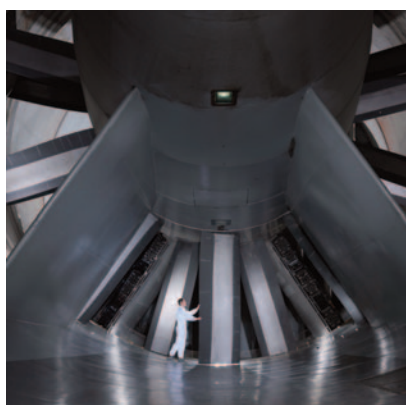
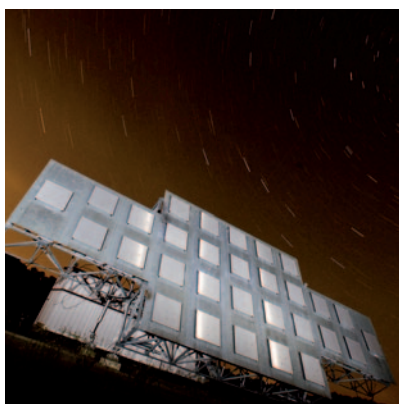


# RAPPORT ANNUEL 2023







**L'**ONERA, acteur central de la recherche aéronautique et spatiale, emploie plus de 2 100 personnes. Placé sous la tutelle du ministère des Armées, il dispose d'un budget de 294 millions d'euros (2023), dont plus de la moitié provient de contrats d'études, de recherches et d'essais.

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

# Éditorial

## Le rapport annuel 2023 de l'ONERA est une belle illustration des grandes tendances qui se sont dégagées ces dernières années.

La confiance de nos partenaires s'exprime avec force dans tous nos domaines d'activité, et se traduit, pour la troisième année consécutive, par un nouveau record de prises de commandes, qui s'est établi à 177 M€. Il marque une année exceptionnelle à la fois pour les départements scientifiques et pour les grandes souffleries. Trois autres records historiques ont été battus : les prises de commandes en provenance de l'industrie, celles de la DGA et celles enregistrées par la Direction des Souffleries. Cette confiance se traduit également par les très nombreuses visites rencontres et témoignages retracés à travers ce rapport, à commencer, bien sûr, par celui de M. Sébastien Lecornu, ministre des Armées, que je remercie vivement pour l'intérêt qu'il témoigne ainsi à l'institution et aux salariés qui la font vivre.

Tout aussi présent est l'engagement des salariés de l'ONERA pour obtenir les résultats décrits dans ce rapport. Cela se retrouve tant dans les réalisations scientifiques et techniques répondant aux attentes des services étatiques et des industriels, que dans les efforts accomplis pour dégager un résultat économique positif malgré les fortes contraintes auxquelles nous avons dû faire face, comme les surcoûts de notre facture d'énergie. Je les en remercie vivement. Ainsi, il est des disciplines dont beaucoup de monde parle, l'intelligence artificielle et le quantique, elles font partie de nos succès concrets. D'une part l'ONERA a signé un accord avec la DGAC/DSNA qui va conduire à équiper de manière opérationnelle quatre des cinq sites de contrôle aérien sur notre territoire du logiciel SINAPS de gestion du trafic aérien par intelligence artificielle. D'autre part le forum Innovation Défense a été l'occasion pour l'ONERA de présenter les gravimètres quantiques de deuxième génération qui équiperont de façon à les rendre opérationnels dès 2024 certains bâtiments de la marine nationale.

L'ONERA brille sur le plan international au travers, notamment, du fort taux de succès aux appels d'offres européens et de la confirmation de notre positionnement sur les appels à projets du fonds européen de la défense. La signature d'un nouvel accord sur le givrage avec la NASA, l'acquisition, désormais traditionnelle, par la NASA et le Jet Propulsion Laboratory de nouveaux accéléromètres pour le spatial, comme ce sera le cas pour l'ESA en 2024, sont également des succès remarquables. Ce rapport souligne aussi le choix fait par la National Science Foundation américaine de l'optique adaptative de l'ONERA pour améliorer le télescope astronomique Gemini Nord. Et, bien sûr, je suis très fier que l'Association mondiale des établissements publics de recherche en aéronautique civile, l'IFAR, qui compte aujourd'hui 26 membres couvrant l'ensemble des continents, m'ait élu pour deux ans à sa présidence que

j'assume au nom de l'ONERA. Cela illustre leur reconnaissance de la valeur des recherches et des résultats de l'ONERA dans ce domaine.

Le 17 mars 2023, nous avons été particulièrement fiers d'accueillir Emmanuel Chiva, délégué général pour l'Armement, et Damien Cazé, Directeur général de l'Aviation civile. Cette visite s'est déroulée sur le site de Modane, qui abrite nos très grandes souffleries stratégiques, qui sont aussi les plus vertes au monde. Cela a également été l'occasion de recevoir un groupe de journalistes. Les échanges lors de la conférence de presse organisée pour l'occasion, mais aussi pendant les visites, ont mis en valeur la contribution de l'ONERA pour préparer la défense et l'aérospatial de demain.

L'année écoulée aura bien sûr été marquée par le retour du Salon du Bourget. Quelle joie de se retrouver et de montrer à nouveau à l'ensemble de la communauté défense et aérospatiale notre vision de l'avenir avec ESPADON, projet d'avion de combat hypersonique, et GULLHYVER, configuration d'avion contribuant à la décarbonation du transport aérien ! Nous avons également dévoilé la deuxième édition de nos feuilles de route qui détaillent les dix axes de recherche finalisée sur lesquels nos chercheurs et ingénieurs travaillent.

En 2023, l'ONERA a créé sa première filiale ASTAREON, qui a pour objectif de fournir des services de surveillance de l'espace, fort de l'expérience unique en Europe acquise avec GRAVES, opérationnel depuis 2005. C'est un grand pas dans le monde des *start-ups* et du *New Space*.

Dans un contexte de concurrence âpre, l'ONERA continue d'attirer les talents : 214 nouveaux salariés ont rejoint l'ONERA en 2023, ce dont je me réjouis, car nous avons besoin d'eux ! Ils viennent écrire, avec ceux qui les ont précédés, les pages tout juste esquissées du futur de la défense, de l'aéronautique et du spatial. Les plus de 18 000 candidatures reçues en 2023 sur les postes que nous avons ouverts illustrent également notre attractivité, qui se confirme tout aussi fortement pour les étudiants, puisque 128 viennent grossir les rangs de nos doctorants.

L'ONERA entend prendre sa part de l'effort de la Nation dans un contexte où les menaces d'un passé que l'on espérait révolu ressurgissent. L'ONERA répond également présent face aux défis de la décarbonation du transport aérien. Partout où il y a des enjeux de souveraineté dans les secteurs de la défense, de l'aéronautique et de l'espace, l'ONERA est en première ligne pour innover au service de l'État et de l'industrie.

Je vous invite à découvrir, dans ce rapport annuel, les grands temps forts 2023.

