



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

# RAPPORT ANNUEL 2020

## Sommaire

<b>5</b>	<b>L'ONERA en bref</b>
<b>6</b>	<b>Éditorial du président</b>
<b>8</b>	<b>Temps forts</b>
<b>10</b>	<b>Témoignage de Françoise Dumas</b>
<b>12</b>	<b>Témoignage de Pascal Allizard</b>
<b>14</b>	<b>Témoignage de Christophe Grudler</b>
<b>16</b>	<b>Chiffres clés</b>
<b>18</b>	<b>Ressources humaines</b>
<b>22</b>	<b>Prix</b>
<b>24</b>	<b>Faits marquants</b>
<b>28</b>	<b>Défense</b>
<b>32</b>	<b>Aéronautique</b>
<b>36</b>	<b>Espace</b>
<b>40</b>	<b>Souffleries</b>
<b>42</b>	<b>Valorisation</b>
<b>44</b>	<b>International</b>



## L'ONERA : le centre français de recherche aérospatiale



L'ONERA, acteur central de la recherche aéronautique et spatiale, emploie plus de 2000 personnes. Placé sous la tutelle du ministère des Armées, il dispose d'un budget de 234 millions d'euros, dont plus de la moitié provient de contrats commerciaux. Expert étatique, l'ONERA prépare la défense de demain, répond aux enjeux aéronautiques et spatiaux du futur, et contribue à la compétitivité de l'industrie aérospatiale. Il maîtrise toutes les disciplines et technologies du domaine. Tous les grands programmes aérospatiaux civils et militaires en France et en Europe portent une part de l'ADN de l'ONERA : Ariane, Airbus, Falcon, Rafale, missiles, hélicoptères, moteurs, radars... Reconnus à l'international et souvent primés, ses chercheurs forment de nombreux doctorants.





BRUNO SAINJON,  
PRÉSIDENT-DIRECTEUR GÉNÉRAL  
DE L'ONERA

Dans l'édito du rapport annuel 2019, j'avais évoqué la crise sanitaire qui débutait tout juste et l'énergie que la reconnaissance de nos partenaires donnait aux personnels de l'ONERA pour affronter l'adversité, mais aussi leur exemplarité dans ces circonstances. Force est de constater que l'année qui vient de s'écouler a confirmé ces premiers constats du printemps. Ce rapport annuel ambitionne de vous le démontrer.

Sur le plan scientifique, fondement de notre légitimité, nous avons encore été honorés de nombreuses récompenses : l'optique adaptative, cette pépite qui fait la fierté de l'ONERA, a de nouveau été mise à l'honneur par l'Institut de France et la 3AF ; l'une de nos doctorantes a reçu une bourse Amelia Earhart ; trois chercheurs issus de l'ONERA ont reçu une médaille de l'Académie de l'aéronautique et de l'espace ; deux prix sur trois décernés par l'EREA ont été attribués à d'autres chercheurs ONERA encore ; le prix Caseau de l'Académie des technologies revient à l'un de nos jeunes, et un prix de thèse DGA également... Ces prix récompensent en particulier, aux côtés de nos chercheurs seniors, nos thésards et jeunes chercheurs, montrant ainsi la qualité de notre enseignement par la recherche.

J'évoquais l'an dernier le soutien des parlementaires au travers des rapports qu'ils ont rédigés, et cette année 2020 l'a confirmé. Vous pourrez lire dans ce rapport les témoignages de Françoise Dumas, présidente de la commission de la défense nationale et des forces armées de l'Assemblée nationale, de Pascal Allizard, sénateur et rapporteur du budget P144 au sein de la commission des affaires internationales et des forces armées, et de Christophe Grudler, député européen.

Notre situation financière reflète également la confiance de nos partenaires. Elle se traduit par une subvention exceptionnelle du Ministère des Armées de 4,4 M€ qui, conjuguée aux 110 M€ de subvention pour charges de service public (en hausse de 4 M€ par rapport aux prévisions du COP) et aux efforts constants de l'ONERA pour ré-

duire ses coûts de fonctionnement, nous amène à un résultat net comptable légèrement positif de 237 k€. Ce résultat est d'autant plus remarquable que le contexte de crise économique résultant de la COVID-19 frappe cruellement la communauté aéronautique. En dépit des contraintes de fonctionnement liées à la crise sanitaire, nous sommes parvenus à signer trois accords sans précédent pour l'ONERA, renforçant très significativement l'attractivité des carrières et la modernisation du cadre de travail pour un budget total de plus de 10 M€ en année pleine. Ces accords sont un levier de motivation supplémentaire pour tous les salariés de l'ONERA et renforcent notre attractivité.

Nos prises de commandes sont également encourageantes, puisqu'elles atteignent presque 120 M€, en léger retrait par rapport à 2019 (124 M€), avec une forte augmentation des parts DGA (qui signe un record depuis vingt ans à 56 M€) et DGAC (14,5 M€) qui compense la baisse des commandes industrielles, et une quasi-stabilité pour les souffleries (13,5 M€ en 2020, pour 14 M€ en 2019). Ces chiffres illustrent la part que l'ONERA entend prendre dans les systèmes de défense (je pense notamment à la dissuasion), mais aussi dans la relance du secteur aéronautique civil, et qui se traduira très probablement par d'importantes commandes de la DGAC en 2021.

Enfin, notre rayonnement international, qui s'appuie sur notre excellence scientifique, se traduit également par des commandes hors France élevées à hauteur de 22,9 M€, dont 15,8 M€ de la part des institutions européennes.

Nous avons appris à vivre avec ce virus qui frappe si durement la population, mais je tiens ici à rendre hommage aux efforts et à l'engagement continus des personnels de l'ONERA pour garder notre Office aux sommets de l'excellence aérospatiale. Cette excellence, vous pourrez l'apprécier en lisant ce rapport annuel.



# Malgré les turbulences, l'ONERA garde le cap grâce à la confiance de sa tutelle

Lors du conseil d'administration d'octobre 2020, un jalon très important a été posé avec la signature de trois accords sans précédent qui renforcent l'attractivité des carrières et la modernisation du cadre de travail à l'ONERA, pour un budget de plus de 10 M€. Ce vote constitue une étape supplémentaire dans la démarche engagée en 2014 visant à faire reconnaître l'excellence des salariés de l'ONERA. Dans un contexte incertain pour l'aéronautique, cette marque de confiance est particulièrement notable. Ce conseil d'administration a par ailleurs proposé la reconduction de Bruno Sainjon en tant que PDG de l'ONERA, entérinée en Conseil des ministres du 16 décembre 2020.



## Plan de relance aéronautique et aviation décarbonée

Le plan de relance du gouvernement constitue un formidable levier d'accélération des actions que l'ONERA a déjà engagées pour réduire l'impact environnemental de l'aviation. En 2020, entre autres nombreux projets, se distinguent ENERGIA (en collaboration avec Airbus, Safran et Dassault sur les carburants alternatifs), E2IM (test en soufflerie et par simulation numérique d'un concept d'avion avec un positionnement différent des moteurs) et IMOTHEP (étude des technologies électriques pour la propulsion hybride électrique), sélectionnés par la Commission européenne et coordonnés par l'ONERA.

## L'ONERA, en première ligne de l'observatoire du changement climatique

Officiellement lancé par le Président de la République en juin 2019 lors du Salon du Bourget, le *Space Climate Observatory* (SCO) regroupe 27 agences spatiales et organisations internationales. L'ONERA, par son expertise reconnue dans l'observation spatiale, est membre permanent de ce comité.



## Digital Forum Innovation Défense : présence forte de l'ONERA

Franck Lefèvre, directeur technique général de l'ONERA, est intervenu lors de la table ronde « Anticiper pour gagner grâce aux nouvelles technologies de rupture », afin de mettre en avant les compétences de l'ONERA dans le domaine des ruptures technologiques. Il a notamment évoqué le projet de gravimètre quantique à atomes froids destiné à être exploité par le Service hydrographique et océanographique de la Marine nationale, le SHOM (système GIRAFE2), ainsi que le programme de transfert de technologies BLAST (*Boost and Leverage Aerospace and Defence Technologies*).



## L'ONERA se rapproche de la Région Nouvelle-Aquitaine

L'ONERA a signé, en décembre 2019, une convention de partenariat avec la Région Nouvelle-Aquitaine, visant à favoriser et intensifier ses collaborations en matière de transformation digitale pour l'industrie aéronautique-espace-défense de la région.



## Paris Air Forum : les défis de l'hydrogène

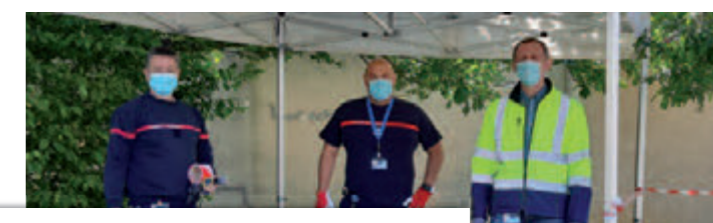
Invité à cet événement organisé par *La Tribune*, Bruno Sainjon a profité de l'occasion pour mettre en avant les compétences de l'ONERA qui répondent aux défis de l'aviation verte, au côté de ses partenaires. L'ONERA, dont la mission est de préparer l'avenir, explore toutes les configurations d'avions possibles, parmi lesquelles l'avion à hydrogène.

## Renouvellement de la certification ISO 9001

Les auditeurs ont salué la dynamique d'amélioration continue de l'ONERA sur les trois dernières années et n'ont relevé aucun point bloquant. Une réelle reconnaissance du comportement exemplaire de l'ONERA durant la période de la COVID-19.



## L'ONERA sur le front de la COVID



Outre la générosité dont a fait preuve l'ONERA par le don de matériels permettant de respecter les gestes barrières, son personnel s'est mobilisé pour faire face à la situation et mettre à disposition ses moyens et son expertise scientifique.

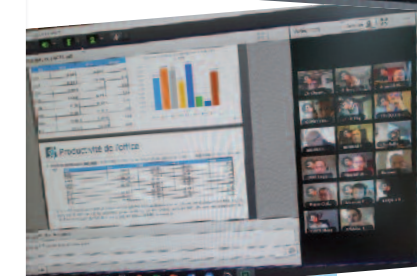
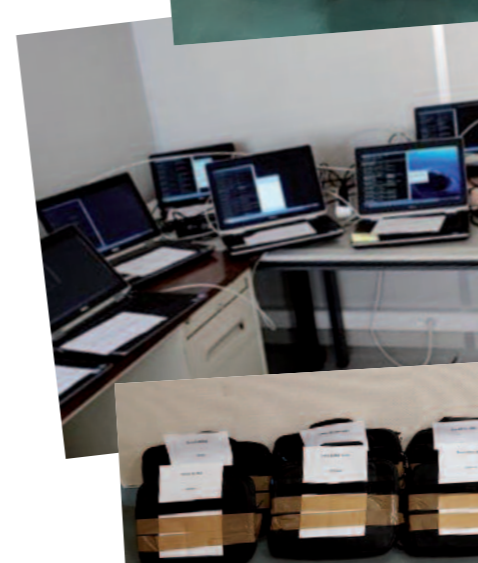
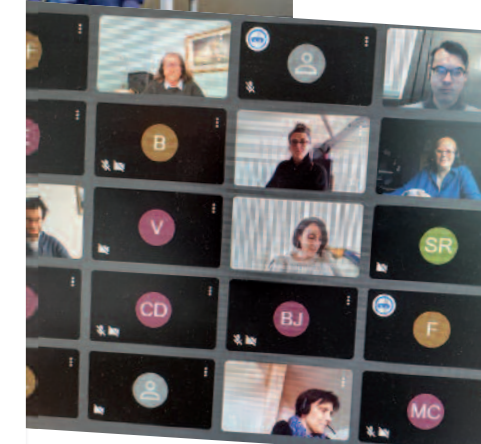
### Solidaire

#### Don de masques

Tandis que les centres de Toulouse et Fauga-Mauzac répondaient à l'appel de la délégation régionale Occitanie Ouest du CNRS, par la production bénévole de visières par impression 3D pour les soignants de la région, les trois centres d'Île-de-France faisaient don de 11 000 masques et 2 200 paires de gants en nitrile et en latex au siège de l'Agence régionale de santé Île-de-France.

#### La science au service de la crise

L'ONERA a participé à la mobilisation en mettant à disposition ses moyens et son expertise permettant d'évaluer les matériaux filtrants constitutifs de masques grand public. En moins d'un mois, l'ONERA a adapté la soufflerie subsonique, l'un des enjeux difficiles étant de créer et mesurer un écoulement stable avec un ensemencement en fines particules représentatif d'un aérosol véhiculant le virus. Pour cela, l'ONERA a mis en place un système de visualisation d'écoulement par tomographie laser afin de vérifier la qualité de l'ensemencement.







« LA DÉFENSE !  
C'EST LÀ, EN EFFET,  
LA PREMIÈRE  
RAISON D'ÊTRE  
DE L'ÉTAT.  
IL N'Y PEUT  
MANQUER  
SANS SE DÉTRUIRE  
LUI-MÊME. »  
GÉNÉRAL DE GAULLE

« L'ONERA prépare assurément des briques essentielles à l'autonomie stratégique dont nous aurons besoin à l'avenir »

## Françoise Dumas

DÉPUTÉE DE LA PREMIÈRE CIRCONSCRIPTION DU GARD,  
PRÉSIDENTE DE LA COMMISSION DE LA DÉFENSE NATIONALE  
ET DES FORCES ARMÉES.

### L'espace s'affirme comme un théâtre de confrontation. Qu'attendez-vous de la recherche spatiale militaire ?

Aujourd'hui, l'espace tient une place centrale dans nos opérations militaires, en particulier pour nos télécommunications, nos activités de renseignement, l'emploi des drones ou l'information géographique. En 2021, aucune action militaire n'est conduite sans usage de capacités spatiales : c'est l'une des caractéristiques de la supériorité opérationnelle des armées occidentales.

Mais la dépendance de nos armées à l'espace est aussi une fragilité potentielle, qui ouvre un nouveau champ de conflictualité. On assiste en outre à la multiplication des commandements militaires de l'espace sur tous les continents.

Pour préserver nos atouts comme notre autonomie stratégique, la France doit donc continuer à investir pour accéder à l'espace et y opérer, tout en garantissant la protection de ses engins spatiaux.

Dans ce domaine, la recherche aérospatiale joue un rôle fondamental. D'abord pour dessiner les contours des futurs lanceurs qui garantiront l'accès autonome de l'Europe à l'espace, en dépassant les contraintes déloyales de certains acteurs du *New Space*. Ensuite pour développer de nouveaux outils plus précis de surveillance de l'espace.

Enfin, la recherche est primordiale pour doter la France de moyens actifs de protection et d'action autour de nos satellites pour être sûrs d'échapper à tout chantage ou pour s'opposer à une menace. L'ONERA a ici une place centrale à tenir pour développer les solutions technologiques qui remplaceront le système GRAVES, travailler sur les lasers de puissance, ou imaginer les opérations de proximité en orbite contre un objet inamical. Nous savons ce que le succès du programme ARES devra à l'excellence des travaux de l'ONERA.

### Qu'attendez-vous du programme SCAF ?

Le système de combat aérien du futur (SCAF) est l'enjeu majeur de la filière aéronautique française et européenne des quinze prochaines années. Il prépare ce que seront les flottes aériennes militaires européennes jusqu'en 2080.

