour de la cellule (concept BLI), vers le développement d'hélicoptères innovants, vers la maîtrise des sources de bruit des systèmes propulsifs, et vers l'usage des carburants alternatifs. En thermomécanique : développer et tester des matériaux à haute performance et de nouvelles techniques de refroidissement. Pour le plus long terme : évaluer en partenariat avec le CEA 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 et du futur lanceur européen**

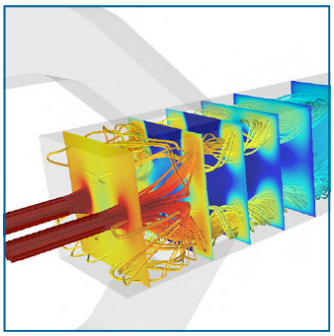
  Maîtriser accrochage et stabilisation de la combustion des stato- et superstatoréacteurs, ainsi que les technologies de refroidissement des structures pour l'endurance à haute vitesse. Accompagner Ariane 6 et ses évolutions. En propulsion liquide, prévoir les charges thermiques de la chambre de combustion, maîtriser l'atomisation de l'oxygène

[pépite (en cours)] la combustion en conditions sévères



Qualification pour Safran Aircraft Engines d'un injecteur au banc M1 par application de la PLIF donnant les distributions spatiales du OH et du kérosène (gauche), ainsi que du CO (droite), sous une pression de 4,5 bar.

liquide et estimer marges de stabilité et charges latérales. En propulsion solide, maîtriser les oscillations de pression des moteurs à propergol solide, améliorer la robustesse des techniques d'allumage et développer des moyens de contrôle de la poussée. 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 et 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.



Simulation numérique Cedre de la combustion dans un stato-réacteur de recherche ONERA

- **Modéliser le couplage multiphysique et comprendre les mécanismes de déformation, d'endommagement et l'évolution microstructurale des matériaux et composants**

  Etudier la structure et l'évolution microstructurelle des matériaux dans une approche multi-physique, 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 ou de tolérance aux dommages.

Essais de propulsion solide au Fauga-Mauzac

- **Maitriser 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.

Essai d'une maquette de moteur Cror dans la soufflerie S1MA

- **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 micro -Newton) tout en étudiant la physique des plasmas ainsi que les interactions globales satellite-propulseur-environnement spatial afin de revisiter les stratégies de transfert orbital.

Les partenaires

DGA, Cnes, DLR. Centrale-Supelec, Coria, Cerfacs, CEA, Safran (Aircraft Engines, Helicopter Engines, Tech, Ceramics), MBDA, ASL.

défi 9 Photonique et systèmes optroniques

Exploiter la diversité de l'observation optique et optronique

Le défi

Aujourd'hui, l'industrie optique et optronique produit à la fois de grands moyens d'observation terrestres, spatiaux et aéroportés, et des objets grand public utilisés quotidiennement comme les caméras miniatures. Ce panorama peut tromper : optique et optronique ne sont pas des disciplines désormais matures dont on ne pourrait plus attendre que des évolutions incrémentales.

Prise en compte du traitement des données dès la conception des systèmes

Démonstrateur de caméra infrarouge grand champ à détecteur courbe (PEA Témoin avec Sofradir)

De récents ou futurs développements vont conduire à un élargissement de leur champ d'application. Ces développements sont de différents ordres, comme par exemple :

- l'augmentation drastique des performances des systèmes actuels
- la mise au point de dispositifs permettant d'accéder à de nouvelles fonctionnalités (imagerie 3D, imagerie passive dans de nouveaux domaines spectraux et hyperspectraux)
- la réduction des coûts de développement et de possession, de la masse et de la taille des équipements pour leur généralisation à des domaines encore inaccessibles (robotique, domotique, environnement…)
- la prise en compte de la fonction de traitement des données dès la conception des systèmes optiques conduisant à une augmentation des performances et une réduction des contraintes et des coûts sur la partie instrumentale

Un recours généralisé à la simulation pour concevoir, développer, recetter

Intégration de capteurs optroniques dans le pod du motoplaneur Busard de l'ONERA

- le couplage des systèmes optroniques et électromagnétiques pour mettre au point de nouveaux produits, de nouvelles campagnes
- le recours généralisé à la simulation pour concevoir, développer et effectuer la recette des nouveaux dispositifs optroniques, tout particulièrement dans le domaine de la défense.

Les atouts de l'ONERA

Les équipes possèdent une longue expérience en optique infrarouge. Elles ont développé récemment une expertise en optique sub-longueur d'onde, plasmonique et technologie optique nanométrique. En hyperspectral, elles ont montré qu'elles étaient capables de réaliser une caméra aux performances inégalées et de traiter les données pour exploiter la richesse de l'observation. Et l'optique adaptative reste un fleuron international.

[pépite] l'optique adaptative pour l'astronomie

Le Very Large Telescope de l'ESO au Chili s'est doté de l'équipement ONERA Naos en 2001, sur un télescope de 8 m, ce qui a conduit à la première observation directe d'exoplanètes.

Puis de Saxo en 2014 sur l'instrument Sphere du VLT (première lumière en 2015), pour en faire un véritable imageur de planètes extra-solaires. Prochain défi : l'optique adaptative (OA) de l'Extremely Large Telescope européen (eELT) qui sera doté d'un miroir de 39 m.

Les priorités pour 2020

- **Augmenter les résolutions spectrale et spatiale des télé-détections active et passive**

  Pour la défense, la sécurité ou l'environnement : identification d'objets, dépassement des conditions difficiles du champ de bataille, surveillance ou expertise de scènes d'évènements caractéristiques, cartographie en eau, végétation, pollution, des milieux urbains...

- **Développer l'imagerie à haute résolution angulaire aux limites de la diffraction**

  Caractériser et modéliser la propagation optique à travers la turbulence atmosphérique. Corriger les observations : applications à l'observation spatiale, à la défense, aux télécommunications et au domaine médical.

- **Maîtriser les fonctions optiques miniaturisées et la nano-photonique**

  Concentrer l'énergie lumineuse, jouer avec son orientation, sa polarisation, sa fréquence ; concevoir de nouvelles sources thermiques, de nouveaux photodétecteurs pour des caméras IR, pour l'analyse de composants chimiques, et bien d'autres applications…

- **Développer de nouvelles sources laser et leurs applications : lidar, contre-mesures et spectroscopie**

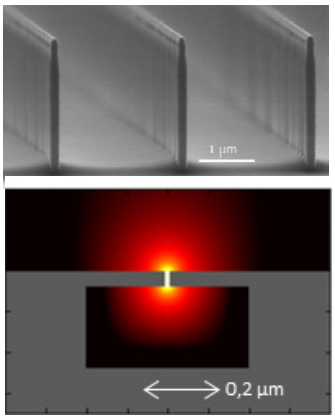
  Augmenter la puissance des lasers. Leur agilité et leur stabilité en fréquence trouvent leur application en anémométrie, imagerie active ou 3D, détection des menaces NRBC ou de pollutions...

- **Maîtriser la co-conception des nouveaux capteurs optiques et leurs traitements intégrés**

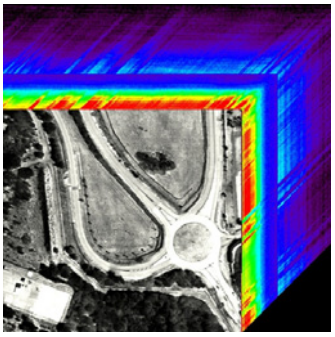
  Prendre en compte dès la conception du capteur, la description fonctionnelle des besoins du capteur et les traitements associés.