# TEMPS FORTS



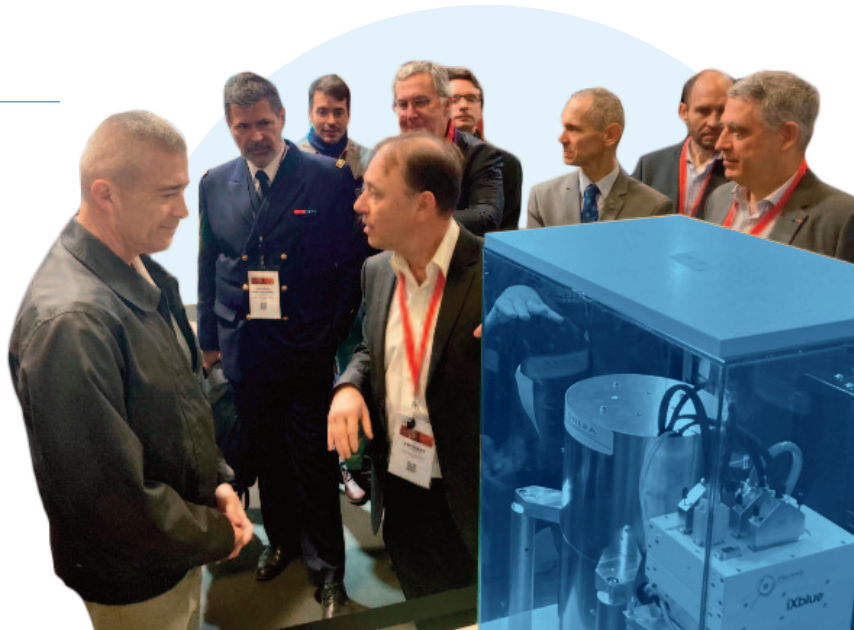
Visite du DGA, du DGAC et de la presse à Modane, le 17 mars 2023.

## Le délégué général pour l'Armement et le directeur général de l'Aviation civile visitent les grandes souffleries à Modane, en présence de la presse

Le 17 mars, Emmanuel Chiva, délégué général pour l'Armement, et Damien Cazé, directeur général de l'Aviation civile, étaient à Modane pour une visite exceptionnelle, qui a suscité un intérêt appuyé pour les activités de l'Office. Cette double visite des plus hauts dirigeants de la DGA, tutelle défense de l'ONERA, et de la DGAC, pilote pour l'État de l'aéronautique civile française, intervenait dans un contexte où les souffleries se préparent à relever deux défis importants : celui de la décarbonation de l'aviation civile, et la montée en puissance des programmes de défense, dont le renouvellement des vecteurs de la dissuasion. Organisée conjointement avec une visite de presse, cette visite aura permis non seulement de montrer le caractère incontournable des essais en soufflerie pour préparer l'aéronautique et la défense de demain, mais aussi de présenter des projets menés conjointement par les départements scientifiques et la direction des souffleries (Superman, Aspic, E2IM - étude innovante d'intégration motrice, illustrant le savoir-faire et les idées novatrices de l'ONERA dans le domaine de l'aviation de combat ou de la préparation de l'aviation décarbonée).

## FORUM INNOVATION DÉFENSE DU 23 AU 25 NOVEMBRE

La DGA a sollicité l'ONERA pour présenter cinq de ses projets mis en scène par l'Agence de l'innovation de défense : les gravimètres quantiques, la caméra bispectrale à base d'optique *freeform*, l'observation depuis un nanosatellite par imagerie multi et hyperspectrale, le masque acoustique, la détection d'explosifs et d'armes à feu en temps réel dans un flux de personnes.



## VÉRITABLE SUCCÈS POUR LE BOURGET 2023

De nombreuses innovations présentées sur le stand ONERA, comme la décarbonation avec la configuration GULLHYVER et l'avion hypersonique ESPADON. De nombreuses visites d'autorités civiles et militaires, dont Sylvie Retailleau, ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, Emmanuel Chiva, délégué général pour l'armement, Thierry Burkhard, chef d'état-major des armées et Xavier Bertrand, président de la région Hauts-de-France.



### L'ONERA PREND LA PRÉSIDENTIE DE L'IFAR

La France et l'ONERA se trouvaient une seconde fois cette année à l'honneur lors du sommet mondial IFAR (après l'événement IFAR ECN du Bourget) ; avec la prise de la présidence de l'IFAR par Bruno Sainjon, et pour la présentation par l'ONERA d'un tout nouveau projet de recherche multilatéral sur la caractérisation de l'environnement atmosphérique en configuration de mesure aéroportée.



### L'ONERA crée sa première filiale *New Space* : ASTAREON

Cette création valorise le savoir-faire historique unique de l'ONERA en matière de surveillance de l'espace, acquis avec Graves. ASTAREON, nouvel acteur du *New Space*, fournira dès 2024, des services de surveillance de l'espace pour répondre aux enjeux grandissants de sécurité et de sûreté spatiaux.



**Sébastien  
Lecornu**  
Ministre des Armées

  
**MINISTÈRE  
DES ARMÉES**  
*Liberté  
Égalité  
Fraternité*



**Depuis quelques années, la situation géostratégique internationale a profondément changé. Peut-on affirmer que le contexte est préoccupant ?**

Effectivement, jusqu'à il y a peu, nous avons plutôt été habitués à des crises successives, je pense bien sûr au terrorisme, aux conflits en Afrique, au Sahel etc. Depuis février 2022, des dérèglements en chaîne s'organisent, en plus des autres menaces classiques qui n'ont pas disparu. Le plus préoccupant aujourd'hui est probablement la guerre, qui frappe aux frontières de l'Europe et le comportement agressif de la Russie. L'issue du conflit entre la Russie et l'Ukraine reste, à tous égards, une inconnue. Car si l'Ukraine disparaît, qui sait où s'arrêteront les velléités russes ?

La Russie de Vladimir Poutine adopte un comportement de plus en plus agressif à notre encontre. Un tel niveau d'agressivité n'existait pas auparavant et le risque va grandissant, ce constat est partagé par l'ensemble des pays européens. Le Kremlin joue avec les seuils et multiplie les menaces, y compris dans un chantage aux matières premières, mais aussi avec les hydrocarbures. Des opérations de désinformation au cœur de nos processus démocratiques ont été constatées ces derniers temps. Cette menace hybride, qui se traduit par des attaques cyber, des actions de désinformation, voire d'agissements agressifs sur notre territoire nous préoccupe hautement. Il est donc essentiel d'aborder la menace russe avec lucidité et de ne pas la sous-estimer.

**Quelles conséquences ou adaptations sont nécessaires pour la défense française ?**

Il est crucial de ne pas renoncer à l'idéal de paix, en évitant toute forme de naïveté. Se préparer à la guerre,

dans un sens, est un moyen de préserver la paix. Or, notre première assurance-vie, c'est notre armée, dans les fondamentaux de son modèle gaullien dessiné dans les années 1960, c'est-à-dire, reposant sur une dissuasion nucléaire autonome, un cadre d'emploi national d'une armée expérimentée au combat, des alliances claires et une industrie de défense souveraine, inspirée par une recherche dynamique et de haut niveau.