Les enjeux à surmonter sont techniques : il s'agit de développer des solutions en matière de furtivité, de connectivité, de drones, de capteurs et de motorisation, qui marqueront toutes des avancées technologiques significatives. Dans la plupart de ces domaines, la recherche a des objectifs importants à atteindre : l'Europe se distingue par l'absence d'avions de 5<sup>e</sup> génération, puisqu'elle passera directement du Rafale et de l'Eurofighter à un avion de 6<sup>e</sup> génération.

Les enjeux sont aussi industriels, car la coopération des grands maîtres d'œuvre européens et des principaux centres de recherche est au cœur du succès du SCAF. Pour ne citer qu'un exemple, le succès de la contribution de l'ONERA au développement de turbines de nouvelle génération à très haute température est une condition essentielle à la réussite du *Next Generation Fighter*.

Mais les enjeux sont surtout politiques, car le SCAF marque le franchissement d'une étape majeure dans la convergence des intérêts stratégiques de la France, de l'Allemagne et de l'Espagne en matière d'autonomie technologique européenne et de besoins militaires. C'est un pas décisif pour l'Europe de la défense, qui repose en grande partie sur la capacité à trouver des solutions technologiques innovantes.

### L'autonomie stratégique constitue un enjeu majeur. Quelle contribution peut apporter l'ONERA ?

Dans notre monde industriel et numérique, la liberté ne va pas sans maîtrise technologique, nécessitant un outil de défense et des équipements employables unilatéralement ; autant d'enjeux d'autonomie stratégique singulièrement nouveaux et technologiquement ambitieux.

Notre modèle démocratique, nos libertés politiques et la défense de nos valeurs ne peuvent ainsi se passer, en 2021, d'une excellence scientifique qui ne peut se résumer aux seules capacités militaires. Si l'emploi d'un chasseur de dernière génération et le recours à un missile de façon autonome sont fondamentaux, la France doit aussi pouvoir préserver ses capacités de téléphonie mobile, de communication par satellite ou d'observation de la terre sans dépendre d'un État qui pourrait monnayer son soutien.

C'est dire à quel point la recherche est essentielle, et nos démarches politiques depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale l'inscrivent dans un destin européen que nous souhaitons toujours plus affermi.

En travaillant sur les drones et la lutte anti-drone, l'hypervélocité, les missiles balistiques, l'alerte avancée, la propulsion hybride électrique, les futurs lanceurs spatiaux, l'optique adaptative ou la communication optique, l'ONERA prépare assurément des briques essentielles à l'autonomie stratégique dont nous aurons besoin à l'avenir. ■



# « La recherche du saut technologique et de l'innovation de rupture sera primordiale »



## Pascal Allizard

SÉNATEUR DU CALVADOS,  
VICE-PRÉSIDENT DE LA COMMISSION DES AFFAIRES ÉTRANGÈRES,  
DE LA DÉFENSE ET DES FORCES ARMÉES

### Quel est votre rôle dans la relation entre le Sénat et l'ONERA ?

Si l'on dit que l'argent est le nerf de la guerre, il faut rappeler qu'il doit en premier lieu irriguer la recherche et l'innovation. Il ne fait nul doute que c'est grâce à la recherche aéronautique et spatiale, le cœur de métier de l'ONERA depuis sa création en 1946, que la France s'est bâtie une industrie de défense au service de la souveraineté nationale. L'aéronautique et l'espace représentent une filière d'excellence française, duale, pourvoyeuse d'emplois dans les territoires et qu'il faut préserver dans son ensemble. Le rôle du Sénat, et le mien en tant que rapporteur budgétaire pour la commission sénatoriale des affaires étrangères, de la défense et des forces armées, est de mobiliser des crédits vers les études amont des grands programmes capacitaires. S'il faut se féliciter d'une certaine prise de conscience – avec la progression de 720 M€ à 1 Md€ du financement de ces études amont dans le cadre de la loi de programmation militaire 2019-2025 –, on ne peut que rester vigilant. Ainsi, le Sénat a soutenu l'ONERA sur toute la période du contrat d'objectif et de performance 2017-2021. Et si l'année 2021 voit enfin une légère revalorisation de la subvention de l'État de 106 M€ à 110 M€, l'effort doit être amplifié pour les prochaines années. Je continuerai donc à soutenir l'Office pour que la négociation du prochain COP 2022-2026 soit à la hauteur de son excellence scientifique.

### Comment percevez-vous l'ONERA comme acteur de la préparation des programmes d'armements ?

Nos forces armées sont parmi les rares au monde à s'engager sur tout le spectre des actions militaires et, certainement les seules en Europe, à couvrir le champ stratégique, qu'il s'agisse de la dissuasion nucléaire ou du renseignement satellitaire. Or, nous entrons dans une période de renouvellement de grands programmes d'armements – système de combat aérien du futur (SCAF), sous-marins nucléaires lanceurs d'engins de 3<sup>e</sup> génération (SNLE 3G), satellites d'observation, etc. – pour lesquels la recherche du saut technologique et de l'innovation de rupture sera primordiale. À ce titre, les compétences de l'ONERA en matière de dissuasion, de systèmes de défense, de connaissance et d'anticipation, des systèmes de combat aérien sont un atout pour l'autonomie stratégique de notre pays. Le développement d'une stratégie spatiale de défense à l'horizon 2030 fera de l'Office un acteur incontournable dans les futurs partenariats. Les personnels de l'ONERA possèdent des qualifications très pointues et de l'expérience dans ces domaines essentiels

pour l'avenir. Par conséquent, il est important d'être aussi attentifs aux questions de ressources humaines et d'attractivité des carrières.

### Quelles sont vos préoccupations en matière de prospective technologique de défense ?

L'actualisation en 2021 de la revue stratégique de 2017 pointe le risque de déclassement face à l'émergence de nouvelles puissances régionales (en Méditerranée orientale, au Moyen-Orient, etc.) et à la compétition mondiale dans laquelle est entrée la Chine face aux États-Unis. Elle identifie aussi de nouveaux défis : la cyberdéfense, l'intelligence artificielle, les drones, le renseignement et l'espace. C'est ce que j'appellerais la compétition « par le haut », qui nécessite des financements importants et une vraie vision, y compris au niveau européen. J'espère que la crise sanitaire et le coup de rabot au Fonds européen de défense (FED) n'emporteront pas de conséquences trop dommageables. En outre, il ne faudra plus manquer une technologie d'avenir, comme ce fut le cas regrettable pour les drones, dont nous devons rattraper à grands frais le retard européen pris en la matière. Mais il y a également tous les défis liés aux « technologies nivelantes », issues du monde civil, accessibles à tous – acteurs étatiques ou non – et à bas coût. Il faut pouvoir les contrer, mais à des coûts maîtrisés, poursuivre les efforts sur la captation des technologies civiles, et aller vers des cycles courts.

Notre capacité d'adaptation à ce nouvel environnement soulève donc au moins deux préoccupations :

- mieux identifier, chiffrer, et financer les recherches sur les technologies de rupture et l'innovation ouverte ;
- sécuriser davantage l'environnement économique, financier et juridique de la base industrielle et technologique de défense (BITD).

Il faut réussir à faire comprendre, au-delà de la communauté de défense, tout l'intérêt de créer un cercle vertueux, dans lequel l'ONERA a un rôle central à jouer, entre la prospective technologique de défense et les entreprises de la BITD au service de la souveraineté nationale.

En conclusion, des récentes observations de la Cour des comptes à propos de l'innovation de défense, je retiendrais notamment la nécessité d'évoluer vers une véritable logique de préparation de l'avenir et d'accentuer le développement d'une stratégie d'influence française au niveau européen pour saisir toutes les opportunités du FED. ■



# « Je tiens à féliciter l'ONERA »



## Christophe Grudler

DÉPUTÉ EUROPÉEN FRANÇAIS, MEMBRE ET VICE-COORDINATEUR DU GROUPE *RENEW EUROPE*, MEMBRE DE LA COMMISSION DE L'INDUSTRIE, DE LA RECHERCHE ET DE L'ÉNERGIE (ITRE), MEMBRE SUPPLÉANT DE LA SOUS-COMMISSION SÉCURITÉ ET DÉFENSE (SEDE), VICE-PRÉSIDENT DE L'INTERGROUPE *SKY & SPACE*.

### Quelle est votre vision des défis que doivent relever la recherche et l'innovation européennes à l'aube des nouveaux programmes Horizon Europe et Fonds européen de la défense ?

Nous faisons face à des défis majeurs tels que la transition écologique, la transition numérique, la préservation de nos valeurs et le développement de notre autonomie stratégique. Or, face à ces défis, la recherche et l'innovation sont essentielles pour préparer l'avenir. Sans celles-ci, il ne peut y avoir de dynamisme industriel ! C'est pourquoi je me félicite, par exemple, du renforcement du budget alloué à Horizon Europe, le programme européen de recherche, que nous avons obtenu au Parlement européen.

Nous sommes également à un moment clé pour la défense européenne, et en particulier pour nos capacités industrielles de défense. L'Europe doit investir davantage dans sa recherche en matière de défense, et surtout avancer collectivement ; il n'est plus possible d'avoir 27 types de matériel militaire différents dans l'Union.

Sur ce point, je tiens à féliciter l'ONERA, qui a participé ces deux dernières années à huit projets déposés de l'EDIDP (*European Defence Industrial Development Programme*) et à trois projets PADR (*Preparatory Action on Defence Research*). Ces deux appels à projets ont préfiguré le nouveau Fonds européen de la défense, lancé en 2021, qui est une grande avancée pour l'Europe de la défense.

La R&I européenne a besoin plus que jamais d'établissements tels que l'ONERA, qui portent une vision à long terme, et qui sont capables de s'investir dans la co-construction des programmes avec la Commission européenne. Je me réjouis par ailleurs que la France joue un rôle moteur dans ce domaine, tant dans l'aéronautique civile que dans la recherche spatiale, mais aussi sur les nouveaux dispositifs de défense, notamment à travers l'ONERA.

### En tant que député européen, quel regard portez-vous sur le concept d'autonomie stratégique, et quel rôle y voyez-vous pour un organisme de recherche tel que l'ONERA ?

L'autonomie stratégique vise en tout premier lieu à réduire notre dépendance vis-à-vis de pays tiers dans des domaines stratégiques, mais également à produire davantage en Europe, voire relocaliser certaines productions sur des segments très ciblés et nécessaires à notre autonomie. Défendre l'autonomie stratégique européenne, c'est aussi permettre à l'Union européenne de rester à la pointe de la

technologie, que cela soit dans le domaine civil ou militaire. Si nous dépendons de technologies de pays tiers pour notre sécurité, il y a toujours un risque que l'on nous empêche d'accéder à cette technologie dans une situation de crise, et donc mettre en péril notre sécurité. Je considère que l'ONERA, par ses expertises scientifiques et technologiques et ses installations de classe mondiale, contribue à défendre la souveraineté européenne et l'autonomie stratégique. Je citerais par exemple le système GRAVES, qui permet de surveiller les objets spatiaux en basse orbite, et qui a positionné la France et l'Europe comme des acteurs majeurs dans le domaine de la surveillance de l'espace.

### L'un de nos défis majeurs est le changement climatique. Quelle en est votre perception et quelle contribution pourrait apporter l'ONERA ?

Il est fondamental de prendre en compte la crise climatique ainsi que la biodiversité dans toutes les politiques publiques, et c'est ce que nous faisons à l'échelle européenne à travers le Pacte vert pour l'Europe.

Je pense que l'ONERA a un rôle clé à jouer dans la mise en œuvre de ce « pacte vert ». Grâce aux différents moyens qu'il a développés – aéroportés et spatiaux notamment –, l'Office y a déjà fortement contribué, et ce, dès le début. Je pense par exemple à l'observation spatiale de la Terre, où l'ONERA est très actif, alors que 26 des 50 variables définies par le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) ne peuvent en effet être observées que depuis l'espace.

D'autre part, je pense que l'ONERA a un rôle majeur à jouer dans le développement de l'avion zéro carbone, qui sera électrique ou hydrogène. L'Europe est déjà leader dans le secteur aéronautique, et elle ne doit pas rater le virage de l'avion vert. Et ici, l'ONERA peut se démarquer sensiblement, en lien notamment avec une forte collaboration européenne. ■



# Chiffres clés 2020



**INVESTISSEMENTS**  
**36,2 M€**  
(33,1 M€ en 2019)

se répartissant en :

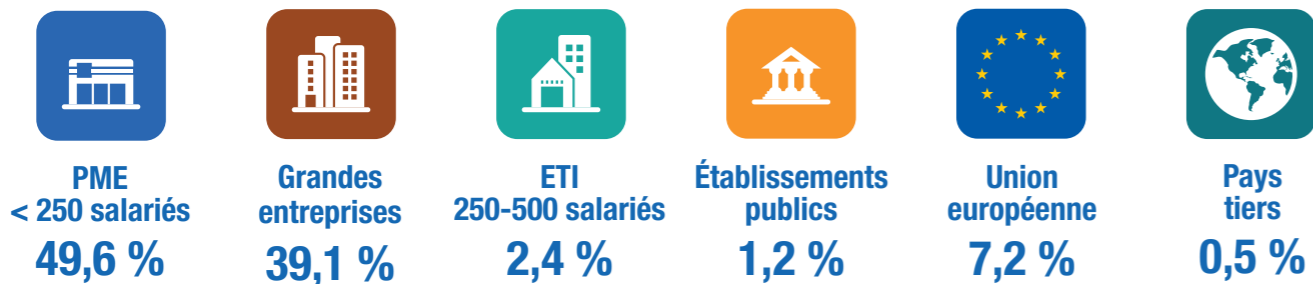
- **25,9 M€** pour les opérations courantes ;
- **7,5 M€** pour le programme ATP de modernisation des souffleries, à la suite du prêt octroyé par la Banque européenne d'investissement (BEI) ;
- subventions exceptionnelles : **1,6 M€** de la DGA pour les travaux de confortement de la grande soufflerie de Modane et **1,2 M€** pour le projet PRISME du rassemblement des trois centres d'Île-de-France.

## ACHATS

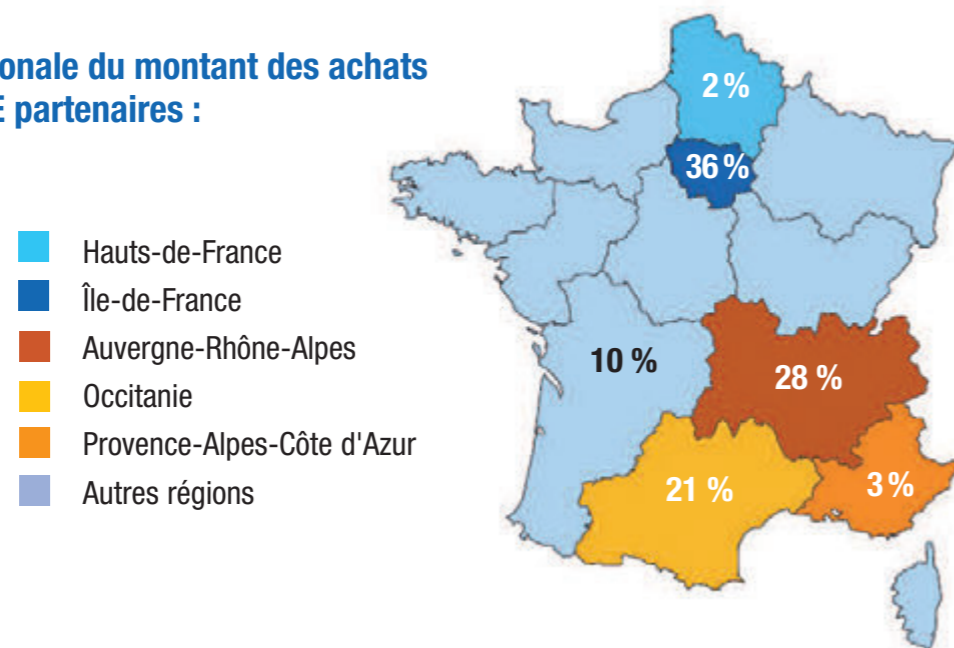
L'ONERA travaille majoritairement avec des PME dans tous ses centres, toutes régions confondues.