- **Développer la simulation plus précise de l'environnement et des signatures pour les senseurs**

  Par des développements numériques et expérimentaux, rendre plus représentatives les chaines de simulation incorporant l'environnement, la cible et le capteur pour une évaluation plus exacte.



Structures sub-longueur d'onde interagissant directement avec les photons



Pile d'images d'une même scène à différentes longueurs d'onde, formant une « image hyperspectrale »

Les partenaires

Le Latmos et les observatoires de Paris, Grenoble, Aix, Nice, l'Irfu, l'IOGS, le CEA-Leti ; Sofradir, Total, Leosphere, Tosa ou Sagem D&S et bien d'autres industriels ; le laboratoire commun Minao avec le LPN pour les nanotechnologies

défi 10

Électromagnétisme et radar

Augmenter l'acuité et la richesse de l'observation électromagnétique

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 des progrès techniques récents sur les équipements, le traitement numérique du signal ou de l'information. Des technologies non conventionnelles (méta-matériaux, couplage actifs-passifs…) offrent de nouveaux degrés de liberté pour façonner les ondes et les capteurs de demain. Une connaissance accrue de l'environnement permettra de plus une adaptation dynamique des capteurs au contexte d'utilisation.

Rendre possible la transition vers le tout numérique

Simulation numérique des courants de surface sur un Mirage III soumis à une onde EM

La progression sans limite apparente des calculateurs, embarqués ou de laboratoire, ouvre de nouveaux espaces d'investigation en autorisant des simulations plus proches de la réalité (physique ou statistique), en particulier pour calculer les signatures, et en rendant possible 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 agiles, multivoies et distribués
- l'exploitation simultanée, et très rapide, de données massives et multi -capteurs
- la simulation, embarquée ou non, de scènes plus complexes et réalistes, allant jusqu'à l'aide à la décision

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

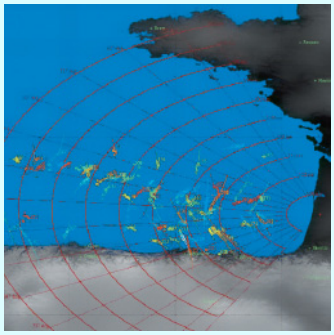
Image radar SAR aéroportée (Sethi) discriminant la végétation

Ces évolutions permettront de repenser des problématiques telles que les antennes intelligentes, les systèmes radar distribués, la compatibilité électromagnétique, le *big data*, l'imagerie radar temps réel, la qualification de capteurs, etc.

Les atouts de l'ONERA

L'ONERA avance dans les domaines du radar transhorizon par ondes de ciel ou de surface, le radar passif, le radar tout numérique multifonctions, le SAR, et leurs applications. Disposant d'une longue expérience dans les moyens de test, les simulations et la physique de la propagation ou des antennes, il peut aborder globalement la thématique des applications de défense et sécurité voire au-delà.

[pépite] les radars à onde de surface



Ces radars émettent des ondes qui ont la propriété de se propager à la surface de la mer, bien au-delà de l'horizon. La technologie ROS, transférée à Thales, permet largement de surveiller les zones économiques exclusives (ZEE, jusqu'à 370 km des côtes). On peut désormais suivre trajectoire et vitesse des navires et détecter les comportements anormaux.

Les priorités pour 2020

- **Améliorer les techniques radar au-delà de l'horizon**

  Architectures moins énergivores, nouveaux méta-matériaux et algorithmes adaptés comme pour le bi-statisme, la polarisation HV, l'usage des cartes GPU, l'exploitation de plusieurs types de propagation.

- **Maîtriser les futurs radars numériques multifonctions, compacts, agiles et imageants**

  Systèmes radar auto-adaptatifs, capables de gérer l'allocation des ressources en temps réel (polarisation, forme d'onde, faisceaux…) et en fonction des observations réalisées

- **Développer de nouvelles applications et exploiter des données massives multi-sources**

  Dépasser la fonction de surveillance (détection, pistage, identification d'objets en mouvement, écoute) pour réaliser des modèles numériques de terrain, considérer la végétation, les objets sous couvert ou enfouis

- **Modéliser et maîtriser la propagation jusqu'aux ondes millimétriques**

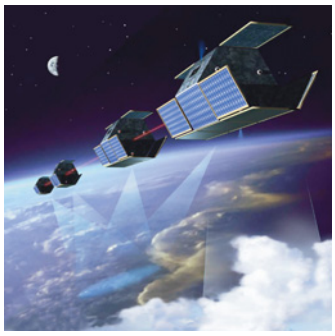
  Trois axes se dessinent : caractérisation du milieu et de sa dynamique spatio-temporelle, modélisation de l'environnement et des effets de propagation, techniques de traitement spécifiques pour les corrections ou les simulations

- **Réduire, par la simulation, les essais de compatibilité électromagnétique**

  L'intégration d'outils de modélisation devrait permettre à l'échelle de dix ans de simuler entièrement un avion de taille moyenne

- **Modéliser les cibles et l'environnement des futurs capteurs ou des systèmes électromagnétiques**

  La DGA a confié à l'ONERA le rôle de référent environnement, avec l'objectif de mener la recherche, de constituer les bases de données et les modèles couvrant la variété des situations rencontrées



Concept ONERA Romulus : observation de la Terre avec des satellites radar en formation pour détecter les mouvements en surface

Antenne d'émission du démonstrateur de veille spatiale Graves, actuellement exploité par l'Armée de l'Air

Les partenaires

DGA, Cnes, ESA et l'Agence spatiale indienne ; Thales et la PME Oktal-SE ; universités de Rennes, Limoges, Nice, Toulouse ou d'autres européennes, École de l'Air, Fraunhofer (Allemagne), FOI (Suède), enfin Singapour avec le laboratoire commun Sondra.

défi 11 Perception artificielle multimodale

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

Le défi

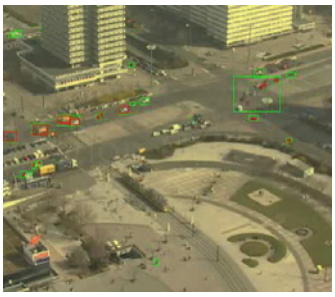
La perception artificielle constitue un élément central dans la surveillance de l'environnement, les systèmes de sécurité, l'autonomie des systèmes aéronautiques et aérospatiaux. Elle intègre des processus d'intégration spatio-temporelle et d'interprétation des informations à différents niveaux sémantiques 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'intéressent 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



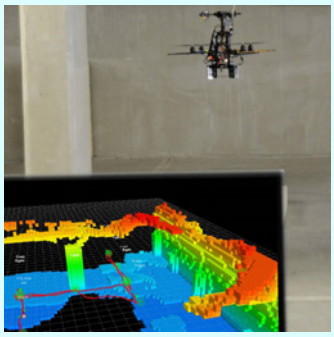
Perception automatique d'un secteur d'intérêt dans une scène

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 multi-physiques 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.

[pépite] la navigation des drones « à vue »



Le drone doté d'une vision 3D et de capacités de calcul temps-réel construit son environnement sous forme d'un modèle 3D, dans lequel il évolue en y évaluant visuellement sa position. Il peut prendre des décisions et élaborer lui-même les commandes de navigation, en fonction des objectifs de sa mission, sur la base d'une analyse de son environnement et de la détection d'objets et d'évènements.