La page des dividendes de la paix qui ont vu nos capacités militaires réduire au lendemain de la chute du mur de Berlin est bel et bien derrière nous. Depuis 2017, une première loi de programmation militaire (LPM) a acté du redressement de nos moyens de défense, exécutée sous l'autorité du Président de la République. En 2023, le Parlement a adopté une nouvelle LPM très ambitieuse qui produit ses effets, puisque la France repasse le seuil des 2% du PIB consacrés à sa Défense, ce qui n'était pas arrivé depuis plusieurs décennies. Je m'en félicite.

Ainsi, le budget Défense aura doublé sous les deux mandats d'Emmanuel Macron. Mais la vraie question, pour chaque pays de l'OTAN, est que ces dépenses soient fléchées sur des investissements matériels et humains réellement utiles pour notre sécurité. C'est ce que la France défend auprès de nos alliés sur la base de notre expérience d'armée d'emploi.

Réindustrialisation, modernisation de nos capacités et réarmement de la France : les premiers résultats sont là. En 2023, plus de 20 Mds € de matériels ont été commandés. Dont 42 Rafale, 109 Caesar MkII, 420 Serval et 7 patrouilleurs hauturiers. Tous fabriqués en France !

Plus que jamais, notre dissuasion nucléaire a montré sa crédibilité. Avec, en avril, le tir d'essai réussi d'un missile balistique stratégique M51 depuis le SNLE Le Terrible et en novembre, le tir d'essai réussi du premier M51.3, une évolution qui pérennise notre dissuasion

**« En 2023, le Parlement a adopté une nouvelle LPM très ambitieuse qui produit ses effets, puisque la France repasse le seuil des 2% du PIB consacrés à sa Défense »**

# « L'ONERA est un atout qui insuffle l'innovation dans nos armées ! Et j'attends bien sûr que vous renforciez votre expertise »

## En quoi la recherche est-elle importante dans ce nouveau contexte ?

L'année 2024 est la première de l'application de la nouvelle loi de programmation militaire votée l'été dernier. Sa réussite passe par l'effort consacré à la recherche et l'innovation ! Il faut prendre des risques pour toujours garantir à la France un accès souverain aux technologies, actuelles comme futures, afin d'assurer la fiabilité et la supériorité de nos armes pour les décennies à venir. Les défis sont grands et la recherche est primordiale, qu'il s'agisse du quantique, de l'intelligence artificielle, des hautes vitesses ou encore de la furtivité. Le spatial devient un nouveau terrain de conflictualités et nos moyens de connaissance, d'anticipation et d'action doivent être infaillibles. Autant de domaines dans lesquels l'ONERA a développé des compétences mondialement reconnues. Cette prise de risque est l'essence même qui doit animer notre recherche scientifique ! Il faut de l'audace, pour une connaissance de plus en plus fine des outils technologiques et tactiques. Je souhaite un retour à l'esprit pionnier des années 60, tant au sein de notre industrie de défense qu'au sein de la Direction générale de l'armement (DGA) et dans toutes les filières techniques du ministère, y compris bien sûr pour sa recherche scientifique.

## Dans ce contexte, quel est, pour vous, l'importance d'un organisme scientifique comme l'ONERA ?

L'ONERA, depuis sa création le 3 mai 1946, a été une pièce maîtresse de l'effort de Défense de la Nation. D'abord dans la remise sur pieds de son industrie aéronautique, qu'elle soit militaire ou civile. Ensuite, dans la mise en place et le maintien d'une dissuasion nucléaire crédible et sans cesse maintenue à un excellent niveau. Aujourd'hui, la contribution de l'ONERA au renouvellement des deux composantes de la dissuasion dans le cadre de la LPM doit nous permettre de poursuivre l'effort, afin de maintenir la crédibilité de notre dissuasion. C'est grâce à notre investissement dans la recherche, que notre dissuasion est crédible et reconnue. L'importance des travaux de l'ONERA va bien au-delà de la dissuasion : l'innovation technologique est essentielle à l'ensemble de nos forces armées, afin qu'elles demeurent au premier rang mondial. Je pense à l'armée de l'Air et de l'Espace bien sûr, avec des contributions majeures, tant sur les vecteurs aériens que sur des systèmes d'observation comme GRAVES, Nostradamus, d'armement hypervéloces ou à énergie dirigée, mais aussi à l'armée de Terre pour des systèmes de détec-



tions optiques ou radars, à la Gendarmerie sur des thématiques importantes comme les drones, ou encore à la Marine avec les gravimètres quantiques. Le parc de souffleries et l'expertise de vos scientifiques et techniciens demeurent uniques au monde. L'ONERA est un atout qui insuffle l'innovation dans nos armées! Et j'attends bien sûr que vous renforciez votre expertise. Votre rôle est primordial : c'est innover, bousculer les lignes, guider la recherche, être l'expert de l'Etat pour nos programmes de demain. Je vous demande de jouer ce rôle pour le SCAF, comme pour les autres programmes défense de la troisième dimension.

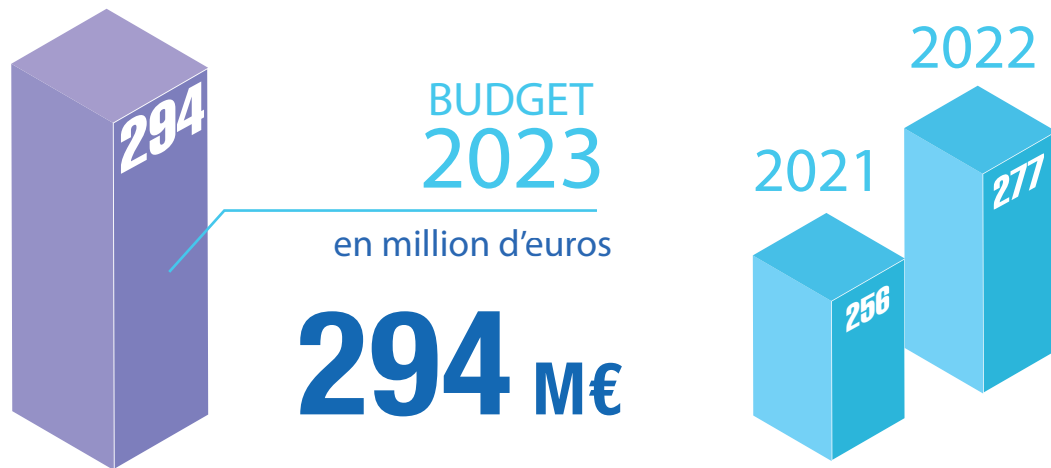
L'ONERA est également un outil de rayonnement international et l'une de nos forces pour l'export : Rafale, A400M ou H-160, aucun de ces programmes n'aurait été un succès sans l'innovation et l'expertise de l'ONERA, qui est l'un des centres scientifiques aérospatiaux les plus prestigieux au monde.