**En 2020, l'ONERA a contractualisé avec 1 620 PME** (1 776 en 2019).

Répartition du montant des achats par type d'entreprise en 2020 :

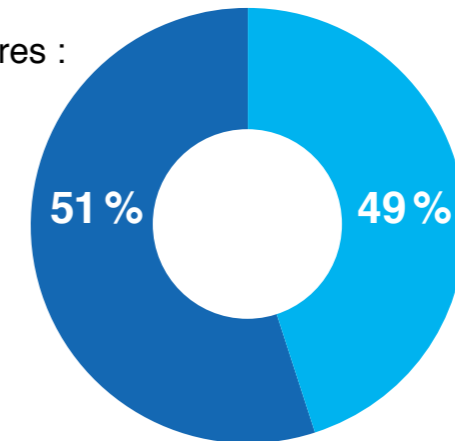


Répartition régionale du montant des achats auprès des PME partenaires :



**BUDGET**  
**234 M€**

Ressources propres :  
**120 M€**

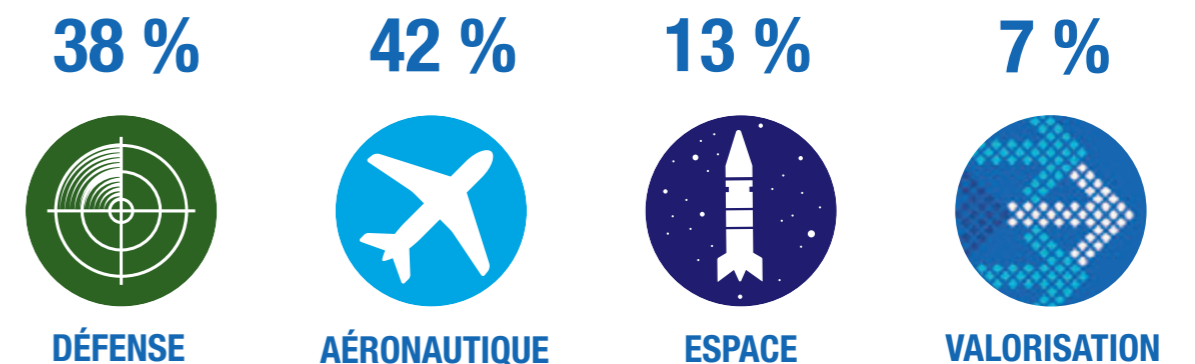


Subvention pour charge de service public :  
**114 M€**

Résultat net comptable :  
**237 k€**

Prises de commandes :  
**120 M€**

Répartition des activités contractuelles par finalité :



## Femmes et hommes de l'ONERA

### 2031 collaborateurs

1 287 ingénieurs et cadres  
281 doctorants • 27 post-doctorants  
241 techniciens • 189 employés • 1 ouvrier  
32 alternants • 244 stagiaires  
25 % de femmes  
Index égalité femmes-hommes : 89/100



315 communications dans des congrès à comité de lecture  
243 publications dans des journaux à comité de lecture  
1 068 rapports techniques



79 thèses soutenues  
8 habilitations à diriger des recherches soutenues  
110 habilitations à diriger des recherches



7 302 heures d'enseignement par an dans  
les grandes écoles et les universités

## Recrutements : l'ONERA garde le rythme

**E**n pleine période de crise, quand la recherche se rappelle à tous comme étant indispensable à l'innovation devenue vitale, l'ONERA s'en trouve conforté. Pour porter ses ambitions scientifiques ou techniques, il a non seulement continué à recruter en 2020, mais il poursuit la même ambition pour 2021. Objectif : préparer l'aviation verte de demain soutenue par le Gouvernement dans le cadre du plan de relance.

Ingénieurs, techniciens, cadres, employés... près de 160 personnes ont rejoint les équipes de l'ONERA en 2020 ! Par ailleurs, pour répondre à ses missions de formation par la recherche, l'ONERA comptait plus de 300 doctorants en 2020 et a maintenu une offre importante de stages qui a permis d'accueillir plus de 240 étudiants. C'est, pour l'ONERA, le fruit d'une politique de recrutement volontariste, destinée à renforcer ses capacités à concevoir et développer les technologies aptes à répondre aux enjeux aéronautiques et spatiaux de demain. L'ONERA a ainsi fait face à la crise sanitaire sans remettre en question son ambition. Pour s'adapter au contexte, l'équipe RH et l'ensemble des managers ont adapté leurs méthodes de recrutement. En plus de la participation à une dizaine d'*e-forums*, l'ONERA a organisé, en octobre 2020, son propre forum virtuel orienté « techniciens », pour donner plus de visibilité aux activités expérimentales de l'ONERA.



### 159 recrutements

dont 87 ingénieurs,  
40 employés / cadres administratifs,  
30 techniciens et 2 directeurs

Recrutements par région :

Hauts-de-France : 7

Île-de-France : 97

Auvergne-Rhône-Alpes : 17

Provence-Alpes-Côte d'Azur : 4

Occitanie : 34

106 CDI et 43 CDD

10 alternants



Pour Sami Taïeb, technicien sur banc d'essai au département multi-physique pour l'énergétique, qui a rejoint l'ONERA en 2020, « on ne voit pas le temps passer. Mon poste va du montage au maquettage, de l'instrumentation au pilotage même des essais. En fait, je prépare l'essai de A à Z, pour faire en sorte qu'il n'y ait pas de fausse note. Il faut être minutieux, car les moyens d'essais sont des outils très exigeants. Mais pour qui est intéressé par les avancées technologiques et les enjeux environnementaux, ce travail est fait pour lui. » Un témoignage qui souligne autant le caractère varié et technique de l'activité expérimentale à l'ONERA, que l'apport des techniciens en soutien de la recherche menée dans les départements scientifiques et techniques.



# L'ONERA soutenu et transformé

**M**algré la crise sanitaire, l'objectif de renforcer l'attractivité de l'ONERA, qu'il s'agisse des niveaux de rémunération ou de la qualité de vie au travail, a été tenu !

Le financement de ces mesures repose autant sur un accroissement de 4M€ annuels de la subvention versée à l'ONERA, que sur sa bonne santé économique. Cette dynamique tranche avec celle conjoncturellement observée dans le secteur aéronautique, et donne des perspectives enthousiasmantes à l'ONERA et à ses 2000 collaborateurs.

Ainsi, tout au long de l'année 2020, en parallèle d'un dialogue social intense permettant d'associer les représentants du personnel aux orientations décidées pour assurer la continuité de l'activité, trois accords sans précédent ont été négociés avec les organisations syndicales représentatives.

- Le premier accord concerne la **politique salariale**, qui a permis de renforcer très significativement l'attractivité et la fidélisation des carrières au sein de l'entreprise.
- Un second accord met en place les critères d'un premier **dispositif d'intéressement** permettant le partage des résultats auprès de tous les salariés.

- Le troisième accord a poursuivi cette dynamique **d'amélioration et de modernisation du cadre du travail** sur des thématiques variées : télétravail, prise en compte des déplacements professionnels, forfait mobilité, dons de jours, droit à la déconnexion...

Cette modernisation exceptionnelle du cadre de travail de l'Office vient conforter les efforts produits collectivement pendant la crise sanitaire et au cours de toute l'année 2020 pour assurer la poursuite de l'activité dans le respect des conditions sanitaires.



## Préparer les métiers de demain

# En route vers la seconde révolution quantique !



Questions à Sylvain Schwartz, ingénieur-chercheur au département physique

**Vous avez été recruté en août 2020 après un parcours chez Thales, à l'université d'Harvard et au laboratoire Kastler Brossel. Pourquoi avoir choisi l'ONERA ?**

J'ai été très influencé par Emmanuel Rosencher, ancien directeur scientifique de l'ONERA, qui fut mon professeur à l'École polytechnique, et dont la passion pour faire émerger de nouvelles applications à partir de la recherche la plus fondamentale était hautement communicative ! Tout au long de mon parcours, je suis resté en contact avec des chercheurs de l'ONERA, et notamment avec l'équipe capteurs inertiels à atomes froids, dont les thématiques de recherche étaient proches des miennes. L'ONERA est à la pointe mondiale de la technologie des gravimètres à atomes froids embarquables, et a récemment été sollicité par le ministère des Armées pour fournir plusieurs de ces capteurs au SHOM\*. C'est un exemple remarquable de développement d'un nouvel instrument opérationnel issu des technologies quantiques !

Mais il ne s'agit pas de la seule technologie quantique étudiée à l'ONERA : d'autres chercheurs y travaillent sur des applications aussi variées que les communications spatiales, la détection ou le calcul de haute performance.

Enfin, mon souhait de rejoindre l'ONERA est entré en résonance avec la stratégie de la direction scientifique : structurer les actions en cours sur les technologies quantiques.

**Pouvez-vous nous en dire plus sur ces fameuses « technologies quantiques » ?**

La théorie quantique décrit l'ensemble des lois physiques qui régissent le comportement des particules à l'échelle microscopique. Développée au XX<sup>e</sup> siècle par de grands noms de la physique comme Einstein, Heisenberg, Schrödinger ou De Broglie, elle a permis un certain nombre d'innovations majeures qui ont profondément transformé la société, telles que le laser et les semi-conducteurs (on parle parfois de « première révolution quantique »). En retour, certaines de ces

applications ont ouvert de nouvelles possibilités aux chercheurs, notamment celle de contrôler des particules élémentaires et leurs interactions, ouvrant la voie à d'autres applications encore, jusqu'alors insoupçonnées, dans le domaine des calculateurs, des capteurs et des systèmes de communication sécurisés : c'est la « deuxième révolution quantique », soutenue par le Gouvernement, comme en témoigne l'annonce récente, sur le plateau de Saclay, du « plan quantique national » par le Président de la République.

**Quelles sont vos missions, et en quoi l'ONERA vous permettra-t-il de les remplir ?**

J'ai deux missions principales. La première est le développement d'une nouvelle activité de recherche visant à étudier un nouveau type de capteur de champs électromagnétiques utilisant des atomes contrôlés individuellement et placés dans des états très excités, appelés états de Rydberg. Ces dispositifs pourraient permettre de réaliser des cartes de champs électromagnétiques avec des niveaux de précision inégalés, et une telle plateforme pourrait également trouver des applications dans le domaine du calcul ou de la simulation quantiques.

Ma seconde mission consiste à fédérer, au niveau de l'ONERA, les efforts de recherche en cours sur les technologies quantiques, et à contribuer à leur développement. Pour cela, nous allons notamment créer un laboratoire transverse de physique quantique à l'ONERA, sur le modèle du laboratoire de mathématiques appliquées (LMA2S), afin de renforcer, d'une part, les interactions au sein de l'ONERA et, d'autre part, notre visibilité vis-à-vis de l'extérieur. J'ai la conviction qu'il existe, grâce aux compétences des chercheurs de l'ONERA que j'ai pu rencontrer et à leur intérêt pour ces sujets, un terrain fertile très favorable au développement des technologies quantiques, ce qui me permet aujourd'hui d'aborder ce nouveau défi avec optimisme !

\* Service hydrographique et océanographique de la Marine



# Pluie de prix scientifiques : la tendance reste stable



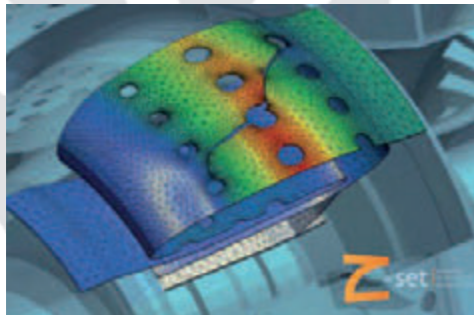
## OPTIQUE – GRAND PRIX SCIENTIFIQUE DE L'INSTITUT DE FRANCE

Le grand prix scientifique de la Fondation Charles Defforey a été remis à une équipe de scientifiques dont fait partie **Thierry Fusco**, directeur de recherche en optique à l'ONERA, pour le projet « Imager de nouveaux mondes, préparer la prochaine génération d'imagineurs d'exoplanètes ». Thierry Fusco coordonne les activités scientifiques menées en commun autour de l'optique adaptative, et prépare, dans le cadre d'une équipe intégrée LAM (Laboratoire d'astrophysique de Marseille) / ONERA, les nouvelles générations d'instruments à très haute résolution pour l'astronomie.



## COMBUSTION – PRIX AMELIA EARHART POUR UNE DOCTORANTE DE L'ONERA

**Beatrice Fragge** est lauréate 2020 du prix Amelia Earhart, décerné par le ZONTA. Actuellement en deuxième année de thèse à l'ONERA (cofinancement ONERA / École doctorale aéronautique-astronautique), elle mène des travaux de recherche sur l'étude et le développement d'un système d'allumage basé sur une circuiterie micro-onde apte au retournement temporel, capable d'allumer une chambre de combustion aéronautique. Objectif : optimiser l'allumage d'un moteur d'avion ou d'hélicoptère dans des conditions critiques, comme l'altitude ou les basses températures.



## SIMULATION NUMÉRIQUE ET MATÉRIAUX MÉDAILLE DE L'ACADÉMIE DE L'AIR ET DE L'ESPACE

L'une des médailles 2020 de l'AAE a été remise à trois anciens chercheurs de l'ONERA : **Frédéric Feyel**, directeur Modélisations et simulations chez Safran Tech, **Georges Cailletaud**, professeur à Mines-ParisTech, et **Jean-Louis Chaboche**, directeur de recherche honoraire à l'ONERA, pour leur contribution à la modélisation mathématique des matériaux aéronautiques. Ils ont tous travaillé au développement du code de calcul totalement dédié à la simulation numérique du comportement des matériaux, le code Zset-Zebulon, aujourd'hui incontournable.



## AÉRODYNAMIQUE ET COMBUSTION BEST PAPER AWARDS EREA : L'ONERA SUR LES 1<sup>RE</sup> ET 3<sup>E</sup> MARCHES DU PODIUM

**Majd Daroukh** et **Cyril Polacsek** ont raflé le premier prix, tout comme **Alain Chelius**, récemment parti de l'ONERA. Intitulé « Shock Wave Generation and Radiation from a Turbofan Engine Under Flow Distortion », leur papier étudie les phénomènes aérodynamiques générés dans les moteurs aéronautiques de nouvelle génération.

**Étienne Terrenoire** se classe à la troisième place pour le papier « The contribution of carbon dioxide emissions from the aviation sector to future climate change », qui étudie également les phénomènes complexes des moteurs aéronautiques, et plus particulièrement l'impact des émissions polluantes sur le changement climatique.



## PHOTONIQUE ET NANOMATÉRIAUX PRIX DE THÈSE DGA SUR LES DÉTECTEURS DU FUTUR

**Baptiste Fix**, doctorant ONERA de 2015 à 2018, soutenu par une allocation DGA, a reçu l'un des trois prix de thèse 2020 décernés par l'Agence de l'innovation de défense pour ses travaux sur la nanophotonique appliquée à la détection infrarouge. Sa thèse portait sur l'étude de la « photodétection infrarouge par processus d'absorption à deux photons dans des diodes nanostructurées ». Elle ouvre des perspectives importantes dans le développement de systèmes de détection infrarouge plus compacts et moins onéreux, compte tenu de leur fonctionnement à température ambiante dans le domaine civil et militaire (analyse de l'atmosphère, détection de gaz, vision nocturne...). Baptiste Fix est responsable du laboratoire ONDA (opto-électronique des nanomatériaux et dispositifs associés) de l'ONERA.