Les secteurs d'application sont très variés : surveillance et intervention sur les infrastructures SNCF, dans les transformateurs EDF, pour les militaires, le bâtiment, les ouvrages d'art, l'archéologie…

Les priorités pour 2020

- **Perception n-dimensions**

  Donner une représentation numérique spatio-temporelle du monde à une échelle et une précision compatibles avec les besoins qui peuvent être aussi variés que le la navigation autonome, la géo-intelligence, la modélisation multi-physique des environnements, la surveillance, etc.

- **Construction d'informations dans un monde connecté**

  L'hyper-connectivité des systèmes futurs va dans le sens d'architectures massivement hétérogènes avec des logiques de fusion multi-niveaux et multi-échelles à explorer. Il est stratégique de savoir évaluer la pertinence des informations et la clairvoyance des sources productrices.

- **Certification des systèmes perceptifs**

  Satisfaire les exigences de sûreté des systèmes autonomes basés sur des fonctions critiques de perception ou de fusion par des méthodes formelles permettant de qualifier et certifier l'usage de systèmes de perception.

- **Perception sémantique**

  Réduire le *gap* sémantique dans le domaine de la vision par ordinateur, en étudiant sa dimension temporelle pour affronter une triple équation : celle des données, celle du dialogue homme-machine et celle de la commande optimale d'un système perceptif.

- **Surveillance globale**

  Proposer de nouveaux systèmes de télédétection ou de vidéo-surveillance fondées sur des ruptures liées au traitement des données massives et aux vecteurs : microsatellites, drones, ballons, etc.

Vision par ordinateur d'une zone rurbaine en surveillance

La SNCF recherche avec l'ONERA des concepts de surveillance de ses infrastructures

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 au sein de l'Université Paris-Saclay (Ensta, IOGS, Telecom-ParisTech, CEA-List, ENSC, etc.) ainsi qu'avec des UMR-CNRS (Gipsa, Laas, Lip6, Isir, etc.).

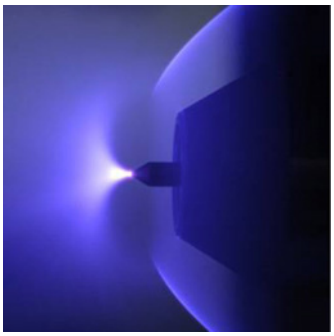
défi 12 Capteurs et environnement spatial

Adopter de nouveaux capteurs et maîtriser les effets de l'environnement spatial

Le défi

Les nouveaux capteurs sont des vecteurs de ruptures par l'exploitation de nouveaux phénomènes physiques et/ou technologies, pour l'ensemble du système auquel ils participent, qu'il s'agisse des instruments atomiques ou des micro/nanosystèmes par exemple. Quatre familles d'instruments structurent ce défi :

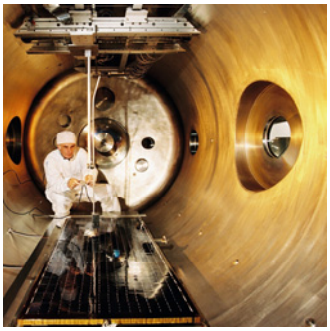
Des vecteurs de ruptures par l'exploitation de nouveaux phénomènes physiques



Expérimentation supersonique dans la soufflerie à rafales R1CH de la réduction de traînée par plasma

- **les accéléromètres ultra-sensibles de l'ONERA**. Leur amélioration est nécessaire pour répondre aux exigences des nouvelles missions spatiales de physique fondamentale et de géodésie terrestre ou planétaire
- **la manipulation des atomes froids** a apporté une véritable rupture dans les techniques inertielles, créant de nouveaux champs de recherche : accélérométrie, gradiométrie, gyrométrie atomiques. Nombre d'applications militaires, spatiales et civiles sont concernées, comme la navigation ou la détection d'objets
- **les micro et nano-systèmes résonnants** sont très efficaces pour la réalisation d'horloges ultrastables, de capteurs inertiels, ou de magnétomètres miniaturisés de haute performance ; il s'agit de mener de front les recherches sur de nouveaux concepts et les recherches d'ordre technologique pluridisciplinaires
- **la maîtrise des sources plasma** est essentielle pour réaliser les futurs instruments ou équipements à base de faisceaux d'ions ou d'électrons conduisant à une grande diversité d'applications : furtivité, décontamination ou métrologie des écoulements

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



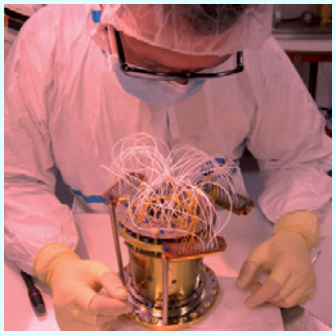
Caisson à plasma Jonas, permettant de produire un plasma de type ionosphèrique

L'environnement des équipements embarqués sur satellite est une préoccupation très importante. Cela vaut tant pour les objets (débris, satellites…) que pour les radiations. Cet environnement agressif engendre des dégradations continues et des pannes qu'il est primordial d'étudier pour les anticiper ou les éviter. Modéliser les ceintures de radiation, comprendre les dégradations éventuelles des composants devient aujourd'hui essentiel pour un programme spatial.

Les atouts de l'ONERA

Moyens spécifiques de mesure, outils numériques de modélisation et de simulation, un savoir-faire théorique et expérimental permettant de bien comprendre des systèmes de mesure ou des milieux souvent complexes pour le domaine aérospatial. Résultat : un leadership souvent international.

[pépite] l'accélérométrie spatiale



Les accéléromètres ultrasensibles spatiaux, développés par l'ONERA depuis plus de 50 ans, permettent de mesurer les accélérations à partir des mouvements d'un corps en lévitation dans un champ électrostatique avec une précision record, jusqu'à 10^{-15} m.s^{-2}.

NASA, ESA, CNES font confiance à l'ONERA pour des missions spatiales de géophysique ou de physique fondamentale telles que les missions de la DARPA, de la NASA, de l'ESA ou du Cnes : Champ, Grace, Goce, Microscope…

Les priorités pour 2020

- **Du pico-g au femto-g dans l'Espace**

  Pour mieux connaître la physique de la Terre et la dynamique de son environnement ; la physique fondamentale basculera peut-être, en fonction des résultats de Microscope, lancé en 2016 ; des accéléromètres aux missions spatiales dédiées

- **L'interférométrie atomique et les senseurs inertiels**

  Applications en positionnement, détection d'anomalies gravifiques enterrées, géodésie et en physique fondamentale spatiale ; vers un instrument opérationnel à bord de tout véhicule

- **Des capteurs inertiels pour mesurer le µg et le µ°/s**

  Miniaturisation, en résolution et stabilité, multi-axes, multi-capteurs, traitement intégré au capteur, nouveaux matériaux et procédés de fabrication

- **Navigation robuste et autonome des vecteurs**

  Développer de l'expertise, au profit principalement de la DGA, avec un double souci de configurations reconfigurables qui exploitent l'ensemble des informations disponibles

- **Nouvelles sources plasma pour la défense et l'aéronautique**

  Applications de rupture pour la furtivité, la combustion, l'aérodynamique, la décontamination, la propulsion satellitaire

- **Un climat et une météorologie de l'espace précis et disponibles**

  S'associer à l'effort international (observation et modélisation) pour anticiper le risque de tempête géomagnétique solaire critique

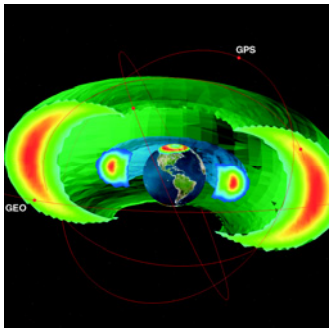
- **Électronique nanométrique et équipements tolérant l'environnement spatial**

  La modélisation pour réduire l'expérimentation : comprendre et réduire la sensibilité de composant ou d'équipement dès la conception

- **Vers une architecture globale de surveillance de l'espace et des débris**

  Valoriser l'expérience ONERA dans un futur système d'observation, sans doute européen, pour limiter les risques de collision ou de rentrée.