C'est pourquoi, et malgré le contexte budgétaire difficile, je compte poursuivre le soutien du Ministère des Armées à l'ONERA qui va bien au-delà de ce qui avait été prévu par le COP (Contrat d'objectifs et de performances).

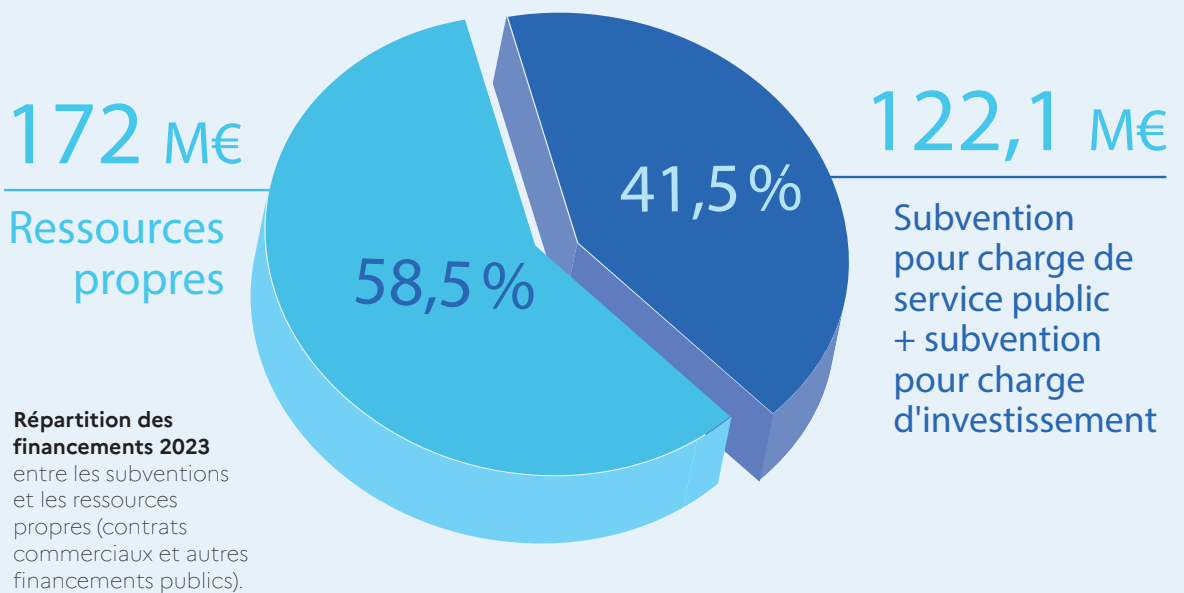
Je vous réaffirme mon soutien et demeure à l'écoute de vos besoins dans un contexte qui a beaucoup évolué et dans lequel votre rôle est primordial.

Je sais que je peux compter sur l'ONERA, sur vos contributions scientifiques mondialement reconnues, je pense bien sûr à la simulation, à la modélisation, l'expérimentation ou aux essais en soufflerie. Votre rôle est primordial pour la crédibilité de nos armées, il faut le renforcer. Insufflez l'esprit d'innovation et de pionnier, osez ! Afin que la France et ses armes demeurent au plus haut niveau mondial.

## BUDGET EN HAUSSE

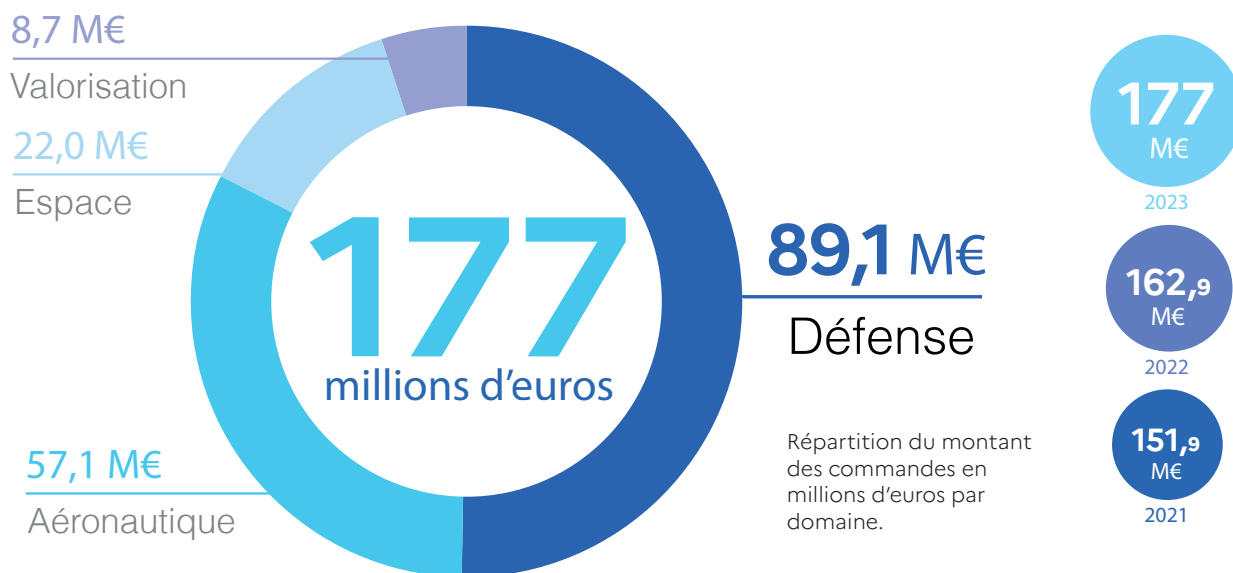


Placé sous la tutelle du ministère des Armées, dont il perçoit sa subvention, l'ONERA dispose d'un budget provenant en partie de l'Agence de l'innovation de défense et pour près de 60% de contrats commerciaux.



**RÉSULTAT NET : 4 M€**  
comptable

# DES PRISES DE COMMANDES RECORDS



## PRISES DE COMMANDES PAR DOMAINE

**50,3%**

Défense

Répartition du montant des commandes **en pourcentage** par domaine.