## SIMULATION NUMÉRIQUE ET AÉRODYNAMIQUE PRIX CASEAU À UN DOCTORANT DE L'ONERA

**Fabio Naddei** a été récompensé par le prestigieux prix Paul Caseau de l'Académie des technologies, soutenu par EDF, pour la qualité des travaux de sa thèse effectuée à l'ONERA : « Simulation adaptative des grandes échelles d'écoulements turbulents fondée sur une méthode Galerkin discontinue ». L'originalité du travail réside dans la prise en compte simultanée et l'adaptation fine à ces architectures des techniques d'adaptation de maillage. Ces progrès sont essentiels afin d'enrichir les méthodes classiques de volumes finis pour certains types de simulations d'intérêt industriel, tels que les limites du domaine de vol d'un aéronef.

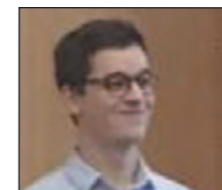


## COMBUSTION ET OPTIQUE – PRIX 3AF 2020 : DEUX LAURÉATS SUR TROIS SONT DE L'ONERA

**Pierre Cordesse** a obtenu le prix de thèse 3AF : cofinancée par l'ONERA et le CNES, en étroite collaboration avec le Centre de mathématiques appliquées de l'École polytechnique, les travaux de Pierre Cordesse portaient sur l'étude des instabilités de combustion dans les moteurs-fusées cryotechniques.

**Thierry Fusco** a reçu le prix « Réussite » de la 3AF, sa troisième distinction de l'année, justement décernée pour ce parcours hors norme. L'ONERA, l'un des leaders mondiaux en optique adaptative, a développé, de 2004 à 2014, sous la responsabilité de Thierry Fusco, le système SAXO intégré au cœur de l'instrument SPHERE. Ce dernier équipe depuis cinq ans l'un des quatre télescopes de huit mètres de diamètre du Very Large Telescope de l'Observatoire européen austral au Chili.

La contribution ONERA au prix Nobel de physique 2020 a également été remarquée : les instruments optiques, conçus par l'ONERA, sont au cœur des observations de l'un des lauréats du prix Nobel de physique 2020.



**Dimitri Goutaudier** est lauréat du prix « jeunes actifs », décerné par la 3AF en 2020 pour les travaux présentés dans l'article « Détecter des impacts par surveillance vibratoire : une stratégie pour améliorer la maintenance des structures d'ingénierie ». Diplômé de l'École centrale de Nantes, il a réalisé une thèse à l'ONERA et au CNAM pour le compte d'Airbus. Il est actuellement post-doctorant au CNRS, avec l'objectif de développer une méthode numérique pour la simulation d'endommagements des matériaux composites par choc laser.

Ces trois lauréats sont membres de l'association ALUMNI-ONERA.

## Autres prix remarquables

Prix R&T Expertise de Safran Aircraft Engines à l'ensemble du **département multi-physique pour l'énergétique** de l'ONERA

Prix de la meilleure présentation des travaux de doctorat de Safran Aircraft Engines pour **Thomas Berthelon**

Prix de thèse de la Fondation Isae-Supaero pour **Erwal Lecarpentier**



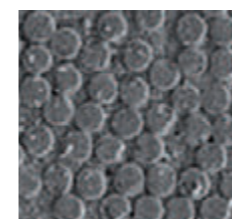
# 2020 Faits marquants



## Fabrication additive | Premières réalisations de grandes pièces métalliques très complexes

Deux projets – PROMIS (Carnot) et MATRIS3D (fonds ONERA) – ont permis de valider la fabrication additive d'éléments de maquettes de soufflerie, avec des avantages notables : simplification de la conception, réduction des coûts et du temps de fabrication, amélioration

de la qualité de surface... Validée sur le cas d'un *winglet*, cette technique est dorénavant appliquée dans les souffleries S1MA. L'ONERA a réalisé des pièces de très grandes dimensions : l'aile d'une maquette d'avion, en une seule pièce, sans aucune démontabilité. Une campagne d'essais sur le comportement en fatigue indique que la fabrication additive serait bien compatible avec les contraintes mécaniques dues aux efforts aérodynamiques en soufflerie.



## Matériaux | Suivi de l'endommagement de composites

Dans le cadre d'une thèse ONERA, des essais micromécaniques de flexion et de traction ont été effectués sur des matériaux composites oxyde/oxyde dans un microscope électronique à balayage. Ces essais ont permis d'atteindre

des niveaux de résolution qui révèlent des défauts impossibles à détecter par les techniques optiques classiques, et permettant une meilleure compréhension des mécanismes d'endommagement pour la conception d'arrière-corps de moteurs d'avion de nouvelle génération. Une analyse de leurs variations locales a ainsi mis en évidence des décohésions et des fissures d'une largeur d'environ 250 nm.

## Réfractométrie | Un banc de mesure en température pour applications aérospatiales



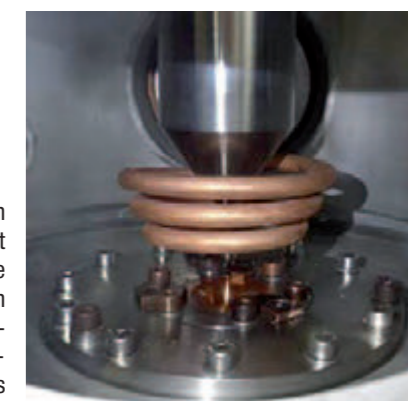
Les fenêtres sont souvent soumises à des environnements sévères (températures élevées). Lorsqu'elles protègent un capteur tel qu'un autodirecteur de missile ou un système de recalage de position, l'erreur tolérée est très réduite. C'est dans le but de connaître l'amplitude de ces perturbations que, dans le cadre d'un projet ONERA, un banc de mesure d'indice de réfraction en température a été développé. Il permet des mesures jusqu'à 1200 °C, voire plus, dans le visible et l'infrarouge, avec une précision de l'ordre de 10<sup>-4</sup>. Ceci aidera au choix des matériaux.

## Impacts sur les structures | Un nouveau banc de lanceur à air multi-instrument



Ce nouveau moyen a été conçu afin d'accroître les capacités expérimentales pour les essais d'impact sur structures (débris, glace, oiseaux...). Motorisé, il permet de choisir le type de lanceur parmi trois diamètres de fût, et de régler finement la localisation de l'axe du fût par rapport à la structure à tester. Il permet dorénavant la mise en vitesse jusqu'à 240 m/s. Ce banc sera prochainement utilisé pour des essais d'impact de débris sur panneaux composites dans le cadre du programme Cleansky 2 ADEC. Il correspond aux nouveaux besoins exprimés par les clients et les ingénieurs-chercheurs de l'ONERA.

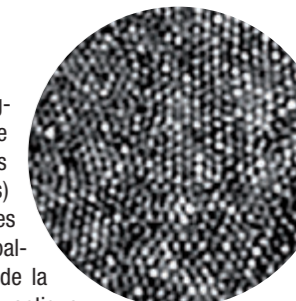
## Matériaux | De nouvelles capacités pour la tour d'atomisation de l'ONERA



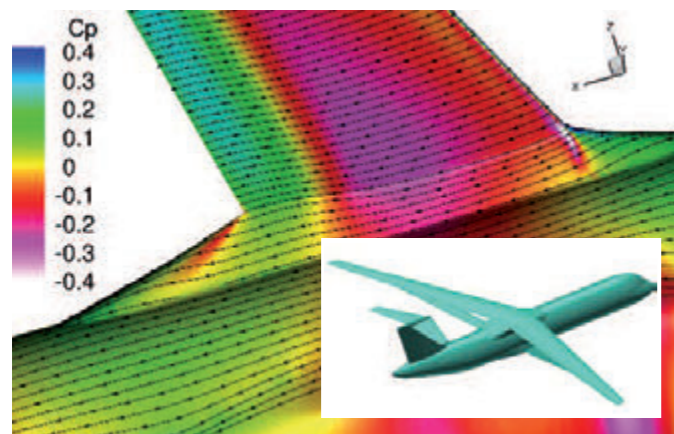
L'ONERA a fait l'acquisition d'un nouvel équipement qui étend les capacités de sa tour d'atomisation : un nouvel inducteur, pour atomiser de plus grands barreaux d'alliages métalliques (jusqu'à environ 75 mm de diamètre), ce qui accroît la variété des cas traités pour mieux répondre au client. Un gain de temps et de précision est observé. Les inter-comparaisons avec d'autres installations de même type, pour mieux appréhender les facteurs d'échelle entre une tour R&D et une tour industrielle, sont facilitées.

## Optique adaptative | Une première mondiale en imagerie rétinienne

L'optique adaptative (OA) permet d'augmenter la qualité de l'imagerie médicale en compensant, en temps réel, les aberrations optiques (déformations) introduites par l'œil. La résolution des images reste toutefois limitée : afin de pallier les défauts et d'obtenir à la fois de la super-résolution et du sectionnement optique (isoler optiquement une couche de l'objet observé), l'ONERA a adapté la technique d'illumination structurée, développée initialement en microscopie, à un système d'imagerie rétinienne par OA installé à l'hôpital des Quinze-Vingts. Les résultats obtenus constituent la première démonstration mondiale. Cette technique permettra à l'ONERA d'obtenir prochainement une résolution des images rétiniennes au-delà de la limite théorique de la diffraction.







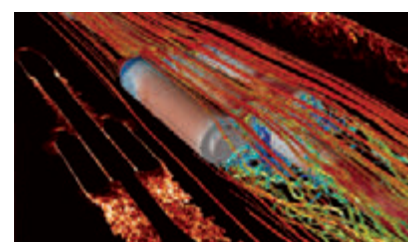
**Aérodynamique | Étude d'une nouvelle forme d'aéronef**

Dans le projet européen U-HARWARD, le savoir-faire de l'ONERA acquis depuis dix ans a été mis à profit : en 2010, l'ONERA a lancé un projet interne appelé ALBATROS (aile laminaire haubanée à traînée réduite par optimisation multidisciplinaire), dont le but était non seulement d'évaluer et quantifier les bénéfices potentiels de la voilure à fort allongement haubanée, mais également d'identifier les points critiques. Des études haute-fidélité aux niveaux aérodynamique et structure ont été complétées par des analyses aéroélastiques et des simulations pour évaluer les qualités de vol. Une analyse globale a permis d'identifier une réduction potentielle de 7 % au niveau de la consommation de carburant par rapport à une architecture classique.

**Métrologie en soufflerie | Une avancée en matière de mesure de pression**



La mesure par PSP (peinture sensible à la pression) permet d'obtenir la distribution de pression à la surface d'une maquette testée en soufflerie. En s'appuyant sur des développements optiques récents (illumination par LED et caméra à faible bruit), une nouvelle méthode vient d'être développée : elle présente le double avantage d'employer une peinture de formulation plus simple et de nécessiter un traitement d'images moins complexe. Appliquée sur un cas-test d'interaction onde de choc-couche limite transsonique à Mach 1,2, cette technique, va progressivement voir son emploi se développer.



**Simulation numérique | Maîtrise de la complexité géométrique de l'arrière-corps fusée**

L'ONERA a réalisé, sous contrat CNES, des simulations numériques ZDES (*Zonal Detached Eddy Simulation*) massives autour du prototype PPH du lanceur Ariane 6, pour prendre en compte la complexité géométrique du prototype, l'ONERA a mis en œuvre avec succès la stratégie numérique développée pour Ariane 5). Les résultats complémentaires des calculs et des essais ont révélé un changement inattendu de phénoménologie. La stratégie ZIBC, qui s'avère être une méthode performante pour prévoir les efforts stationnaires et le chargement dynamique sur les lanceurs spatiaux, sera utilisée pour les lanceurs réutilisables tels que CALLISTO, THEMIS, ARIANE NEXT ou encore ARIANE ULTIMATE.

**Drone | Un nouveau SAR drone-compatible, plus léger et plus agile**

SARLight, une charge utile légère d'imagerie radar SAR sur drone, destinée à la recherche, fait désormais partie du projet interne CARACAS (capteurs radar compacts pour applications sur drones légers). Une première version de SARLight a été testée lors d'une campagne d'essai fin septembre 2020. Ces vols ont permis d'identifier les améliorations à apporter pour arriver à un véritable moyen de mesure. Grâce à son faible encombrement et à sa légèreté, ce capteur résolument innovant autorise de nouveaux types de trajectoires et de mesures, et ouvre de nouvelles possibilités, en priorité pour la recherche, avec un potentiel applicatif civil et militaire. Le principal atout sera le coût de mise en œuvre du capteur qui ouvrira l'accès de cette technologie de télédétection à de nouveaux marchés.



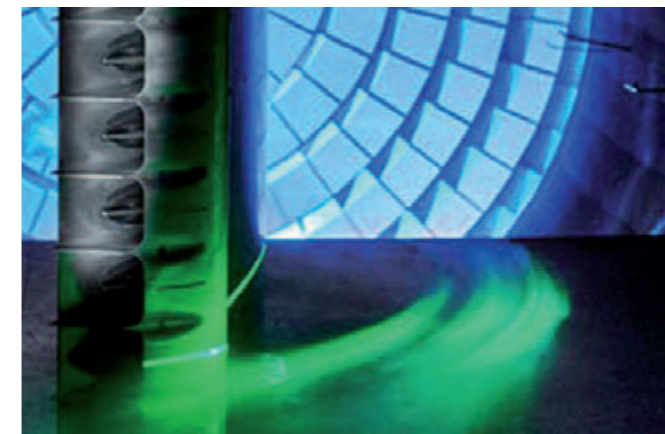
**Turbomachines | Une meilleure tenue à l'oxydation des matériaux intermétalliques**

Dans un contexte d'allègement des structures de turboréacteurs et d'augmentation des températures de fonctionnement dans le moteur, le projet POTENTIEL visait à améliorer la tenue à l'oxydation des alliages aluminures de titane. Ces matériaux sont de plus en plus incontournables pour la gamme de température 650-850 °C, mais ils s'oxydent à ces très fortes températures et deviennent corrosifs. L'ONERA a ainsi conçu et caractérisé des revêtements protecteurs plus performants, en utilisant la technologie des poudres, pour ajuster la composition.

**Aérodynamique | Mieux analyser le décrochage**

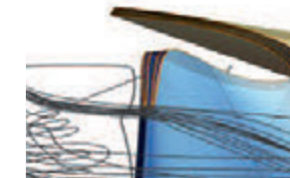


Une campagne d'essai, dont l'objectif était d'établir une base de données expérimentale de décrochages destinée à valider les capacités des méthodes numériques à prévoir ce phénomène, vient de s'achever dans la soufflerie F2 du Fauga Mauzac. La banque de données pour chaque type de décrochage permettra une meilleure compréhension du phénomène sur les ailes d'avion. Cette campagne expérimentale a été menée dans le cadre des projets de recherche PANDA (prévision et analyse du décrochage des ailes) et ARENE (assimilation de données pour la reconstruction d'écoulements numériques et expérimentaux).