Cœur de l'interféromètre atomique en laboratoire, avec ses baies de fonctionnement et mesures



Modèle physique Salammbo des ceintures de radiation terrestre, un outil de météo spatiale

Les partenaires

Selon les domaines : Cnes, OCA, Nasa-JPL, ESA, GFZ, Zarm, ENS, IOGS, Syrte, C2N, IEF (Comue de Paris Saclay), Esiee, CNRS, DGA, Shom.

Huit leviers pour réussir

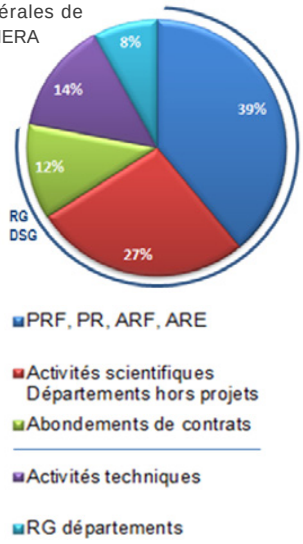
Le succès et les réalisations du Plan stratégique scientifique devront s'appuyer sur huit leviers à mobiliser en cohérence avec le Contrat d'objectifs et de performance de l'ONERA :

1. **Rénover la relation avec les services de l'État et les industriels**
2. **Mobiliser les femmes et les hommes**
3. **Développer une politique partenariale globale nationale et internationale**
4. **S'appuyer sur les capacités du triptyque expérimentation-modélisation-simulation**
5. **Mieux développer et exploiter les grandes souffleries pour la recherche**
6. **Préciser la politique logicielle**
7. **Évaluer en continu politique et production scientifique**
8. **Suivre la réalisation et évaluer le Plan stratégique scientifique**

1. Rénover la relation avec les services de l'État et les industriels

Un suivi stratégique et scientifique plus approfondi avec la DGA, la DGAC et le MENESR

Structure des ressources générales de l'ONERA



L'utilisation annuelle de la subvention, le développement ou le maintien des capacités d'expertise scientifique et technique, les grands choix d'activités et d'investissements, l'insertion dans les programmes de la DGA, la valorisation des recherches et des technologies développées, doivent faire l'objet plus que par le passé de réunions de présentations et d'échanges sur un rythme annuel adapté aux processus de l'ONERA et aux besoins des services officiels.

Il sera ainsi possible de mieux préciser les besoins de la DGA mais aussi la stratégie de recherche de l'ONERA, et celle de sa valorisation, de faire évoluer les compétences sur la base d'une vision croisée des besoins et des opportunités scientifiques et techniques à saisir, des domaines à abandonner. Un bilan annuel de l'emploi de la subvention sera effectué par la Direction scientifique générale de l'ONERA.

Enfin, une réflexion sur le resserrement et la mise en cohérence des collaborations avec les établissements d'enseignement et de recherche sous tutelle Défense sera menée (École polytechnique, Ensta, Isae-Supaéro).

Une part significative des nouveaux projets de recherches (PR et PRF) sera lancée sur la base d'un appel d'offres annuel dont les thématiques scientifiques seront élaborées par la Direction scientifique générale après recueil des besoins (DGA, DGAC, Menesr, industriels).

Il sera nécessaire de construire une vision globale des actions de recherche qui rythmeront l'avancée du Plan scientifique stratégique de l'ONERA : sur ressources générales et sur contrat de recherche, incluant toutes les formes de financements ou de ressources (PRF-PR-ARF-ARE, thèses, post-docs, contrats ANR ou européens, projets Carnot, partenariats bilatéraux nationaux ou internationaux, conventions DGA ou DGAC).

Au-delà de la contribution à la Stratégie nationale de recherche du Menesr (voir annexes) et des différentes formes de financement de la recherche qu'il pilote, l'essentiel de la réflexion scientifique stratégique avec ce ministère devrait concerner la politique partenariale de l'ONERA, les moyens d'assurer le rôle d'animation de la recherche dans le secteur ASD, ainsi que les politiques de participation aux Comues des sites majeurs d'implantation de l'ONERA (Paris-Saclay, Université fédérale Toulouse Midi-Pyrénées, Lille).

L'ONERA : un atout pour les industriels du secteur ASD

La mission de l'ONERA pour le secteur ASD (développement et animation de recherches, transfert de technologie et d'innovation, formation par la recherche) doit faire de l'Office un véritable atout pour les grands industriels du secteur.

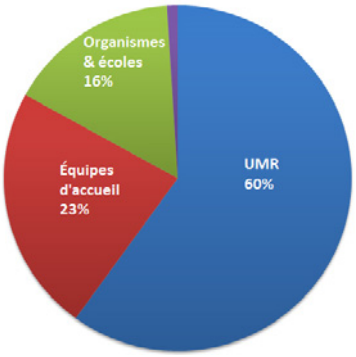
L'ONERA doit ainsi être à l'écoute des besoins actuels et futurs, proposer des pistes de solutions ou des idées nouvelles tout en construisant une base de connaissances solides et validées ainsi que des méthodes ou des briques technologiques.

Mais l'ONERA peut également apporter au secteur une vision plus prospective sur les applications des avancées scientifiques ou technologiques. Là-encore un recueil annuel des besoins à moyen-long terme pourrait nourrir l'appel à projets interne de l'ONERA.

Par ailleurs, les structures de financement ou de soutien public à projet de recherche appliquée à TRL assez bas, issus de feuilles de route du Corac ou du Cospace, ou sur les thématiques clés de l'UE doivent conduire à des projets collaboratifs structurés dans la durée.

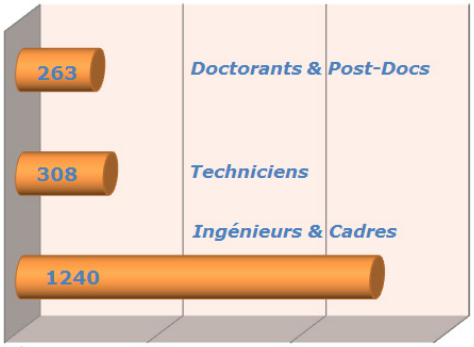
Ainsi, la mise en place du PSS doit-elle être l'occasion d'une part de donner une vision large et précise des recherches menées à l'ONERA et des compétences mobilisables, mais d'autre part de bâtir des coopérations structurées dans la durée.

Dans cette perspective notamment, le dispositif des thèses sous convention Cifre de l'ANRT doit pouvoir être plus largement mobilisé qu'il ne l'est aujourd'hui, l'ONERA, comme la majorité des organismes et des écoles, étant trop peu sollicité.