**32,3%**

Aéronautique

**12,4%**

Espace

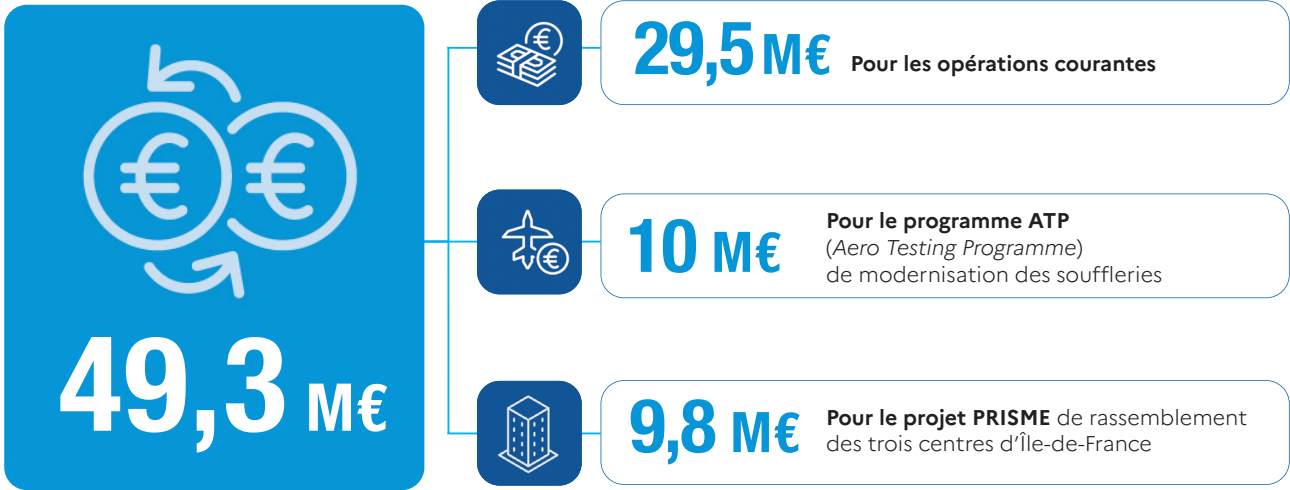
**5%**

Valorisation

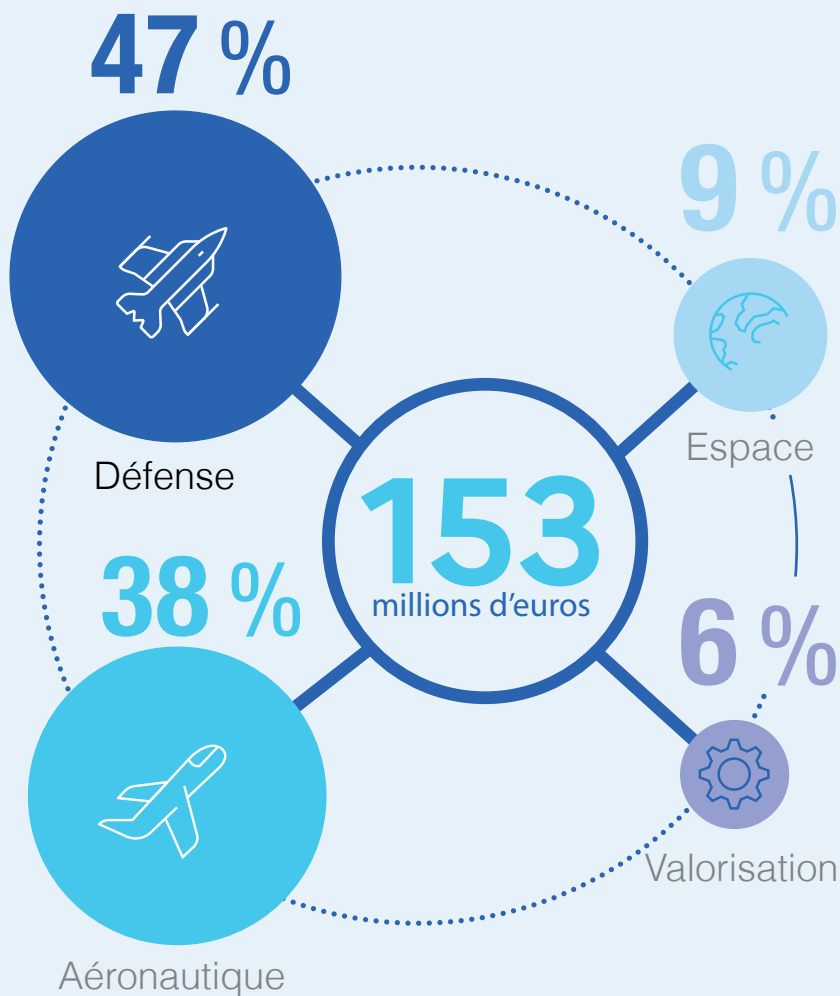
## Prises de commandes par clients en M€



# INVESTISSEMENTS



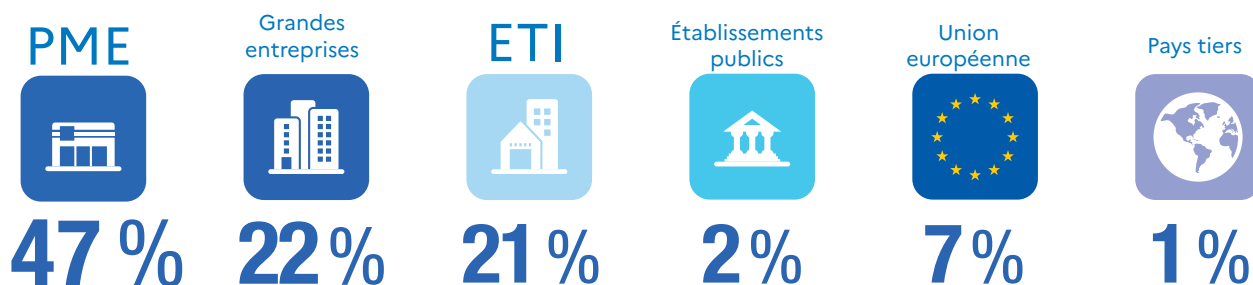
## RÉPARTITION DE L'ACTIVITÉ CONTRACTUELLE