**Aéroélasticité | Simulations avancées d'un élément de moteur**

L'ONERA a analysé pour la première fois le comportement aéroélastique d'un compresseur centrifuge SAFRAN HE en modélisation 360° sur l'ensemble de ses canaux avec la prise en compte de l'environnement multi-étage. Ces simulations aéroélastiques avec le solveur CFD elsA ont permis d'évaluer l'amortissement aérodynamique critique pour un ensemble de modes de vibration du compresseur, et de mettre en évidence la sensibilité de cet amortissement à la température extérieure (observée en essais).

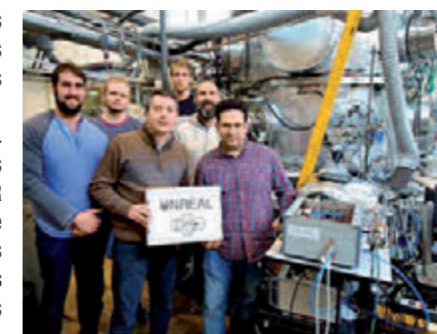


**Aérodynamique | Essai en soufflerie de voilures à propulsion électrique distribuée**

Le projet de recherche BLISARD (*Boundary layer ingestion and aerodynamic design*) étudie différentes configurations aéropulsives réparties avec ingestion de couche limite (donc potentiellement enfouies). Les essais menés dans la soufflerie L1 de l'ONERA Lille visaient à quantifier les gains et pertes potentiels associés à une telle architecture, et à mettre en évidence les phénomènes et paramètres clés nécessaires à son intégration sur un aéronef. Les ingénieurs ont analysé les coefficients aérodynamiques de la voilure (portance, moment, traînée), autour du décrochage à basse vitesse, mais aussi au-delà du décrochage, afin de savoir si une telle configuration était possible. La complexité de l'intégration de l'ensemble des éléments constitutifs de la maquette et de l'instrumentation embarquée est une prouesse technique.

**Chimie | Analyse des émissions polluantes**

L'ONERA analyse les émissions de moteurs utilisant différents types de carburants, en particulier les biocarburants. Des essais conduits pour le projet ANR UNREAL ont permis de simuler les processus de vieillissement des émissions de différents carburants dans l'atmosphère. Principaux objectifs : étudier la formation de particules volatiles dans les gaz d'échappement du moteur et leur lien éventuel avec la composition du carburant, établir un protocole d'échantillonnage pour leurs mesures pouvant être utilisées dans les processus de certification, et déterminer l'impact de la composition chimique du carburant sur leurs propriétés physico-chimiques. Le générateur CAST de l'ONERA a été utilisé ainsi que la chaîne de mesure CESAR, permettant la caractérisation des particules ultrafines.



**Communication haut débit | Plateforme d'expérimentation améliorée**

Les développements de l'industrie pour les véhicules intelligents ou autonomes impliquent des besoins accrus en matière de communication haut débit. Pour cela, la caractérisation du canal de propagation mobile est essentielle, et l'ONERA a renoué en profondeur la plateforme PROMOLAB (*Propagation Mobile Lab*). Munie d'une nouvelle chaîne de numérisation large bande, elle permet désormais de réaliser des acquisitions entre 9 KHz et 6 GHz. Avec la participation du CNES déployant son propre système de réception SIMO à bord de PROMOLAB, l'ONERA a réalisé plusieurs dizaines de minutes d'acquisition lors d'un parcours comportant du mobilier urbain (bâtiments, panneaux, lampadaires) et des arbres. Après analyse des données, les résultats seront confrontés aux modèles développés par l'ONERA.

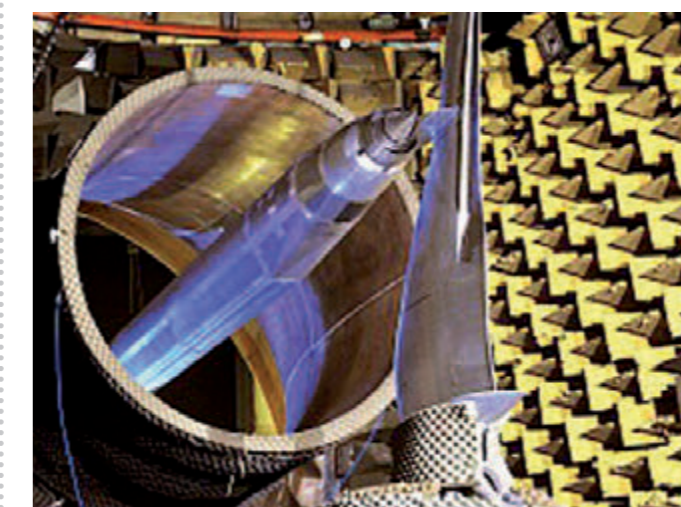
**Drones | Clôture de l'étude ERA de standardisation des drones européens**



Le projet ERA (*Enhanced RPAS Automation*) de l'European Defence Agency (EDA), lancé en 2016, s'est achevé en septembre 2020 : il a contribué à l'établissement

de normes industrielles constituant la base technique et procédurale pour la certification en Europe de certaines fonctions drones : décollage et atterrissage automatiques, auto-taxi, automatisme et récupération d'urgence des drones en suivant le processus de normalisation de l'EUROCAE (*European Organisation for Civil Aviation*) et en impliquant une plus large communauté de parties prenantes, notamment l'AESA (Agence européenne de la sécurité aérienne)... L'ONERA a directement participé à l'élaboration des normes et a contribué aux démonstrations en fournissant des logiciels de fusion de données et de pilotage-guidage.

**Aéroacoustique | La qualité des mesures encore améliorée à CEPRA19**



Pour répondre aux demandes des industriels, l'ONERA a choisi de capitaliser sur CEPRA19 et d'améliorer la qualité des mesures. Les améliorations apportées à l'installation, telles que l'anechoïcité de la chambre de mesure, la réduction du bruit du simulateur de jet ou encore le positionnement de la voilure par rapport à la tuyère, permettront de reproduire les conditions de vol pour les moteurs UHBR (*Ultra High Bypass Ratio*) des futures générations d'aéronefs. CEPRA19 est à présent capable de mesurer de faibles niveaux de bruit de jet. En 2020, des tests réalisés pour Airbus et Safran Aircraft Engine ont permis les constats suivants : le bruit d'interaction jet/voilure se caractérise par une composante localisée au bord de fuite du volet qui domine très largement les autres sources en basses voire moyennes fréquences.



# Les systèmes de défense de demain

Si l'ONERA se positionne aujourd'hui en acteur majeur dans la préparation d'une aviation civile plus verte, l'Office se consacre toujours pleinement à sa mission originelle : préparer les systèmes de défense, aéronautiques et spatiaux, des forces armées françaises. Expert étatique, l'ONERA est soutenu par sa tutelle pour conduire les études et recherches nécessaires au maintien de la supériorité opérationnelle de nos armées.

## Dissuasion : le fruit des recherches amont pour accompagner l'État et les industriels

**Balistique ou aéroportée, quelle que soit la composante, l'ONERA s'appuie sur un potentiel de recherche développé depuis plusieurs décennies pour servir la dissuasion.**

### ASMPA rénové

Le 9 décembre 2020, le premier tir du missile air-sol moyenne portée amélioré rénové (ASMPA-R) a été réalisé avec succès. Aux côtés de la Direction générale de l'armement (DGA) et des industriels, l'ONERA y a largement contribué. En effet, depuis la création de la composante aéroportée, l'Office est associé aux réflexions sur les vecteurs haute vitesse, notamment pour améliorer les performances et proposer de nouveaux compromis vitesse/furtivité. Au travers de ses programmes de recherche, il accompagne l'industriel sur les étapes de démonstration sol et vol, permettant de préparer le renouvellement de la composante : essais dans les bancs de Palaiseau et essais en soufflerie dans les installations de Modane, perpétuellement maintenues à leur meilleur niveau. Le développement des codes de calcul est également un atout fort de l'ONERA : ces codes permettent de prédire finement l'ensemble des conditions de fonctionnement des systèmes aéropropulsifs qui devront fonctionner dans un domaine de vol de plus en plus large.



DGA Essais en vol

### Quarante ans de recherche sur les statoréacteurs

Dans les années 80, l'ONERA développait déjà la technologie des statoréacteurs pour propulser l'ASMP, premier missile de croisière stratégique aéroporté français. Ce vecteur, remplacé ensuite par une version améliorée, l'ASMPA, est en cours de rénovation. Sur toute la période, l'ONERA a accompagné l'industriel par ses travaux de recherche pour évaluer des options technologiques nouvelles, puis en intervenant comme expert étatique lors des phases de développement. Aujourd'hui, l'ONERA continue à préparer l'avenir avec des bancs d'essai simulant au sol la propulsion d'engins jusqu'à Mach 8 (super-statoréacteurs), et, bien sûr, des simulations numériques toujours plus prédictives.

### Expertise balistique

Le 12 juin 2020, le tir réussi du missile stratégique M51 (sans charge nucléaire) mettait à nouveau en évidence le savoir-faire français.

À cette occasion, la contribution de l'ONERA a été soulignée par la DGA. En effet, l'ONERA est engagé sur le long terme dans des études amont pour développer et maintenir ses compétences en parallèle des développements industriels, afin de les accompagner sur les programmes. Ces études concernent de nombreux sujets : aérodynamique, énergétique, électromagnétisme, matériaux... avec une action particulièrement forte dans le domaine de la propulsion solide et le développement/la validation du code CEDRE.

Lors des tirs, l'ONERA intervient régulièrement sur la sécurité foudre. Concernant le dernier tir, l'Office a participé aux mesures réalisées avec le démonstrateur de radar sol très longue portée (DR TLP) développé conjointement avec la société Thales. Enfin, l'ONERA prépare un nouveau moyen aéroporté pour réaliser des observations encore plus fines des essais en vol.



DGA Essais de missiles



## Technologie quantique pour le ministère des Armées

La DGA a notifié à l'ONERA, le 29 septembre 2020, un marché de 13 M€ pour le développement et la fourniture de gravimètres interférométriques de recherche à atomes froids embarquables (GIRAFE) sur navires, et destinés à être exploités par le Service hydrographique et océanographique de la Marine nationale (SHOM).

Grâce à la subvention accordée par le ministère des Armées, l'ONERA a investi, il y a plus de quinze ans, le domaine de la gravimétrie atomique, et a bénéficié de contrats d'études amont de la DGA depuis 2006. Ces investissements ont contribué à développer un démonstrateur de gravimètre marin absolu à atomes froids, ayant pour principal intérêt de permettre aux navires d'opérer de façon autonome, sans avoir la nécessité de régulièrement calibrer leur système de navigation à quai ou en mer, comme cela est le cas pour les systèmes relatifs conventionnels. Sa technologie novatrice et quantique rend par ailleurs cet équipement beaucoup plus précis que les systèmes conventionnels actuellement en service. Le démonstrateur GIRAFE avait été présenté au Forum DGA Innovation de 2016.



F. Sauret / Marine nationale

## Surveillance de l'espace : les performances du système GRAVES améliorées

Dans le cadre de la rénovation en cours du système GRAVES, la DGA a qualifié en octobre 2020 le premier *shelter* d'émission rénové. Après la rénovation du site de réception en 2019, cette qualification marque le franchissement

d'une étape importante du programme de rénovation du système de surveillance spatial français. La DGA a fait le choix de l'option de rénovation la plus ambitieuse. Cette modernisation permettra de détecter en orbite basse des satellites toujours plus nombreux et de taille de plus en plus réduite. Une fois sa rénovation achevée, GRAVES pourra notamment détecter des microsatellites jusqu'à 1 000 km d'altitude. Par ailleurs, l'étude d'un dispositif innovant d'amélioration de la précision des orbites fournies par GRAVES est également lancée. Ces travaux de rénovation sont réalisés de façon incrémentale pour préserver la continuité du service opérationnel assuré par le système GRAVES au profit de l'Armée de l'air et de l'espace.

### Qu'est-ce que GRAVES ?

GRAVES, acronyme de Grand réseau adapté à la veille spatiale, est un système de surveillance de l'espace (orbites basses) dont la mission principale est la tenue de la situation spatiale, qui contribue au renseignement militaire. Unique en Europe, il est le seul système opérationnel capable d'assurer de façon autonome la détection et le catalogage des objets spatiaux jusqu'à une altitude de 1 000 km.

Sirpa Air / Anthony Jeuland

## La multidisciplinarité des équipes de l'ONERA au service de la Défense



### Optronique : mesures de signatures spectrales au profit de la DGA

Dans le cadre du projet DIMHS (démonstrateurs d'imagerie multi/hyperspectrale), l'ONERA a réalisé, au mois de juillet 2020, une campagne de mesures de signatures spectrales de différents types d'engins militaires au CEAM et au musée des blindés à Saumur. Ce projet, en co-traitance ONERA/OPTROLEAD (SAFRAN Electronics & Défense et Thales Land & Air Systems), a pour objectif de définir les configurations multispectrales les plus performantes pour différents scénarios militaires d'intérêt, de quantifier l'apport de l'imagerie multi/hyperspectrale par rapport aux techniques conventionnelles, et de réaliser des démonstrateurs.

### Intelligence artificielle : un planificateur d'action pour l'aviation de combat

Fin septembre 2020, l'ONERA a présenté une synthèse des travaux et des résultats de l'étude « planificateur d'actions » à la DGA et à Dassault Aviation. Réalisée dans le cadre du programme d'études amont *Man Machine Teaming*, ce projet a permis à l'ONERA de concevoir et d'implémenter un module de planification d'actions *Action Plan Manager* pour l'aviation de combat. Ce module élabore les actions que le système doit réaliser pour satisfaire des objectifs. Il choisit également, pour chaque action à mener, le type de ressources à utiliser et les paramètres spécifiques à celles-ci. Ce module sera intégré à une architecture décisionnelle qui affectera les actions aux différentes plateformes et calculera leurs trajectoires.

### Détection de gaz : participation à une campagne de l'Armée de terre

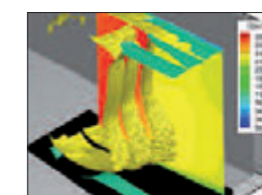
En octobre 2020, l'ONERA a participé à une campagne au profit de l'Armée de terre dans le but d'acquies des données sur des gaz d'intérêt et de montrer l'apport des capteurs multi-spectraux pour répondre aux besoins de la détection NBC. Cette campagne a été l'occasion de présenter l'instrumentation ONERA. Fort de son expertise en détection de gaz acquise lors de projets pour l'industrie civile, l'ONERA a déployé cinq instruments : l'une des caméras a permis de montrer la facilité de mise en œuvre, la fiabilité et les performances de détection des moyens développés par l'Office (les produits ont été épanchés en faible quantité). Pour faciliter la mise en œuvre, l'ONERA a développé des outils *quick look* permettant l'observation rapide des panaches de gaz signant dans les bandes spectrales des caméras.



### Imagerie SAR : campagne de détection réussie pour le renseignement militaire

L'ONERA a mené avec succès plusieurs campagnes d'essais pour évaluer les capacités d'un système d'imagerie SAR aéroporté basses fréquences permettant la détection d'objets enfouis et de cavités sous-terraines. Le recueil des données a permis de modéliser la scène et d'extrapoler des scénarios opérationnels. Ces campagnes s'inscrivent dans le cadre de l'étude DHSS (Détection d'hétérogénéités dans le sous-sol) menée pour la DGA, et intéressent les organismes en charge du renseignement militaire. Elles se sont déroulées sur leur site, dont la nature du sol se rapproche de celui du Sud Sahel (sable fin), et dans une galerie souterraine. Grâce à la plateforme SAR SETHI de l'ONERA, et en particulier ses capteurs basses et hautes fréquences à polarisation complète, la zone des cibles a été imagée sous différents angles. Une équipe ONERA était également présente pendant les vols pour gérer l'étalonnage des instruments, piloter l'essai avec la DGA, et mesurer l'humidité du sol et les constantes diélectriques. Les mêmes mesures ont été réalisées à différentes saisons afin d'évaluer l'impact des variations climatiques. Ces campagnes sont indispensables pour spécifier les performances de détection d'un futur système opérationnel.