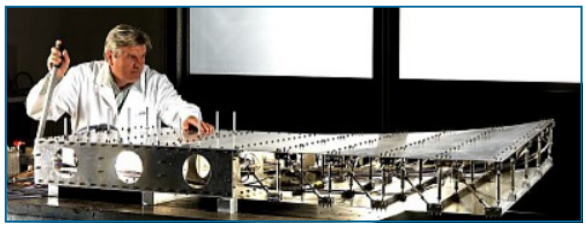
Répartition des structures d'accueil des doctorants du dispositif Cifre de l'ANRT

2. Mobiliser les femmes et les hommes



Répartition des personnels scientifiques et techniques de l'ONERA

Fixant des orientations et en en explicitant les motifs, le PSS doit être un élément de motivation pour l'ensemble du personnel de l'ONERA. Il doit permettre, lors des points d'avancement, lors de la communication externe, lors de rencontres avec les partenaires de mettre en avant les réussites, reconnaître les équipes comme les talents. Mais symétriquement, pour réussir, l'ONERA doit s'appuyer avant tout sur la principale ressource et les atouts que constituent son capital intellectuel et technique, l'énergie et l'ingéniosité de son personnel. Comme pour les réussites passées, rien ne se fera sans cette mobilisation.



Compte tenu des évolutions rapides des contextes industriels, des politiques nationales ou européennes, des rôles nouveaux parfois donnés à certains des acteurs ou encore des contraintes d'environnement qui pourraient à l'avenir peser sur les sites de l'ONERA, le défi le plus important à relever est probablement celui de la mobilité thématique des personnels. Il n'est plus possible aujourd'hui d'imaginer de façon généralisée que chaque carrière s'effectue sur un champ très étroit et immuable.

La filière Recherche à l'ONERA

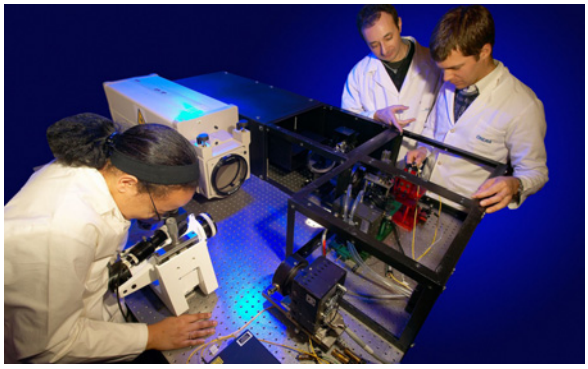
21 Directeurs de Recherches

33 Maîtres de Recherches 2

80 Maîtres de Recherches 1

92 HDR

Pour que l'ONERA puisse être agile à l'avenir, il faudra savoir évoluer dans son domaine technique ou de recherche, sans pour autant tomber dans des changements incessants ou trop radicaux car l'ONERA doit conserver des compétences sur des thématiques stratégiques ou de souveraineté, dans un contexte de cycle de recherche long et de développement des compétences lui aussi à temps long. Des solutions qui préservent la filière d'excellence scientifique sont à trouver, et la variété des thématiques nouvelles et des technologies émergentes identifiées dans le Plan stratégique scientifique est à l'évidence la source de très nombreuses opportunités.



Dans un contexte de recherche mondialisée mais également du fait des coopérations historiques fortes que l'ONERA entretient depuis sa création avec les plus grands instituts mondiaux dans le domaine aéronautique et spatial, les séjours à l'international sont à favoriser autant que possible, au meilleur niveau et tout particulièrement en première partie de carrière.

3. Développer une politique partenariale globale nationale et internationale

Pour relever les défis qui bâtiront l'avenir industriel et opérationnel du secteur Aéronautique Spatial Défense, l'ONERA devra, plus encore que par le passé, s'appuyer d'une part sur une large collaboration avec les industriels et le monde académique, et d'autre part rechercher des financements tant publics que privés sur les projets de recherche à bas TRL qui jalonneront le PSS.

Le rôle de coordonnateur, de pont entre la recherche scientifique et les technologies industrielles, que lui confie sa mission, doit être réaffirmé. L'ONERA s'est d'ores et déjà engagé dans une démarche de communication visant à mieux faire connaître ses compétences, ses moyens et ses résultats et à renouveler certains de ses accords cadre avec de grands organismes en y insérant les problématiques de recherches à bas et moyen TRL.

Pour ce qui concerne les collaborations industrielles, il sera nécessaire de construire de nouvelles relations axées sur les finalités à plus long terme et les défis scientifiques et techniques associés, identifiés par les industriels et avec eux, en utilisant les moyens de partenariats entre l'établissement public et le privé.

C'est ainsi que l'ONERA souhaite favoriser les projets partenariaux (ANR, FUI, différents outils du programme H2020, soutiens régionaux, instruments du PIA - des Equipex jusqu'aux IRT, GIS ou GIE…), l'utilisation plus systématique du dispositif des thèses sous convention Cifre, et la construction de laboratoires communs en France ou avec des composantes internationales.

Le dispositif Carnot qui vient d'être pérennisé, donnant un rôle fédérateur à l'ONERA pour la filière aéronautique des instituts Carnot doit être mobilisé sur des actions à perspective de long terme sur des TRL inférieurs à ceux actuellement visés.

Les collaborations académiques seront particulièrement recherchées dans le cadre de la politique de sites scientifiques de l'ONERA, présent sur deux clusters d'enseignement de recherche et d'innovation, d'ambition mondiale, que sont l'Université Paris-Saclay en Ile-de-France et l'Université fédérale Toulouse Midi-Pyrénées en région Midi-Pyrénées.

L'implantation significative de l'ONERA lui permettra de construire au sein de chaque pôle à vocation nationale, voire mondiale, une position forte de leader sur les champs de recherche du secteur ASD, en partenariat avec le tissu industriel local et les grands groupes industriels.

Ici encore, des partenariats forts et structurés seront recherchés ou approfondis avec les établissements de recherche et d'enseignement supérieur notamment ceux sous tutelle DGA (comme avec l'Isae-Supaero à Toulouse ou l'École polytechnique et l'Ensta sur le plateau de Saclay), incluant des mutualisations d'équipements ou de chercheurs, en s'insérant dans l'espace de recherche européen.

L'ONERA est aussi implanté en région Nord-Pas de Calais et sur la base aérienne de Salon de Provence. Néanmoins, le volume des effectifs de ces implantations conduit à une politique plus opportuniste que structurante vis-à-vis des partenaires universitaires.

AerospaceLab Journal
La revue électronique internationale de l'ONERA
www.aerospacelab-journal.org

SONDRA

Supélec ONERA NUS DSO Research Alliance

ÉCOLE POLYTECHNIQUE UNIVERSITÉ PARIS-SACLAY

ENSTA ParisTech université PARIS-SACLAY

Isae Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace SUPAERO

Il est clair que l'avenir du secteur ASD passe aussi par les compétences et les talents qu'il saura attirer. L'ONERA doit jouer le rôle de vivier tout particulièrement dans le domaine de la formation par la recherche.

L'ONERA : un vivier de compétences pour le secteur ASD

Point d'entrée attractif grâce à ses recherches fondamentales à visée applicative lisible, l'ONERA doit permettre au secteur de s'enrichir plus encore à l'avenir par des ingénieurs formés à et par la recherche, comme la tendance internationale le montre quotidiennement, dans la perspective d'une compétition mondiale accrue sur l'innovation technique de pointe.