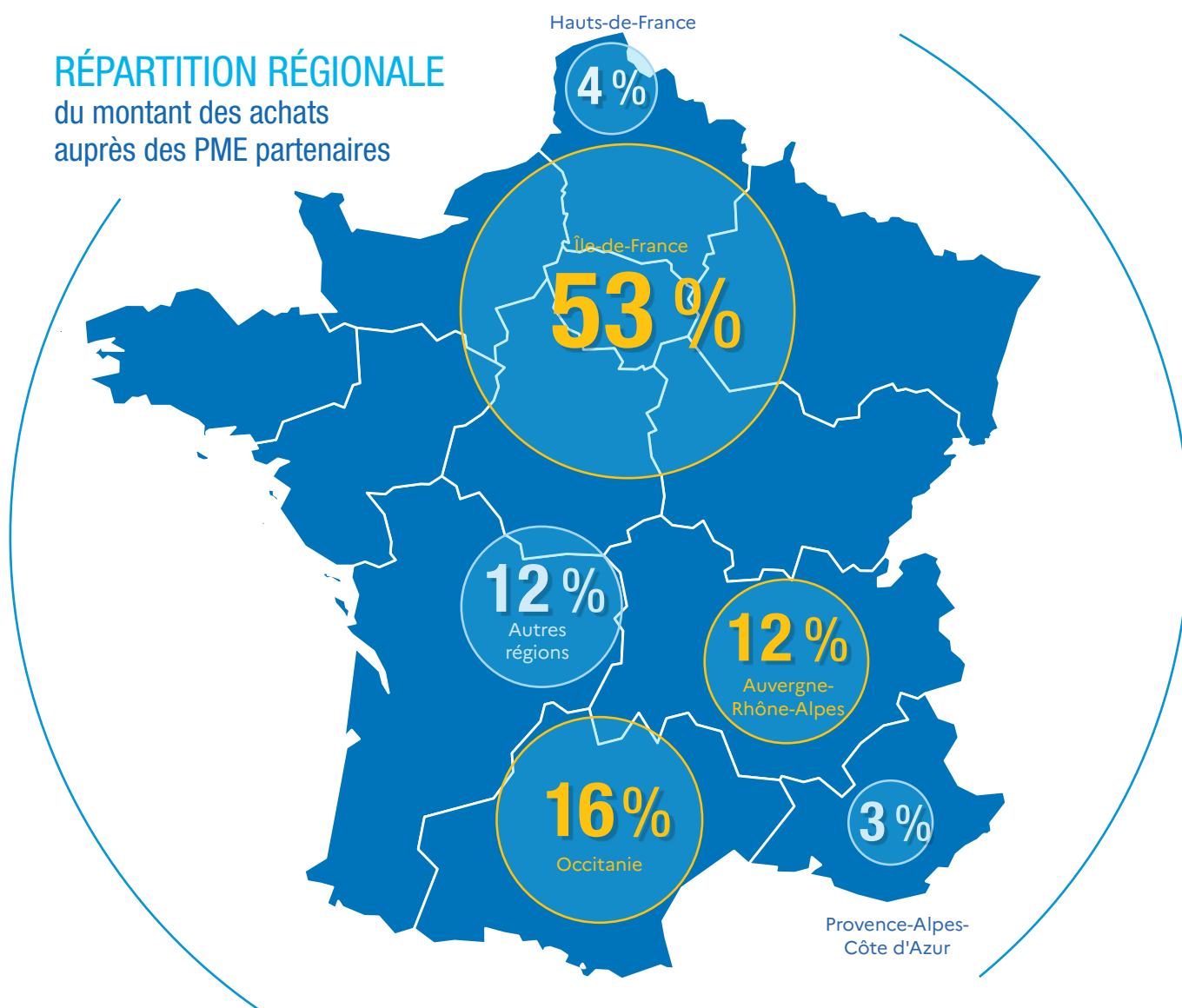
# ACHATS

L'ONERA travaille majoritairement avec des PME dans tous ses centres, toutes régions confondues. En 2023, l'ONERA a contractualisé avec 1932 PME (1840 en 2022).

## Répartition du montant des achats par type d'entreprise en 2023



## RÉPARTITION RÉGIONALE du montant des achats auprès des PME partenaires



# Enrichir et développer les compétences des équipes de l'ONERA

La recherche et l'innovation de l'Office reposent sur l'expertise de ses salariés. C'est pourquoi la formation et le pilotage des parcours professionnels constituent une priorité absolue.

## Investir dans des compétences clés pour rester à la pointe des dernières avancées

En tant qu'expert étatique des questions de défense, d'aéronautique et d'espace, l'ONERA, investit dans le développement des compétences de ses salariés. En 2023, l'ONERA enregistre une progression de 10 % du nombre d'heures de formation qui cible les domaines prioritaires en lien avec les orientations stratégiques de l'Office : intelligence artificielle, défense nucléaire ou physique quantique. Des partenariats avec d'autres structures de recherche comme le CEA/DAM ont été conclus pour accélérer le développement de ces compétences. La formation en interne représente également un vecteur privilégié de partage de connaissances. Ainsi, en 2023, 3895 heures de formations internes ont été suivies, à travers 59 sessions animées par 45 formateurs internes.

## Protéger et valoriser les connaissances

L'ONERA soutient ses équipes dans la protection et la valorisation de leur travail au travers du dépôt de brevets, logiciels, enveloppes So-leau, mémoires d'invention, marques et accompagne les salariés dans l'entrepreneuriat au travers du transfert de technologie.

## Encourager les jeunes talents

En 2023, l'ONERA a lancé le dispositif « projet tremplin » qui permettra aux jeunes ingénieurs et techniciens nouvellement recrutés de conduire des projets scientifiques personnels, alignés avec la stratégie de recherche de l'ONERA. Ce programme, dont les premiers projets seront attribués en 2024, vise à encourager la prise d'initiative en offrant les moyens de mettre en perspective une activité scientifique et/ou technologique, sur un sujet à l'initiative du salarié.

## Former les experts d'aujourd'hui et de demain

Avec sa mission de formation par la recherche, l'ONERA s'engage dans la formation des nouvelles générations de chercheurs. Au-delà de l'accueil des stagiaires/doctorants (243/376 en 2023), les salariés de l'ONERA sont encouragés à contribuer aux enseignements dans les écoles et les universités. En 2023, près de 10 400 heures d'enseignement ont été assurées par les équipes de l'Office.

Le partage des connaissances et des compétences de l'ONERA passe aussi par le dispositif ONERA Academy® qui proposera, à terme, un catalogue de formations professionnelles à destination des entreprises.







## 2157 collaborateurs

- 1703 ingénieurs et cadres
- 181 employés • 34 alternants
- 238 techniciens et 1 ouvrier

26 % de femmes

Index égalité  
femmes-hommes :

**95/100**

**390\***  
communications  
avec actes  
dans des congrès

**335\***  
publications  
dans des journaux  
à comité de  
lecture

**121**  
scientifiques titulaires  
d'une habilitation  
à diriger des recherches (HDR),  
dont 6 soutenues en 2023

- 376 doctorants
- 16 post-doctorants
- 243 stagiaires

**89\***  
thèses  
soutenues

**978\***  
rapports  
techniques

\* Chiffres provisoires

## Prix scientifiques

### Prix international d'aéronautique

Attribué à **Manuel Rodrigues**, par la Société astronomique de France (SAF).

### Prix EREA 2023

#### Deux publications ONERA sur le podium

Lors de l'événement annuel EREA (european research establishments in aeronautics), les prix de la meilleure publication ont été décernés à deux équipes dans lesquelles figurent des chercheurs de l'ONERA, à la 1<sup>re</sup> et à la 3<sup>e</sup> place.

**1<sup>er</sup> prix** : équipe ONERA-DLR autrice du papier « Aeroelastic tailoring of a wind-tunnel model for passive alleviation of static and dynamic loads. » Elle est composée de Nicolo Fabbiane (ONERA), François-Xavier Irisarri (ONERA), Johannes Dillinger (DLR), et Arnaud Lepage (ONERA).