### Aérodynamique : des avancées décisives pour les entrées d'air supersoniques



Le projet de recherche OPOSSUM, dédié à l'aérodynamique des entrées d'air des avions de combat, a conduit à des résultats importants, dont l'utilité est indéniable pour le programme FCAS (*Future Combat Air System*), dans lequel l'ONERA est impliqué depuis son lancement. Au-delà de la montée en maturité des technologies des différentes méthodes, expérimentales et numériques, il faut retenir l'importance de la modélisation : une modélisation ZDES plus fine, gain très important en temps de calcul, et une innovation en matière de contrôle d'écoulement et de techniques de métrologie. À retenir également : l'analyse de stabilité est devenue incontournable pour la prévision de la limite de pompage des entrées d'air supersoniques. Elle fournit des informations essentielles sur les fréquences et structures spatiales des modes instables de l'écoulement.



# L'ONERA, acteur clé dans la préparation d'une aviation décarbonée

**Le plan de relance aéronautique apporte à l'ONERA des moyens indispensables à la préparation de l'aviation verte à l'horizon 2035. Cette annonce constitue une formidable accélération pour l'ONERA, déjà pleinement engagé sur le sujet de la décarbonation. Modernisation des moyens expérimentaux en combustion et métrologie, amélioration des capacités des souffleries, recherches sur l'impact climatique de l'aviation, développement de nouvelles méthodes de modélisation : autant de domaines inter-disciplines qui positionnent l'ONERA comme un acteur incontournable du virage environnemental.**



## Projet européen IMOTHEP : l'ONERA chef de file

En janvier 2020, la Commission européenne a sélectionné, dans le cadre d'Horizon 2020, le projet d'étude de la propulsion hybride électrique IMOTHEP, coordonné par l'ONERA. Composé d'un consortium de 33 acteurs clés du secteur, il conduira une étude approfondie des technologies électriques pour la propulsion hybride électrique des avions commerciaux, en relation étroite avec la conception de configurations innovantes développant de nouvelles synergies entre cellule et propulsion. Une problématique commune à tous ces projets est la maîtrise des risques liés à la multiplication des câblages pour le transport de courant de forte puissance : les phénomènes de compatibilité électromagnétique ou encore d'échauffement des câbles sont des thématiques que l'ONERA étudie, grâce aux conventions de recherche financées par la DGAC.

### La preuve par la stratégie

Le plan de relance aéronautique ne modifie pas les grands axes stratégiques de l'ONERA : le programme 2020 comprenait environ 40 % des recherches liées – de près ou de loin – à la thématique environnementale. Ainsi, trois axes forts de la feuille de route scientifique et technologique de l'ONERA, parue en 2019, déclinent cette ambition.

- Axe 1 : Nouvelles générations d'aéronefs pour le transport civil
- Axe 2 : Réduction de l'empreinte environnementale du transport aérien
- Axe 3 : Efficacité, sécurité et certification du système de transport aérien

## Décarboner le combustible : le projet ENERGIA

Le projet ENERGIA vise à faire le point sur les filières de production des carburants alternatifs : biocarburants, carburants de synthèse (*power-to-liquid*) et hydrogène. Piloté par l'ONERA avec Airbus, Safran et Dassault, le projet permettra de connaître les perspectives de production, la durabilité et les aspects économiques. L'expérience de l'ONERA dans le domaine des carburants de synthèse durables réside dans la caractérisation de leurs propriétés physico-chimiques afin d'assurer leur compatibilité avec une utilisation à 100 % sans modification des avions actuels. Aujourd'hui, le projet JETSCREEN, financé par l'Europe et démarré en 2017, a précisément pour but d'établir un lien entre la composition chimique et le comportement du carburant. Dans un autre domaine, celui de la certification, l'ONERA participe au projet européen ALTERNATE (2020-2022), en collaboration avec la Chine.



### Des moyens d'essais adaptés

Pour apporter des réponses aux besoins des motoristes et mener les recherches indispensables à la compréhension de la combustion dans les foyers aéronautiques, l'ONERA dispose de moyens expérimentaux très spécifiques et de techniques de mesure extrêmement pointues : bancs M1 et MICADO en Île-de-France pour les essais d'injecteurs et de secteur de chambre, bancs MERCATO et LACOM en Occitanie pour les essais d'allumage et d'atomisation. La combinaison calcul-expérience sera en outre un élément important pour se doter de capacités de prédiction du comportement des nouveaux combustibles (carburants de synthèse) à partir de leur composition.

## Projet E2IM : tester en soufflerie est également indispensable



Le projet E2IM – étude de concepts innovants pour l'intégration motrice – consiste à tester en soufflerie, et par simulation numérique, un concept d'avion avec un positionnement différent des moteurs par rapport au reste de la structure. L'idée : mieux intégrer le moteur dans les ailes ou dans le fuselage. Quel sera l'écoulement de l'air autour de l'aéronef ? Les entrées d'air seront-elles adaptées pour un bon fonctionnement du moteur ? Quel est le gain de traînée en résultant ? Pour répondre à ces questions, l'expérimentation est indispensable. En 2020, la grande soufflerie de Modane a accueilli une première série d'expérimentations.



## L'ONERA sur la piste de l'hydrogène

Les avantages de l'hydrogène comme combustible sont nombreux : disponibilité de la ressource (production à partir de l'électrolyse de l'eau ou de l'oxydation de la biomasse), faible densité massique (réduction de la masse de carburant à embarquer), bilan carbone extrêmement faible (rejet de vapeur d'eau en sortie moteur)... Mais il présente un certain nombre d'inconvénients, dont le principal est sa très faible densité énergétique volumique, qui implique une utilisation sous forme d'un liquide cryogénique (-252,85 °C). Cela entraîne de multiples défis à surmonter, le premier étant celui de la conception d'un avion avec des réservoirs quatre fois plus volumineux, et donc plus difficiles à loger, ce qui nécessite de revoir les configurations des avions, thème sur lequel l'expérience des équipes pluridisciplinaires de l'ONERA est mondialement reconnue.



## Configurations d'avions innovantes : des pistes creusées depuis de nombreuses années

La configuration d'aile volante, déjà étudiée par l'ONERA dans son projet de recherche CICA (conception intégrée d'une configuration d'aile volante), pourrait être une alternative très intéressante aux configurations *tube & wings* pour un futur avion à hydrogène. Le stockage cryogénique appelle de nouvelles recherches sur les matériaux constitutifs des réservoirs, ces derniers devant combiner légèreté, tenue aux contraintes thermomécaniques (accentuée dans le cas de réservoirs structuraux), résistance aux impacts et durée de vie compatibles avec une utilisation aéronautique ; thèmes dans lesquels l'ONERA possède de solides compétences.

**L'**aviation verte se prépare en menant des projets de recherche essentiels pour la maturation des technologies en soutien aux industriels du secteur aéronautique. En 2020, l'ONERA y a pleinement contribué par ses recherches amont ou appliquées en faveur de l'environnement, la sécurité et la performance.

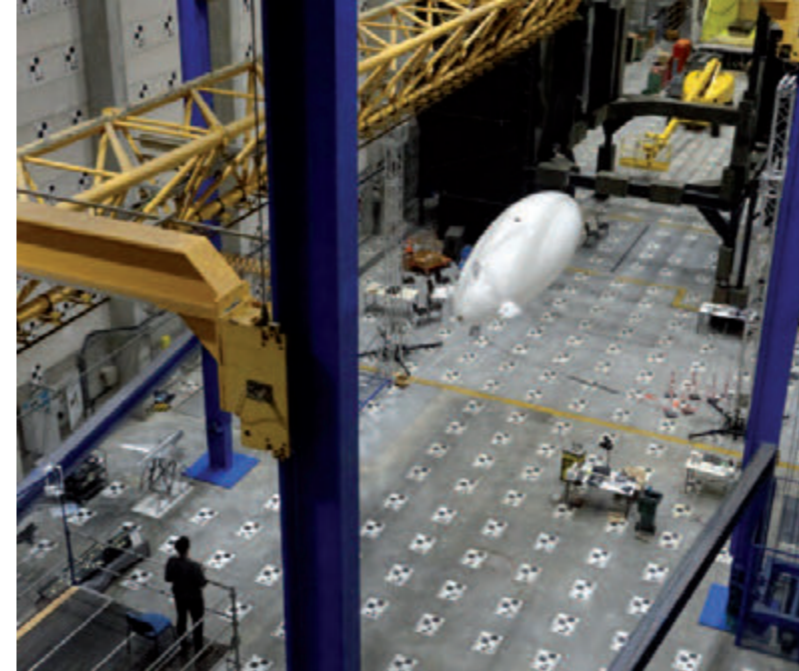
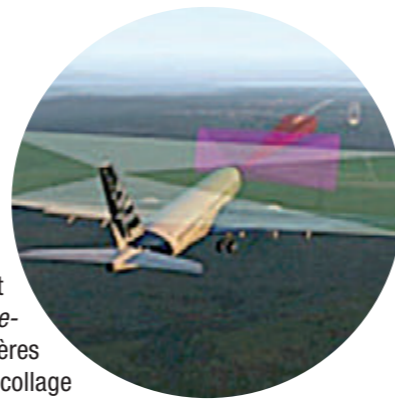
## Aérodynamique : des actionneurs électro-actifs pour améliorer l'aérodynamisme



Pour le projet européen *H2020 Smart Morphing and Sensing*, des tests en soufflerie ont montré une amélioration significative des performances aérodynamiques d'un ensemble aile-volet grâce à la déformation du volet à l'aide d'actionneurs électro-actifs innovants (augmentation de la portance, et réduction de la traînée et du bruit). Après analyse du champ de pression, l'ONERA a synthétisé des lois de commande pour optimiser les caractéristiques de ces vibrations. Les efforts extérieurs ont été modélisés. L'ONERA a également synthétisé une loi de commande de la cambrure optimale pour contrer les efforts extérieurs. Les résultats obtenus en soufflerie ont montré une amélioration de l'aérodynamisme de l'appareil.

## Autonomie : une première mondiale en aéronautique civile

L'ONERA a contribué au projet ATTOL (*Autonomous Taxi, Take-Off and Landing*) : les premières campagnes d'essais de décollage autonome basé vision réalisées sur l'A350-1000 d'Airbus. Un décollage, sans utilisation de l'ILS ni du GPS, a été réalisé à plusieurs reprises. L'ONERA a contribué au développement de l'algorithme de fusion de données, qui élabore le signal de déviation à l'axe de piste, nécessaire au contrôle de l'avion, à partir des informations visuelles issues de la caméra et inertielle provenant des centrales à bord de l'appareil. Ainsi, contrairement aux systèmes actuels dont les signaux se trouvent hors de l'appareil, ceux-ci se trouvaient embarqués, d'où la qualification d'un « système autonome ».

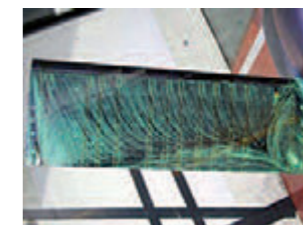


## Dirigeables : des essais pour sécuriser le vol en cas de fortes turbulences

L'ONERA mène des recherches sur l'un des points sensibles des dirigeables : le vol en atmosphère turbulente. Ces travaux visent à élaborer des modèles, valider les outils de simulation numérique et améliorer les simulateurs de vol. Ils s'appuient sur des tests en soufflerie en vol libre. Une nouveauté : faire passer un dirigeable aux dimensions réduites (maquette de 5 m de long) dans des rafales de vent calibrées, et mesurer ses paramètres de vol (trajectoire, changements d'altitude). L'ensemble est complété par un système de trajectographie optique. Ces travaux sont réalisés avec la société Flying Whales dans le cadre du développement du dirigeable porteur de charges lourdes LCA60T.

## Drones : essais pour améliorer la sécurité

L'objectif de la campagne de largages de drones à la tour de crash de Lille était de mesurer les vitesses de drones en chute libre. Deux drones ont été largués à différentes altitudes et suivant des orientations différentes. Les résultats ont permis de constater que le critère de premier ordre pour la prise de vitesse est la masse, l'orientation se révélant moins influente. L'étude démontre qu'il sera nécessaire de prendre en compte la variabilité de vitesse d'un drone due à son orientation pour caractériser les dommages possibles qu'il peut causer en cas d'accident. Cette campagne s'inscrit dans la convention DGAC GIS (*Ground Impact Study*), qui a pour but de proposer de nouvelles méthodologies pour améliorer les critères de sévérité d'impact de drones sur personnes au sol.



## Transsonique : mieux comprendre le tremblement

L'ONERA vient de terminer les essais du projet BOEING (*Buffet On swept wing*) dans la soufflerie S3Ch de Meudon. L'objectif : comprendre le tremblement transsonique, un phénomène aérodynamique instationnaire, qui peut provoquer des vibrations et limiter le domaine de vol d'un aéronef. En métrologie, la technique de mesure optique PSP (peinture sensible à la pression) permettant de mesurer le champ de pression instationnaire, grâce à l'utilisation de caméras à haute cadence, a été mise en œuvre. La base de données obtenue permettra d'expliquer les aspects les plus complexes du tremblement, notamment sur des configurations industrielles.



## Atterrissage d'urgence : analyser l'abrasion des matériaux en contact avec la piste

L'ONERA a développé, dans le cadre de la convention DGAC PHYSAFE, et plus particulièrement d'une thèse en collaboration avec le LaMcube, des expériences pour connaître le comportement des matériaux lorsqu'ils entrent en contact avec une piste d'atterrissage, un sujet encore jamais traité dans le monde. L'un des enjeux est de mieux comprendre l'usure et l'échauffement induits par frottement de matériaux avec une piste, lors de situations d'atterrissages forcés, pour éviter des scénarios catastrophiques de ruine structurale (déchirures massives) ou d'incendie (zones réservoirs).



## L'ONERA et le CNES renforcent leur coopération

Partenaires historiques, ils mobilisent leurs compétences pour les nouveaux enjeux du secteur – lanceurs, satellites et usages des données issues du spatial – en intégrant les évolutions récentes du domaine (stratégie spatiale de défense du ministère des Armées, politique spatiale européenne...). Le nouvel accord-cadre signé par les présidents Jean-Yves Le Gall et Bruno Sainjon en octobre 2020 renforce cette coopération, en particulier à travers la création d'un comité exécutif.

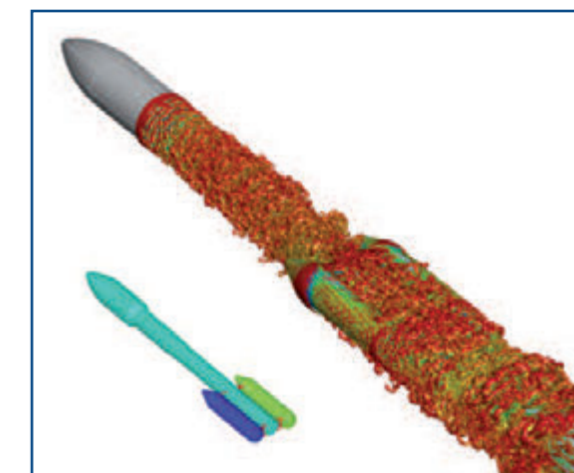
L'accord-cadre couvre le domaine « Environnement spatial » et plusieurs programmes d'intérêt commun (PIC). Le PIC PERF2, signé en janvier 2020, fait suite au PIC PERF (propagation électromagnétique radio-fréquence), et structure la R&D commune pour cinq ans (campagnes expérimentales et modélisations du canal de propagation sol-satellite). PERF2 fait suite au PIC MATEO sur les communications optiques et au PIC C3PO sur la combustion cryotechnique oxygène/méthane. Il précède la signature de deux nouveaux PIC en 2021, sur la commande des systèmes orbitaux et sur la rentrée atmosphérique des débris spatiaux.