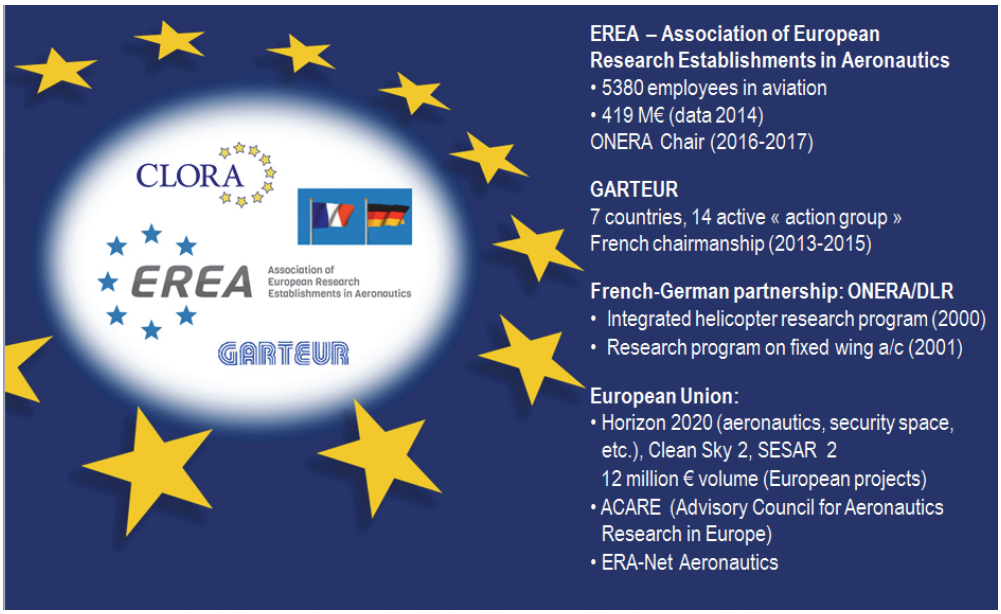
L'association des doctorants de l'ONERA

Dans le cadre du Plan scientifique stratégique, un effort particulier sera mené pour accueillir un nombre significativement plus élevé de doctorants et de post-doctorants et favoriser le passage d'habilitations à diriger les recherches pour les chercheurs de l'ONERA. Une association d'ancien doctorants et post-doctorants de l'ONERA sera créée pour dynamiser les échanges avec l'ensemble des acteurs de la recherche du domaine ASD.

L'ensemble de cette politique partenariale ne pourra porter ses fruits sans une modification de l'équilibre de l'emploi des ressources générales de l'ONERA : la part de projets collaboratifs devra croitre de façon importante ainsi que les moyens d'abonder les recherches en partenariat et les laboratoires communs (par exemple, mais pas exclusivement, par les dispositifs de thèse ou de post-docs précédemment cités).

L'abondement Carnot sera également utilisé, en tirant également parti de la structuration de la filière AirCar pour développer la relation partenariale.

Accentuer la dimension internationale de l'ONERA



L'insertion de l'ONERA en Europe. L'ONERA est présent à Bruxelles avec le Clora : Club des organismes de recherche associés, passerelle entre la recherche publique française et les institutions européennes

L'ONERA est engagé dans un grand nombre de collaborations internationales au travers d'accords de coopération bilatéraux ou de participations à des groupements ou associations d'industriels, d'organismes ou de cen-tres de recherche.

La recherche sur le spatial dépasse bien évidemment le cadre national, et les défis du plan scientifique dans ce domaine doivent être partagés, comme certains des projets de

recherche avec de grands organismes comme le DLR, la NASA ou encore la JAXA.

La structuration récente au plan européen des organismes de recherche spatiale au sein de l'Esre constitue un pas important. Bien entendu, ces actions continueront d'être menées en lien étroit avec le Cnes.

En aéronautique, l'ONERA, qui préside désormais pour deux ans l'Erea, est impliqué dans des projets européens de grande ampleur comme Clean Sky ou Future Sky, mais l'effort devra être poursuivi en direction de H2020 notamment sur des projets scientifiques plus disciplinaires à bas TRL, pour lesquels les collaborations internationales constituent une condition indispensable.

Le dispositif de l'ERC devra également être mis à profit au-delà du premier lauréat de l'ONERA qui a remporté un financement en 2015 sur la thématique de l'utilisation des instabilités d'écoulement pour réduire la trainée, au sein d'une compétition extrêmement sélective, gage d'une reconnaissance scientifique internationale.

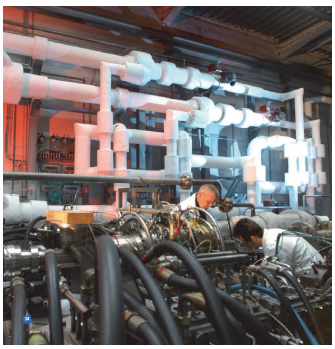
European Research Council
Established by the European Commission

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

First ONERA-TSAGI Award
Best joint research award for young scientists
October 2015

Cette recherche de financement sur des projets d'excellence doit être aussi envisagée dans le cadre des politiques de site avec les grands partenaires scientifiques qui s'y trouvent.

Hors Europe, les grands instituts comme la NASA aux États Unis, le Tsagi et le Ciam en Russie, le DSO à Singapour sont indispensables à mobiliser pour atteindre les objectifs du PSS. La présentation des défis leur sera faite afin de faire émerger une vision scientifique partagée puis des projets concrets de collaboration.

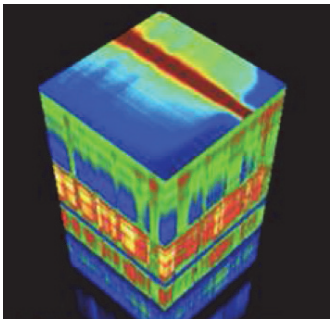


La validation des modèles de combustion est le 1er objectif des expériences et mesures sur le banc M1

4. S'appuyer sur les capacités du triptyque expérimentation-modélisation-simulation

L'ONERA s'est appuyé depuis toujours sur un dispositif expérimental complet, allant des expérimentations fines en laboratoire ou en soufflerie de recherche, des moyens de caractérisation et d'observation, jusqu'aux essais en vol ou en grandes souffleries.

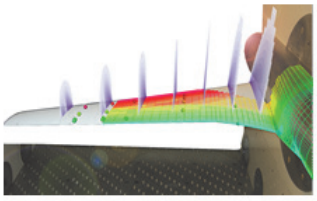
Ces moyens en font un acteur de la recherche aéronautique et aérospatiale unique en France, et des investissements considérables ont été consentis dans le passé et jusqu'à maintenant pour accompagner le développement de ces moyens de capacités de mesure et d'instrumentation parfois de classe mondiale.



Etude de la diffusion de la lumière laser par un milieu (laboratoire Melopee)

Le développement de moyens numériques de modélisation, de simulation des expérimentations ou des essais, et de traitement ou de correction des données, voire de pilotage des instruments ou des actionneurs est donc un axe stratégique pour l'ONERA.

Demain plus encore qu'aujourd'hui, ce continuum expérimentation-modélisation-simulation dans lequel chaque composante épaule l'autre pour identifier, comprendre ou activer les phénomènes à l'étude devra être maintenu et même développé plus encore.



Hybridation de simulations numériques et expérimentales

La simulation de conditions d'environnement réalistes, sévères ou complexes via l'expérimentation hybride couplée à la simulation, l'extension aux conditions réelles des expérimentations, la simulation temps-réel accompagnant les essais en vol ou des environnement de mission devront être exploitées pour explorer les solutions technologiques ou le domaine des possibles pour débloquer les verrous scientifiques ou techniques et

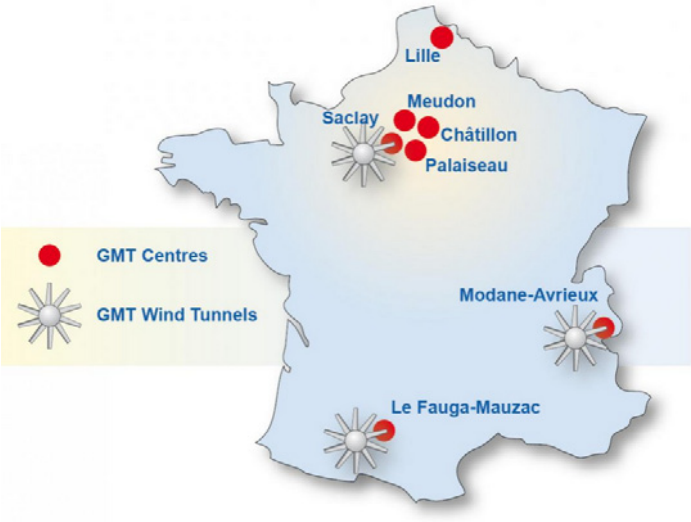
atteindre les objectifs visés par grandes finalités.