### Prix ONERA de l'Académie des Sciences

Le prix ONERA 2023 « ONERA-Sciences mécaniques pour l'aéronautique et l'aérospatial » : **Véronique Lazarus**, professeure à l'ENSTA/IPP en mécanique des solides. Ce prix récompense depuis 2018 alternativement des chercheurs de la mécanique des fluides et de la mécanique du solide pour des travaux remarquables réalisés pour l'aéronautique et de l'aérospatial.



### Prix de thèse AMPERE

Attribué à **Vincent Andraud**, décerné par la SEE (Société de l'électricité et de l'électronique).

## Première édition des « Prix ONERA internes »

L'objectif est de récompenser des ingénieurs et des techniciens qui contribuent par leur excellence scientifique et/ou technique au dynamisme et à la renommée de l'ONERA. Ces prix, décernés tous les trois ans, en synchronie avec le mandat du haut conseil scientifique de l'ONERA (HCS), sont les suivants :

#### Prix de la réalisation technique

L'équipe **ACCÉLÉROMÈTRES** composée de Manuel Rodrigues, Bruno Christophe, Joël Bergé, Damien Boulanger, Mickael Chavagnac, Ratana Chhun, Marine Dalin, Phuong-Anh Huynh, Vincent Lebat, Françoise Liorzou, Alexandre Rebray, Nicolas Tanguy, Judicaël Bedouet, Patrice Carle, Stéphanie Lala. Ce prix récompense toutes les réussites de l'équipe en matière d'accélérométrie spatiale.

En outre, dans le cadre de ce prix, une mention spéciale a été décernée à l'équipe du projet HORUS composée de Marlon Botte, Laurent Marcellin, Fabien Méry, Rémi Roncen, pour la conception et la réalisation d'une source acoustique de référence innovante adaptée aux souffleries.

#### Prix jeune talent

**Michaël Scherman** pour ses travaux sur la spectroscopie Raman, notamment appliquée à la mesure dans les écoulements réactifs.

#### Prix de la recherche scientifique

**Sébastien Deck** pour ses travaux sur la modélisation et la simulation de la turbulence appliquée au domaine ASD.

## Prix des doctorants

Chaque année, un jury sélectionne, dans chaque domaine scientifique, la meilleure thèse de 3<sup>e</sup> année. Objectif : encourager les doctorants, leur fournir une référence exploitable par la suite, et distinguer les travaux remarquables qui pourront faire l'objet d'une valorisation particulière.

**Lauréats 2023** : **Dijwar Yilmaz** [DPHY], « Synthèse et caractérisation de matériaux polymères autocatrisants en environnement spatial radiatif » - **Hanae Labriji** [DTIS], « Imagerie d'ombre des satellites » - **Bruno Mangin** [DAAA], « Modélisation de la propagation acoustique en présence d'une géométrie complexe et d'un écoulement hétérogène » - **Lisa Audouard** [DMAS], « Conception et caractérisation de matériaux ultra-haute température à gradient de propriétés ». - **Alexandre Suss** [DAAA], « Couplage des méthodes lattice Boltzmann et Navier-Stokes pour les simulations aérodynamiques instationnaires »

## Des engagements forts

### Des chaires scientifiques

L'ONERA a mis en place un dispositif interne de chaires destinées à structurer des projets de recherche collaborative entre l'ONERA et des acteurs académiques et/ou industriels dans des domaines à fort enjeu stratégique et de portée industrielle et sociale importante.

Ces chaires servent également à favoriser le transfert technologique entre la recherche et l'industrie ainsi que le développement d'actions de formation.

Trois chaires inaugurent en 2023 ce dispositif :

- MUSIC – titulaire **Élise Colin** – « Nouveaux traitements des images satellitaires pour l'analyse des dynamiques de la planète », avec le DLR, CentraleSupélec, Sondra, Kanop, Telecom ParisTech.

- PROVE – titulaire **Denis Sipp** – « Modèles physiques hybrides pour la propulsion aéronautique verte », avec l'INRIA et la région Nouvelle-Aquitaine.

- Voir à travers le brouillard – titulaire **Serge Meimon**, avec l'Institut Langevin (ESPCI Paris, CNRS).



Élise Colin

Denis Sipp

Serge Meimon



### Bourse du Conseil européen de la recherche (ERC) à Rémi Roncen pour le projet POROLEAF

Rémi Roncen figure parmi les 400 scientifiques sélectionnés par le Conseil européen de la recherche en 2023.

Jeune chercheur ONERA spécialiste de la combustion et de l'aéroacoustique en milieu poreux, il a ainsi obtenu une bourse ERC « Starting Grant » pour son projet de recherche sur la **dynamique des flammes immergées au sein de matériaux poreux (POROLEAF)** – une thématique encore peu explorée, à l'interface des différentes physiques de l'énergétique. Il bénéficie ainsi d'une allocation de 1,5 M€ sur une durée de cinq ans, qui lui donnera la possibilité d'embaucher trois doctorants et deux post-doctorants.

## Distinctions

**Riad Haidar**, directeur scientifique général de l'ONERA, a été nommé au conseil scientifique du CNRS

Le conseil scientifique du CNRS a été renouvelé en 2023 pour cinq ans. Composé de 30 membres, il veille à la cohérence de la politique scientifique du CNRS en liaison avec l'ensemble des instances scientifiques consultatives du Comité national de la recherche scientifique.

En juillet 2023, l'ONERA et le CNRS ont par ailleurs renforcé leur collaboration en cosignant un accord-cadre pour une recherche aérospatiale de pointe.

**Antoine Godard**, directeur scientifique du domaine physique, a été élu président entrant de la Société française d'optique.

**Denis Gély**, ONERA, a été nommé membre de l'une des plus importantes associations professionnelles du secteur aérospatial : l'AIAA (American Institute of Aeronautics and Astronautics).



Riad Haidar



Antoine Godard



Denis Gély

FAITS MARQUANTS

---

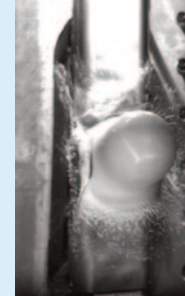
2023





Configuration de référence en veine. Vitesse de l'écoulement : 60 m/s.

## Structures aéronautiques : essais d'impact d'oiseau sur les systèmes de protection des structures d'ailerons laminaires



Les canons à air de l'installation d'essais d'impact haute énergie du centre de Lille ont été employés – pour la première fois dans le laboratoire – pour simuler l'impact d'oiseau.

Objectif : évaluer les performances d'un système

de protection contre ce type de menace développé par la société AERNNOVA et dédié à la protection du longeron principal de l'aile. Le projet HLFC-Win (financé par l'Union européenne au sein du programme CleanSky2) est dédié à la conception et à la fabrication d'une structure d'aile d'avion basée sur une technologie de laminarité hybride HLFC (Hybrid Laminar Flow Control).