Signature du PIC PERF2 par Jean-Claude Souyris, directeur adjoint de la DIA au CNES, et Franck Lefèvre, directeur technique général de l'ONERA.

### Ariane 6 : méthode innovante de simulation numérique des phénomènes complexes

L'ONERA a réalisé, sous contrat CNES, des simulations numériques autour du prototype PPH du lanceur Ariane 6, qui a également été testé expérimentalement dans la soufflerie S2MA de l'ONERA. Afin de prendre en compte la complexité géométrique du prototype, liée aux protubérances de l'arrière-corps et aux bielles, l'ONERA a mis en œuvre avec succès la stratégie numérique innovante ZIBC (*Zonal Immersed Boundary Conditions*), qu'il a développée pour Ariane 5. Une analyse approfondie a permis d'identifier les propriétés aérodynamiques instationnaires. Cette stratégie numérique performante sera appliquée pour les lanceurs réutilisables tels que CALLISTO, THEMIS, ARIANE NEXT ou encore ARIANE ULTIMATE.



### Environnement spatial

Les ceintures de radiation imposent des règles de conception contraignantes et coûteuses pour les véhicules spatiaux. Dans un contexte de réduction des coûts, des modèles de spécification des ceintures de radiation de plus en plus précis sont requis : l'ONERA développe, avec le soutien du CNES, le modèle GREEN (*Global Radiation Earth Environment*), pour suppléer les modèles existants de la NASA datant des années 70-80. Il intègre une variation annuelle de l'environnement spatial qui suit le cycle solaire de onze ans.

La version GREEN-V4 de 2020 permet de calculer l'environnement radiatif moyen le long d'une orbite de satellite tout cycle solaire confondu, ainsi que l'environnement radiatif le plus dommageable le long d'une orbite de satellite lors d'un cycle solaire très actif. Un point crucial pour évaluer les marges et garantir le bon fonctionnement des systèmes spatiaux.



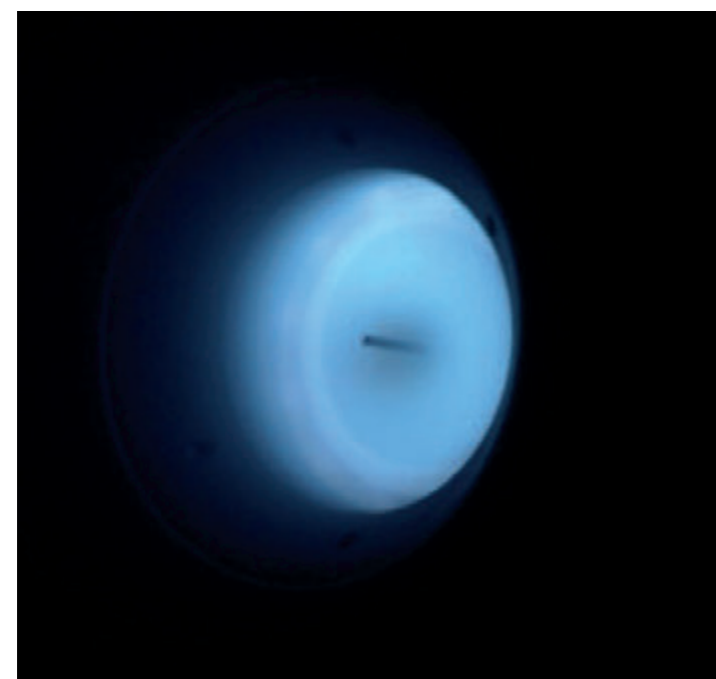
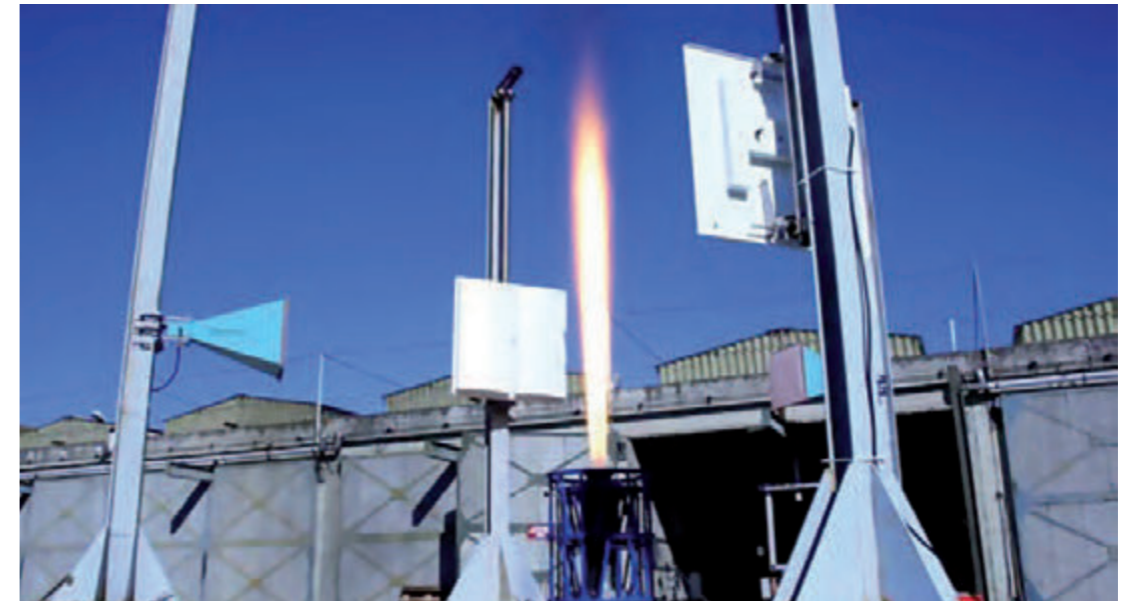


### Communication sol-satellite : projet H2020 VERTIGO

Le projet H2020 VERTIGO (*Very High Throughput Satellite-Ground Optical link*), d'une durée de trois ans, lancé en juin 2019 sous la responsabilité de Thales Alenia Space, a pour objectifs le développement et la démonstration de concepts destinés à accroître la capacité des liens *feeder* (liens de données de très haute capacité/très haut débit entre le sol et les satellites en orbite géostationnaire). Au sein d'un consortium européen, l'ONERA apporte son expertise du canal de propagation : en 2020, il a publié des modèles de perturbations typiques. Le projet VERTIGO doit se conclure en 2022 par une expérimentation ambitieuse de lien optique en environnement représentatif ; l'ONERA validera le système d'optique adaptative FELIN, le cœur de la future station sol optique *feeder* française, la station sol FEELINGS.

### Propulsion fusée : succès du 3<sup>e</sup> essai Propilex

Dans le cadre de la poursuite des deux essais Propilex menés sur contrat DGA en 2018-2019, le laboratoire de propulsion fusée a réalisé avec succès, en 2020, les troisième et quatrième tirs à feu, financés par l'ONERA. Ces essais avaient pour objectif de valider la faisabilité d'une mesure de signature radar en bande S et UHF dans le jet en sortie de tuyère du propulseur. La validation a été réalisée sur une composition de propergol solide spécifique. Les mesures ont été un véritable succès, avec des valeurs conformes aux prédictions. Par ailleurs, l'expérience a donné plusieurs diagnostics optiques, comprenant caméra rapide dans le visible, caméra rapide dans l'UV et caméra infrarouge, pour fournir une caractérisation avancée de la flamme.



### Satellites : succès de la technologie ECRA de propulsion électrique de l'ONERA

La dernière campagne d'essai du projet H2020 MINOTOR s'est achevée sur un beau succès. Ce projet européen, coordonné par l'ONERA, visait à développer une nouvelle technologie de propulsion électrique pour satellite, le propulseur ECRA (*Electron Cyclotron Resonance Accelerator*), breveté par l'ONERA. Du fait de sa simplicité, ce propulseur offre un avantage significatif par sa fiabilité et son coût, mais présente une physique très complexe à modéliser. Les verrous principaux à lever étaient l'efficacité et la durée de vie. Un prototype de 200 W a été conçu par l'ONERA et testé en 2020. Les résultats ont dépassé les attentes : efficacité du propulseur supérieure à 40 %, surpassant les performances des meilleurs propulseurs actuels, et durée de vie multipliée par quatre. Cela permet d'envisager des utilisations sur plusieurs milliers d'heures en vol, et donc un bel avenir pour cette technologie.



### Lanceurs réutilisables : validation d'un système SHM (*Structural Health Monitoring*)

Afin de permettre la réutilisation des lanceurs, l'ONERA explore leur instrumentation par des systèmes de surveillance de la santé structurale (SHM). Dans le cadre du projet Themis de l'ESA et de la plateforme d'innovation ArianeWorks, l'ONERA propose d'équiper le réservoir d'un démonstrateur de premier étage de lanceur par un réseau de capteurs (fibres optiques à réseaux de Bragg), destinés à mieux connaître les environnements de vol et la réponse structurale, et à détecter les éventuels endommagements. Des essais sur éprouvettes instrumentées ont d'abord visé à tester la tenue des capteurs en ambiance cryogénique. Puis, les données acquises par des jauges de déformation et des thermocouples ont permis de valider le protocole SHM.

Les derniers essais ont été menés en collaboration avec ArianeGroup. Le système SHM Ariane Works est aujourd'hui prêt à être installé sur le démonstrateur à l'échelle 1 de premier étage de lanceur réutilisable, Themis.



# Souffleries : l'oxygène vital de l'innovation aéronautique

**L**es souffleries de l'ONERA sont des moyens de conception dont un pays ayant des ambitions en aéronautique et spatial ne peut se passer : la subvention de 20 M€ du ministère des Armées pour traiter le problème des sols de S1MA et le prêt exceptionnel de 47 M€ pour financer une remise à niveau partielle des grandes souffleries démontrent l'importance stratégique de ces installations. Certains projets soutenus par le plan de relance aéronautique feront un très large usage des capacités exceptionnelles des souffleries de l'ONERA puisque, pour innover, il faut tester.

## Soufflerie S2MA : une installation adaptée à l'étude du supersonique

### Essais pour le jet d'affaires supersonique d'Aerion

Aerion a confié à l'ONERA les essais en soufflerie de son futur jet d'affaires supersonique AS2. La soufflerie S2MA, à Modane, est particulièrement bien adaptée, car elle permet d'explorer toute l'enveloppe opérationnelle de vol de l'appareil, et donc jusqu'au nombre de Mach de croisière de l'appareil. Cette soufflerie possède une veine aux dimensions d'environ 1,80 x 1,80 m, ce qui en fait un moyen capable d'accueillir des maquettes de dimensions intéressantes et représentatives.

Les essais confiés à l'ONERA ont porté sur les performances et les qualités de vol de l'avion, et plus précisément sur les mesures d'efforts, dont les six composantes sont la portance, la traînée, la force latérale et les moments de tangage, de lacet et de roulis.

La détermination précise de la traînée dans toutes les conditions de vol est un objectif majeur : c'est ce qui permettra *in fine* de déduire la consommation et la distance franchissable par l'appareil dans toute la gamme de vitesses.

La manœuvrabilité de l'avion a également fait l'objet d'une évaluation, en testant l'effet des gouvernes sur les grandeurs mesurées. Ce sont des « essais pesée » : une balance de mesure d'efforts est utilisée, placée à l'intérieur de la maquette de l'avion.



### Valider la signature d'avion supersonique à faible bang sonique

Dans le cadre du projet H2020 RUMBLE, dont l'ONERA est l'acteur central, des essais ont été réalisés en décembre 2020 pour caractériser les ondes et perturbations de pression générées par un avion en vol supersonique (phénomènes à l'origine du bang sonique ressenti au sol). Très spécifiques, ces essais utilisent des maquettes de très petite taille (20 cm de long) pour mesurer les perturbations de pression le plus loin possible de l'avion, sans être gêné par les interactions des ondes de choc avec les parois de la soufflerie. Un équipement de mesure a été spécialement développé : il consiste en un long rail très fin fixé sur la paroi latérale de la soufflerie et équipé à son sommet d'une cinquantaine de capteurs de pression instationnaire, qui permettent de mesurer les perturbations lorsque la maquette est déplacée dans la veine (robot motorisé). Le déplacement de la maquette et sa rotation permettent ainsi de caractériser la signature de pression, une donnée essentielle pour prévoir le bang sonique au sol, après propagation dans l'atmosphère. La maquette testée correspond à un concept de démonstrateur d'avion supersonique à faible bang, entièrement conçu dans le cadre du projet RUMBLE.

## Soufflerie S1MA : tester les futures configurations de moteurs

Dans le cadre du projet d'amélioration des installations financé à 50 % par le plan ATP et à 50 % par la convention DGAC FUTUR S1, la soufflerie S1MA se dote de nouvelles capacités. Le but : tester les futures motorisations, plus « vertes ». En effet, les contraintes environnementales poussent les industriels à repenser l'architecture des aéronefs et l'intégration des moteurs. L'ONERA se prépare ainsi à mener les expérimentations aéroacoustiques nécessaires à l'évaluation de nouveaux concepts de moteurs, dont les moteurs de type UHBR. Ces améliorations permettront de tester des machines tournantes sur une très large gamme de nombre de Mach, grâce notamment à une puissance motrice très importante (environ 5 MW). Elles permettront également, en raison de la proximité immédiate du banc d'essai moteur avec la veine, d'enchaîner la mise au point des machines, et des essais divers (très basse vitesse et jusqu'au nombre de Mach de croisière). Le financement de ces améliorations par les instances institutionnelles souligne le caractère essentiel des installations de l'ONERA pour dessiner le ciel de demain.