Un regard nouveau devra être porté sur la représentation et l'analyse des grandes masses de données que produiront à l'avenir simulation et expérimentation, ainsi que sur la validation des logiciels de simulation numérique, et de leur domaine de validité ou d'emploi.

Parallèlement, modélisation et simulation doivent permettre l'exploration de nouvelles conceptions, dont la combinatoire technologique interdit l'expérimentation exhaustive, et dont les coûts empêchent celle-ci dans des conditions d'emploi extrêmes.

Tout ceci nécessitera des investissements sur les méthodes du dialogue calcul-essais, de traitement des données massives, de pilotage d'essais et de représentation des environnements, tout autant que sur les équipements proprement dits ou l'accès à la puissance de calcul. Pour une large part, cela devra s'inscrire dans une perspective de collaboration ou de mutualisation avec d'autres acteurs de la recherche, publique ou privée.

5. Mieux développer et exploiter les grandes souffleries pour la recherche



Au-delà de ses souffleries de recherche au sein des départements scientifiques, l'ONERA exploite et conçoit des essais pour la DGA, la DGAC et les industriels via la Direction des grands moyens techniques (GMT) qui dispose d'un parc complet et puissant de 12 souffleries*, dont trois de classe mondiale.

Elles permettent de soumettre des engins à des conditions de vol allant du subsonique à l'hypersonique, de Mach 0,1 à Mach 20.

Ce parc exceptionnel lui permet de répondre à tous les besoins des industriels, qu'il s'agisse de tester la forme, les performances, les émissions sonores ou le niveau de sécurité des aéronefs.

Si le défi 3 du PSS s'attache à imaginer et concevoir ce que pourrait être la réponse globale, nécessairement expérimentale et numérique, à l'ensemble des besoins futurs des industriels, d'autres défis devront avoir recours eux aussi à ces moyens exceptionnels.

Maquette d'Airbus A350 en essai basse vitesse dans la soufflerie F1

En effet, d'une part ces moyens ne peuvent trouver de façon durable et permanente un équilibre financier basé sur leur seule exploitation pour les besoins industriels à TRL élevés et doivent donc être soutenus par une part significative de la subvention d'État, d'autre part on peut raisonnablement espérer que les progrès techniques, scientifiques et numériques puissent conduire à leur utilisation dans une démarche plus scientifique, tant au sein de l'ONERA (et avec ses partenaires) que pour la communauté scientifique en général.

* dont cependant deux ont dû être mises sous cocon

Cette perspective n'est cependant ni immédiate ni généralisable à la totalité des grandes souffleries du parc de l'ONERA.

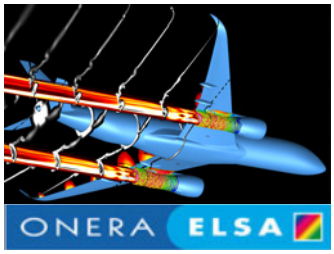
Au cœur de la soufflerie S1MA

Il sera nécessaire de construire une organisation et de conduire un changement de culture significatif afin de gagner ce pari. Plusieurs pistes seront suivies : réflexion sur les flux financiers internes entre départements scientifiques et GMT, organisation des projets d'évolution des souffleries elles-mêmes ou des moyens à y associer, organisation de séminaires scientifiques sur les sites des grands moyens d'essais, enfin ouverture de certains de ces moyens à la communauté scientifique.

Cette dernière piste est extrêmement ambitieuse car elle nécessite d'une part de faire reconnaitre ces moyens et leur potentiel par la communauté et le ministère de la Recherche et de l'Enseignement supérieur, d'autre part d'imaginer un mécanisme qui préserve la réactivité et la confidentialité vis-à-vis des besoins plus industriels tant militaires que civils, enfin de concevoir les moyens concrets d'accueil d'équipes scientifiques sur ces installations

6. Préciser la politique logicielle

Le support numérique de pratiquement toutes les technologies du domaine ASD (et le passage quasiment achevé de l'analogique au numérique), le besoin de simulation numérique pour comprendre, explorer ou décoder les phénomènes physiques, le traitement des mesures issues de capteurs (donnant un accès parfois indirect aux quantités d'intérêt), l'aide à la compréhension, à la décision et à l'optimisation, la commande ou le guidage... toutes ces évolutions des dernières décennies conduisent naturellement l'ONERA à développer une activité de production logicielle extrêmement significative.



Importante en volume, cette production est très diversifiée, depuis les grands codes de recherche jusqu'aux logiciels de traitement spécifique, depuis les plateformes collaboratives pluri-disciplinaires aux outils de couplage ou d'intégration système, de capitalisation des développements ou d'accès aux capacités de calcul à très hautes performances.

Il est nécessaire de définir avec soin les politiques de valorisation* (réaliste), de diffusion vers les partenaires et de co-développement de cette production logicielle, ce qui passe d'abord par un catalogage et une segmentation de logiciels, briques logicielles, bibliothèques, ainsi que l'identification des revendications de propriété.

* y compris en envisageant les démarches de logiciels libres ou de diffusion libre, l'adhésion à des consortiums etc.

D'une façon très générale et sur le long terme, la réponse aux besoins des acteurs de la recherche comme des industriels s'orientent vers des briques logicielles intégrables dans des plateformes. L'ONERA n'est pas attendu comme le concepteur et le réalisateur de ces plateformes multi-physiques de simulation, d'optimisation ou d'évaluation ; elles seraient alors déployées en externe.

Aller vers une production logicielle plus modulaire, intégrable dans les plateformes ou les systèmes

Ceci nécessite une réflexion sur les compétences (et sur l'organisation des compétences au sein de l'ONERA) en matière de génie logiciel mais aussi de calcul haute performance. Cette réflexion est d'autant plus nécessaire que pour le développement et la capitalisation de ses travaux, l'ONERA devra s'appuyer sur des plateformes de recherche capables également d'intégrer des modules issus de partenariats.

7. Evaluer en continu politique et production scientifique

Visite d'un laboratoire par le CEST concerné

Au-delà de l'exigence de confrontation aux pairs et à la validation par la communauté scientifique des résultats de recherche de l'ONERA (publications d'articles de revues internationales, taux de soutenances avec distinction supérieur à 95 %) qui permettent de s'assurer de la qualité et de l'originalité des productions, au-delà des prises de brevets ou des prix scientifiques qui attestent de la reconnaissance internationale, les départements de recherche de l'ONERA seront soumis à une évaluation externe régulière (4 à 5 ans) par les comités d'évaluation scientifique et technique (CEST) basée sur des procédures et des critères validés par le HCERES (validation formelle prévue en juin 2016).

Le résultat de ces évaluations et la réponse qu'apportent les départements aux recommandations seront présentés systématiquement au Haut conseil scientifique de l'ONERA (HCS).

Débat au sein du CEST d'un département

A une fréquence plus élevée, les résultats et les orientations scientifiques des défis du Plan stratégique scientifique seront présentés au Haut conseil scientifique et revus en conséquence.