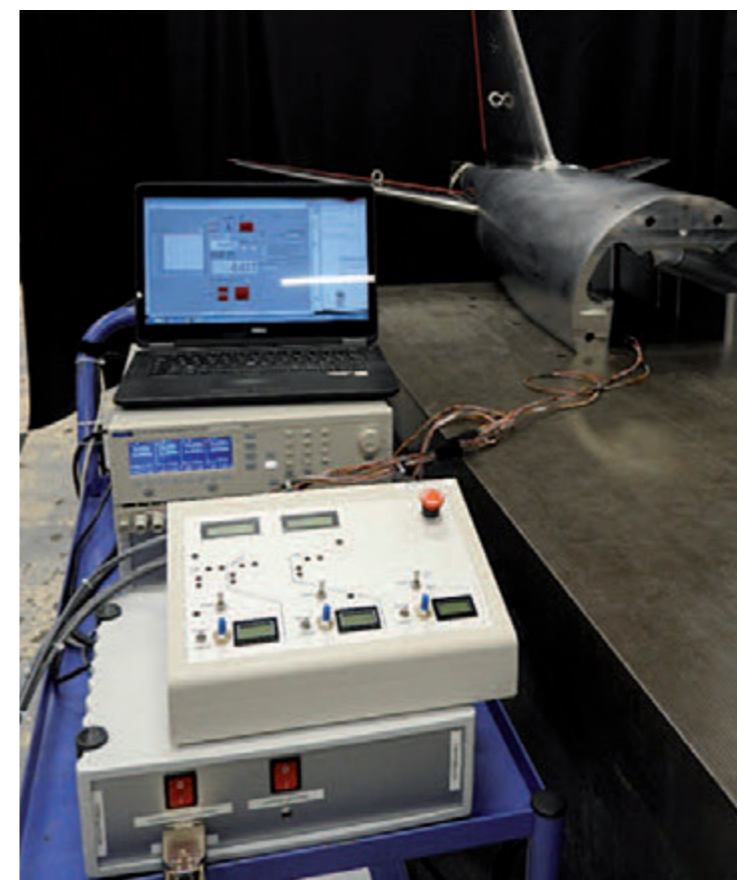
## Les travaux de remise à niveau se poursuivent

Outre les actions d'amélioration des installations, le plan ATP permet la maintenance de certaines souffleries. La partie amont de la veine de la soufflerie F1 a fait l'objet d'une rénovation complète à l'automne 2020, permettant de corriger des défauts d'étanchéité. La conception de cette modification et le chantier de mise en place ont été effectués en interne par les équipes ONERA. Cette réalisation a également permis d'assurer une meilleure planéité des parois et un accès facilité aux joints d'étanchéité en cas de maintenance.



## Service maquettes de l'ONERA à Lille : une composante essentielle des grandes souffleries

En 2020 a démarré la conception de la « maquette de référence » pour la soufflerie F1, dans sa version hypersustentée. Ces maquettes, au nombre de trois en configuration « croisière », sont le fruit d'échanges très fructueux avec Boeing et la NASA. Leur conception fait appel à tout le savoir-faire du service maquettes : calculs mécaniques et ajustages de très grande précision. La forme géométrique de l'objet doit être conforme aux formes théoriques, encore plus que sur les maquettes habituelles, puisque l'objectif est de réaliser des mesures qui feront référence, et qui devront aussi être évaluées par rapport à d'autres exemplaires dans le monde. La motorisation de ces maquettes représente un challenge, mais génère un gain en productivité des essais. Là aussi, la précision permettra une répétabilité des essais et assurera la cohérence des résultats. Ces améliorations de la capacité expérimentale sont financées dans le cadre du plan ATP.





## Ouvrir son capital de connaissances et ses moyens d'essais à tous les secteurs de l'industrie.



**L'ONERA au cœur du programme BLAST : un accompagnement dédié pour faire émerger une nouvelle génération de start-up tricolores**

Fin 2020, Starburst, l'ONERA, la SATT Paris-Saclay et l'École polytechnique ont mis en commun leurs compétences et leurs écosystèmes respectifs avec le lancement de BLAST : le 1<sup>er</sup> programme français d'incubation dédié aux entreprises *deep tech* du secteur aérospatial.

BLAST (*Boost and Leverage AeroSpace and defence Technologies*) vise à accompagner une vingtaine de *start-up* par an. Il permettra également de réunir l'ensemble des acteurs de l'écosystème ASD, des grands donneurs d'ordres industriels aux fonds d'investissement. Objectif : consolider un vivier de *start-up deep tech* capables de participer aux futurs grands programmes aérospatiaux et de défense – au niveau national et européen – et de répondre à la dynamique autour du plan de soutien à la filière aéronautique, présenté en juin 2020 par le Gouvernement français.

Parmi les thèmes majeurs qui pourront être abordés par le programme BLAST se trouvent :

- l'aviation décarbonée (motorisation électrique, hybride, hydrogène...);
- les nouvelles plateformes de mobilité aérienne urbaines et régionales;
- l'autonomie (capteurs, fusion de données, etc.);
- l'intelligence artificielle;
- la communication *cloud* sécurisée;
- et le spatial au sens large.

### Des levées de fonds d'amorçage de 2 à 3 M€

Le programme BLAST permettra un positionnement pertinent des projets accompagnés par rapport aux besoins de l'industrie ASD et une pérennisation par des contrats commerciaux, des collaborations avec les donneurs d'ordres industriels ou institutionnels, ainsi que des levées de fonds d'amorçage de 2 à 3 M€.

Les compétences des quatre membres du consortium seront complémentaires pour accompagner les projets sélectionnés. L'ONERA sera à l'origine d'un grand nombre de projets innovants et fournira un soutien technique à tous les projets accompagnés, mettant à disposition des moyens d'essais et l'expertise technique de ses laboratoires de recherche.



**Nicolas Guérineau, directeur de la valorisation à l'ONERA :**

« La recherche dans le domaine de l'aéronautique, du spatial et de la défense est notre cœur de métier, et le transfert des résultats de nos recherches au bénéfice de l'industrie est un enjeu national majeur. BLAST constitue pour nous une occasion nouvelle de valoriser nos expertises et d'accélérer nos innovations via une stratégie gagnante d'accompagnement de *start-up deep tech*. »

L'ONERA réalise régulièrement des avancées scientifiques, à l'origine de succès dans le secteur aérospatial, et qui peuvent s'appliquer dans différents secteurs.

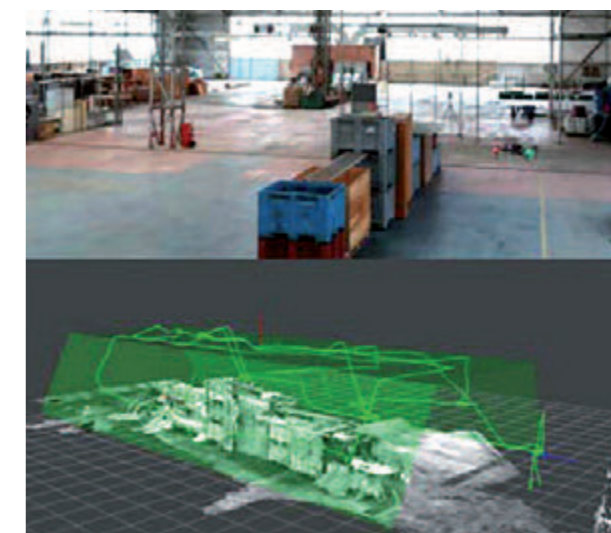
### Surveillance des voies ferrées : de nouvelles retombées du partenariat avec SNCF Réseau et Altametris

En mars 2020, le partenariat recherche industrie PRI DROSO-FILES entre SNCF Réseau, Altametris et l'ONERA s'est achevé sur un nouveau succès avec une démonstration en vol *indoor*. L'objectif était de démontrer, dans un environnement réaliste, des fonctions de télé-opération assistée d'un drone multi-rotor pour des missions d'inspection sans GPS.

Plusieurs scénarios ont pu être déroulés par les équipes de l'ONERA, avec aux commandes des utilisateurs aux profils différents – télé-pilotes et ingénieurs néophytes en pilotage de drone.

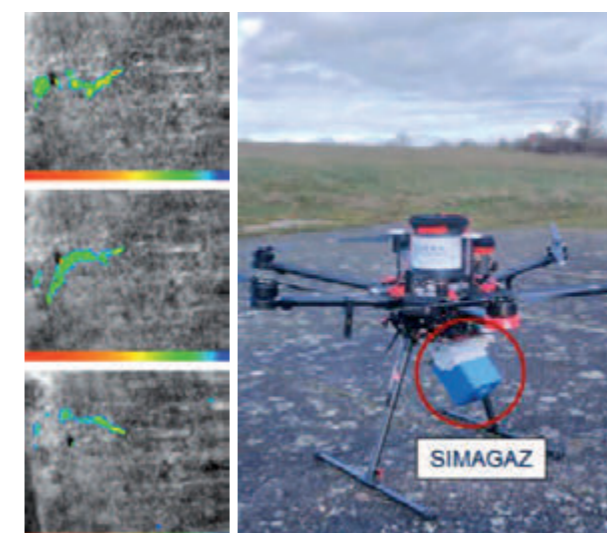
Le système mis en œuvre permet de contrôler l'angle de lacet du drone et son déplacement sur une surface virtuelle de type plan (inclinable), cylindre ou tunnel, à des fins d'inspection assistée d'ouvrages d'art, de poteaux, de véhicules (train, par exemple), etc. Ce système s'appuie sur les fonctions de localisation basée vision (sans GPS), de modélisation d'environnement et de contrôle développées et validées au cours des cinq années du partenariat.

Actuellement, Altametris et l'ONERA cherchent à valoriser les résultats de ce partenariat afin de doter la filière drone d'un moyen d'inspection par drone utilisable par des opérateurs non expérimentés et garantissant la sécurité des vols.



En bas : le modèle 3D texture reconstruit en ligne par le drone et la trajectoire du drone contrainte par la surface virtuelle (trois plans). En haut : la scène inspectée.

### Téledétection de fuite de méthane : démonstration en temps réel



À l'occasion de l'UAV-Day sur l'aérodrome de Sainte-Hélène, sous la houlette de Bordeaux Technowest, l'ONERA a présenté son expertise technique auprès de la DGAC, et fait voler la caméra multispectrale SIMAGAZ. Cette dernière a été développée dans le cadre du projet NAOMI (2014-2019), en collaboration avec TOTAL et le FUI (Fonds unique interministériel) IMAGAZ (LYNRED/NOXANT/BERTIN/TOTAL/ONERA). C'est la première caméra compacte (1 kg, 1 L) multispectrale permettant d'offrir une visualisation quantitative d'un panache de méthane et de son évolution temporelle. Les résultats de la démonstration ont été probants : une retransmission en temps réel et en déporté des résultats d'analyse physique des images acquises à haute cadence. Le calcul des cartes de détection et de la quantification du gaz en temps réel intégré sur le calculateur embarqué du drone a permis au public de visualiser quantitativement la fuite de méthane avec un taux de rafraîchissement de dix images/seconde.

Le succès de cette opération démontre une nouvelle fois la fiabilité et la robustesse d'utilisation de SIMAGAZ, et devrait permettre de déboucher sur des nouveaux partenariats industriels en vue de sa valorisation.

#### Indicateurs PI 2020

11 nouvelles demandes de brevets  
20 nouveaux logiciels enregistrés  
8 nouvelles enveloppes Soleau

18 nouvelles déclarations d'invention  
76 contrats de licence en cours



# International

## Présidence de l'ESRE

Depuis juillet 2020, la présidence de l'ESRE est assurée par l'ONERA, après une présidence néerlandaise (2016-2017) et une présidence allemande (2018-2019). Cette association d'établissements de recherche européens conduisant des travaux en matière spatiale a pour objectifs la promotion des intérêts communs de ses membres, l'intensification de la coopération, y compris avec des tierces parties européennes, la défense de la compétitivité du secteur spatial européen, et enfin, le conseil auprès des institutions du domaine.



## L'ONERA, acteur des révolutions méthodologiques

Dans le prolongement de la fructueuse coopération franco-allemande, et dans la perspective de relever les défis de la construction d'un axe franco-allemand en intelligence artificielle, souhaité par les deux pays (accord du 21<sup>e</sup> Conseil ministériel franco-allemand de Toulouse, le 16 octobre 2019), l'ONERA et le DLR ont débuté une coopération en « IA et applications en ingénierie aérospatiale », en créant un centre de recherche virtuel qui aura vocation à contribuer à la transformation numérique de l'industrie aéronautique et spatiale.



## L'ONERA, contributeur important de l'étude prospective de l'EREA

L'ONERA a contribué à l'étude de prospective « EREA Vision Study – The Future of Aviation in 2050 », qui examine quatre scénarios possibles pour le futur du système de transport aérien à l'horizon 2050. Il décrit les défis et les choix technologiques associés, ainsi que des recommandations sur les domaines où des recherches en aviation sont nécessaires. Cette nouvelle étude EREA (qui est la mise à jour de la précédente étude « EREA vision for the future – Towards the Future Generation of Air Transport System », publiée en 2010) a pour objectifs de faire partager la vision de l'EREA avec les parties prenantes externes afin de renforcer la coopération, soutenir les décideurs politiques au niveau national et européen, conduire l'EREA et ses membres à travailler ensemble à des objectifs communs et ambitieux, et s'engager auprès du grand public, en particulier sur les besoins sociétaux et la durabilité du secteur de l'aviation.



## L'ONERA crée EDRIN, réseau européen des questions de défense

L'ONERA est à l'initiative du montage du réseau EDRIN – *European Defence Research and Innovation Network* –, composé de six centres de recherche européens : CEA (France), FOI (Suède), Fraunhofer (Allemagne), TNO (Pays-Bas), VTT (Finlande) et l'ONERA. Ce réseau vise à mieux faire entendre collectivement la voix des centres de recherche dont les compétences sont reconnues dans les domaines de la défense, afin que leurs participations dans le Fonds européen de défense (FED) soient soutenues et bien financées.



## L'ONERA signataire de la déclaration Zero Emission Aviation (ZEMA)

Treize institutions de recherche à travers le monde ont uni leurs forces pour former le groupe *Zero Emission Aviation* (ZEMA), une initiative de recherche pionnière pour une aviation durable. L'ONERA en fait partie.

## Espace : l'ONERA présente sa vision de la recherche spatiale à Singapour



En février 2020, le directeur des affaires internationales de l'ONERA a été invité à la conférence GSTC – *Global Space and Technology Convention* – de Singapour pour présenter les recherches spatiales de l'ONERA, dans une présentation intitulée « *Space research at ONERA, a European vision* ».

L'occasion de parler des compétences de l'ONERA et de ses recherches menées avec d'autres partenaires européens sur les nouvelles technologies pour les lanceurs et systèmes orbitaux, dans le contexte de missions d'observation de la Terre et de son environnement. L'ONERA et Singapour entretiennent des liens étroits, notamment

depuis la création, en 2004, du laboratoire commun SONDRRA, qui regroupe les compétences de l'ONERA, de Centrale Supélec (École supérieure d'électricité), de l'université nationale de Singapour (NUS) et du DSO, le centre national de R&D défense de Singapour. Récemment, Singapour a décidé d'investir de plus en plus dans le domaine spatial. Le GSTC était le rendez-vous à ne pas manquer, qui permet de mettre en contact agences et acteurs de la recherche et de l'innovation.



## Nouvelles technologies et innovations en aéronautique : l'ONERA soutient le mouvement

En novembre 2020, l'OACI et le Forum international pour la recherche en aviation (IFAR) ont conclu un nouvel accord visant à accélérer et améliorer l'évaluation des nouvelles technologies et des innovations dans le domaine aéronautique. En tant que membre de l'IFAR, l'ONERA s'est associé à cet accord. Il prévoit la création de deux groupes d'experts OACI-IFAR, qui examineront les innovations les plus récentes sur la mobilité aérienne urbaine et l'intelligence artificielle appliquée à l'aviation. À l'issue de leur première année d'activité, chaque groupe rendra compte de ses travaux à l'OACI et à l'IFAR, qui utiliseront les résultats obtenus pour optimiser et structurer les contributions futures de l'IFAR à l'OACI et à l'aviation internationale.









Tous les grands programmes aérospatiaux civils et militaires  
en France et en Europe portent une part de l'ADN de l'ONERA :  
Ariane, Airbus, Falcon, Rafale, missiles,  
hélicoptères, moteurs, radars...

Avions

Hélicoptères

Propulsion des aéronefs

Transport spatial

Systèmes orbitaux

Missiles

Drones

Systèmes de défense

Sécurité



ONERA - BP 80100 - 91123 PALAISEAU CEDEX - Tél. : +33 1 80 38 60 60 - Fax : +33 1 80 38 65 10

[www.onera.fr](http://www.onera.fr)