Enfin, le Comité scientifique et technique (CST) sera consulté annuellement sur les programmes de recherche ET SUR le programme d'investissement technique et les mises en place de collaborations. Les défis de l'ONERA structureront ces présentations.

8. Suivre la réalisation et actualiser le Plan stratégique scientifique

Le Plan stratégique scientifique doit être un document vivant à l'écoute des besoins, des politiques de développement et des stratégies des acteurs, et bien sûr des évolutions du monde scientifique.

Au-delà du suivi annuel des réalisations par défi et par grande finalité qui fera l'objet d'un rapport d'avancement, le PSS sera réactualisé tous les 3 ans par la Direction Scientifique Générale à l'aide du dialogue avec les partenaires, de la participation des chercheurs et ingénieurs de l'ONERA et des contributions du département Prospective aérospatiale.

Il est cependant nécessaire dès la mise en place du PSS de matérialiser les orientations données par une démarche systématique de construction de feuilles de route sur la majorité des technologies ou outils développés par l'ONERA.

Pour permettre de définir les cibles concrètes de ces feuilles de route, une sélection d'objets de rupture sera établie, les ruptures s'appuyant sur un ensemble d'évolutions scientifiques ou technologiques à atteindre, sur des campagnes d'expérimentation ou de preuve de concept, et sur la construction d'outils de simulation, de développement métrologiques avancées...

Cette démarche vise à structurer le portefeuille de feuilles de route autour d'objets clairement identifiables sur lesquels l'ONERA souhaite concentrer sa contribution, sa mission le conduisant à s'engager sur des concepts novateurs et risqués.

Enfin, la structuration de l'activité de recherche via les douze défis ne doit pas assécher la veille scientifique et l'exploration de thématiques émergentes. Le dispositif des Actions de recherche exploratoire sera renforcé.

Eléments 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

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 *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

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

Stratégie nationale de recherche France Europe 2020 www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/

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, intégratices 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

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).

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

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**

GLOSSAIRE

A

ACARE	Advisory Council for Aviation Research
AIRCAR	Filière aéronautique des Instituts Carnot
ANR	Agence nationale de la recherche
ANRT	Association nationale de la recherche et de la technologie
ARE	Action de recherche exploratoire ONERA (sur ressources générales)
ARF	Axe de recherche fédérateur ONERA (sur ressources générales)
ARTES	Advanced Research in Telecommunications Systems (ESA)
ASD	Secteur Aéronautique Spatial Défense
ASL	Airbus Safran Launchers
ATM	Air Traffic Management

B

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
CEST	Comité d'évaluation scientifique et technique
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
CNES	Centre national d'études spatiales
CNRS	Centre national de la recherche Scientifique
COMUE	Communauté d'universités et d'établissements
CORAC	Conseil pour la recherche aéronautique civile
CORIA	Complexe de recherche interprofessionnel en aérothermochimie
CROR	Counter Rotating Open Rotor
CST	Conseil scientifique et technique (ONERA)
CWIPI	Coupling with Interpolation Parallel Interface

D

DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DES	Detached Eddy Simulation
DGA	Direction générale de l'armement
DGAC	Direction générale de l'aviation civile
DIRD	Dépense intérieure de recherche et développement
DLR	Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DNS	Direct Numerical Simulation
DRASC	Diffusion Raman anti-Stokes cohérente
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

E

EASA	Agence européenne de la sécurité aérienne

ECR	Equipe commune de recherche (ONERA-ISAE)
ECRA	Propulseur électrique à tuyère magnétique
EDA	European Defence Agency
eELT	European Extremely Large Telescope (VLT)
EM	Electromagnétique
ENAC	Ecole nationale d'aviation civile
ENS	Ecole normale supérieure
ENSC	Ecole nationale supérieure de cognitique
ENSTA	Ecole nationale supérieure des techniques avancées
ERC	European Research Council
EREA	European Research Establishments in Aeronautics
ESA	Agence spatiale européenne
ESO	Observatoire européen austral
ESRE	Association of Spatial Research Establishments

F

FAA	Federal Aviation Administration (USA)
FOI	Swedish Defence Research Agency
FUI	Fonds unique interministériel

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
GIE	Groupement d'intérêt économique
GIFAS	Groupement des industries françaises aéronautiques et spatiales
GIPSA	Grenoble images parole signal automatique (CNRS)
GIS	Groupement d'intérêt scientifique
GMT	Direction des Grands moyens techniques de l'ONERA
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPEC	Gestion prévisionnelle de l'emploi et des compétences
GPU	Graphic Processing Unit
GRAVES	Grand réseau adapté à la veille spatiale
GTF	Geared Turbofan
GTO	Geostationary Transfer Orbit

H

H2020	Horizon 2020 - Programme 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)

I

ICAS	International Council of Aeronautical Sciences
ICM	Institut du cerveau et de la moelle épinière
IEF	Institut d'électronique fondamentale
IESTA	Infrastructure d'évaluation des systèmes de transport aérien
IFAR	International Forum for Aviation Research
IHM	Interactions 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
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

J

JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
JPL	Jet Propulsion Laboratory (NASA)

L

LAAS	Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes (CNRS)
LAERTE	Laboratoire des écoulements réactifs et de leurs techniques d'études (ONERA)
LATMOS	Laboratoire atmosphères, milieux, observations spatiales (IPSL)
LBDSN	Livre blanc sur la défense et la sécurité nationale
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)

M

MBDA	Matra BAE Dynamics Alenia
MDA	Multi-Disciplinary Analysis
MDO	Multi-Disciplinary Design Optimization
MEB	Microscope électronique à balayage
MEC	Mission d'évaluation et de contrôle de la Commission des finances de l'Assemblée
MEMS	Microsystème électromécanique
MENESR	Ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche
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
MRIS	Mission pour la recherche et l'innovation scientifique (DGA)

N

NASA	National Aeronautics and Space Administration
NLR	Netherlands Aerospace Centre
NOx	Oxydes d'azote
NRBC	Nucléaires, radiologiques, biologiques, chimiques [risques]
NUS	National University of Singapore

O

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

P

PEA	Programme d'étude amont
PIA	Programme d'investissements d'avenir
PIV	Particle Image Velocimetry
PLIF	Planar Laser-Induced Fluorescence
PPRACE	Partnership for Advanced Computing in Europe
PPRIME	Institut polytechnique de Poitiers : recherche et ingénierie en matériaux, mécanique et énergétique

PSP	Peinture sensible à la pression
PSS	Plan stratégique scientifique de l'ONERA

R

RANS	Reynolds-Averaged-Navier-Stokes
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals
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)

S

SAR	Synthetic Aperture Radar
SCCOA	Système de commandement et de conduite des opérations aérospatiales
SER	Surface équivalente radar
SESAR	Single European Sky ATM Research
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 (Observatoire de Paris)

T

TRL	Technology Readiness Level (explicité p. 9)
TSP	Temperature Sensitive Paint
TTW	Through The Wall
TUG	Spacecraft Transfer Payload from LEO to GEO

U

UCAV	Unmanned Combat Aerial Vehicle
UHBR	Ultra High Bypass Ratio
UHTC	Ultra High Temperature Ceramics
uPSP	Unsteady Pressure Sensitive Paint
URANS	Unsteady Reynolds Average Navier Stokes

V

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
VVA	Vérification, validation et acceptation

Ce document et ses mises à jours sont consultables
en www.onera.fr/pss

ONERA - Direction Scientifique Générale - mai 2016
révision de novembre 2016 - V1.1