Le centre ONERA de Lille dispose d'une installation constituée de trois canons à air permettant d'atteindre des vitesses d'impact jusqu'à 220 m/s. Montés sur un système de rails élévateurs autorisant le réglage du point d'impact sur la cible, ils sont activés selon la taille des projectiles considérés. Ce dispositif d'essai est régulièrement utilisé pour des problématiques d'impacts de glace, de débris composites ou pneumatiques. Pour satisfaire aux conditions de taille de projectile (oiseau en matériau substitut – gélatine – de quatre livres), les essais ont été menés avec le canon de plus grand diamètre, pour différentes vitesses (maximum 140 m/s).

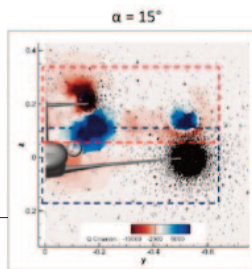
## Quantique : première réunion du conseil scientifique du laboratoire QTech

Le conseil scientifique du laboratoire QTech (laboratoire transverse de l'ONERA pour les technologies quantiques) a tenu sa première réunion le 24 janvier 2023, présidé par Alain Aspect (prix Nobel de physique 2022) et composé de Cyril Allouche (ATOS), Fabien Bretenaker (CNRS, LuMin), Fabrice Devaux (UFC-Besançon, FEMTO-ST), Eleni Diamanti (CNRS, LIP6), Pierre Rouchon (Mines ParisTech) et Sébastien Tanzilli (CNRS, Institut de physique de Nice). Quatre axes du laboratoire ont notamment été présentés : calcul quantique, communications quantiques, optronique quantique et capteurs atomiques. Le conseil a particulièrement apprécié le dynamisme du laboratoire QTech après seulement un an d'existence, ainsi que le séminaire du laboratoire. Il a formulé des recommandations pour aider au démarrage des activités les plus prospectives, notamment les axes calcul quantique et optronique quantique. Le conseil se réunira une fois par an pour suivre les avancées du laboratoire.

## Nouvelles configurations d'aéronefs : atout des essais en soufflerie dès l'avant-projet

Grâce à l'impression 3D (fabrication rapide et à moindre coût de maquettes modulaires avec une bonne précision géométrique), les tests en soufflerie peuvent être utilisés dès la phase d'avant-projet d'un nouveau concept d'aéronef. Une campagne d'essais a ainsi été menée dans la soufflerie de Lille en collaboration avec Dassault-Aviation, dans le cadre du projet NACOR (New Innovative Aircraft Configurations) du partenariat européen CleanSky2, pour mesurer l'impact de différentes largeurs de fuselage et variantes d'empennage sur les performances aérodynamiques et les qualités de vol d'un avion d'affaire à fuselage large.

Mise en évidence par PIV des tourbillons de bout d'aile et d'empennage.



L'introduction d'un fuselage large nécessite une « ré-optimisation » globale de la configuration : cette phase de pré-design requiert donc l'évaluation d'un grand nombre de géométries variées. La fabrication de pièces par prototypage rapide a permis de combiner trois largeurs de fuselage, quatre types d'empennages et deux positions des moteurs.

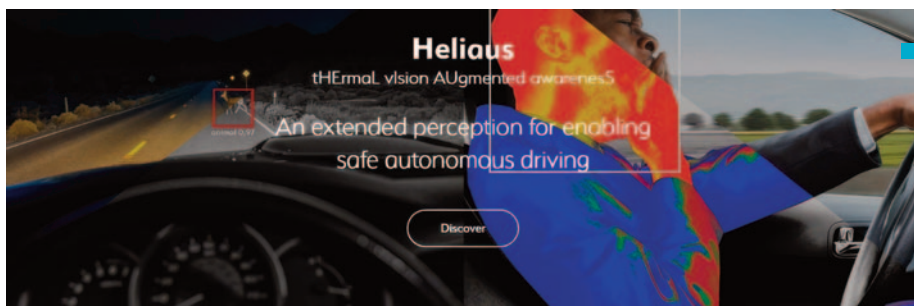
Ces essais ont montré que l'empennage en T est la configuration la moins sensible aux variations de largeur de fuselage. La stabilité de l'avion est dégradée lorsque les autres géométries d'empennage sont combinées aux fuselages larges. L'augmentation de la largeur du fuselage a un effet négatif non linéaire sur la stabilité globale de la configuration. L'intégration des données expérimentales dans les codes de dimensionnement rapide a aussi permis d'enrichir les modèles de dimensionnement des empennages.

## Facteurs humains : campagne expérimentale

Dans le cadre d'une thèse menée au département traitement de l'information et systèmes de l'ONERA, une campagne d'essais en vol hélicoptère a été menée, dans le but de caractériser et modéliser l'activité biomécanique du bras du pilote. Il s'agit de contribuer à l'évolution des méthodes d'évaluation des qualités de vol des hélicoptères, en introduisant de nouvelles techniques d'analyse et de modélisation biomécanique de l'activité de pilotage (en les intégrant à la démarche normative existante). Durant ces vols, l'acquisition de données cinématiques, électromyographiques et subjectives (réponses à des questionnaires établis) visait à caractériser le coût cognitif inhérent à l'activité de pilotage lors de manœuvres où la difficulté de la tâche était manipulée.



## Optique : première image infrarouge avec un microbolomètre de pas pixel 8,5 µm



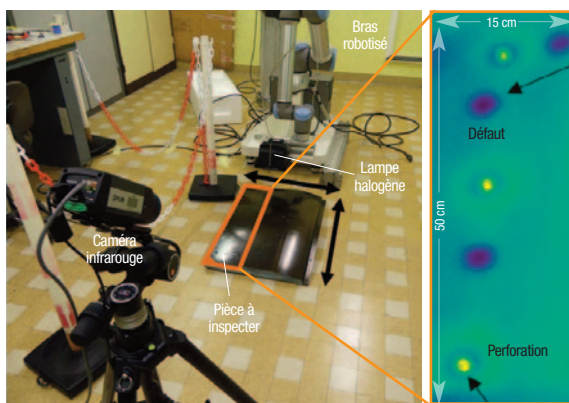
Projet européen « thermal vision augmented awareness ».

Une première image infrarouge avec un microbolomètre de pas pixel 8,5 µm a été obtenue avec une solution optique proposée par l'ONERA dans le cadre du projet européen « thermal vision augmented awareness » de la JU (Joint Undertaking) ECSEL. Ce projet entendait intégrer, dans le domaine de l'automobile, l'imagerie thermique pour la surveillance de l'habitacle et l'aide à la conduite, deux éléments essentiels dans le cadre de la mobilité future. L'application au marché industriel de l'automobile impliquait, pour les 12 partenaires, de viser des caméras thermiques à bas coût. Au cours des 41 mois du projet, la technologie clé de ce projet a été le développement de détecteurs microbolométriques avec un très petit pas pixel de 8,5 µm, conciliant performance et coût. L'ONERA a participé à la partie optique du projet, par la conception d'objectifs complémentaires de détecteurs microbolométriques, avec ces fortes contraintes. Pour cela, l'ONERA a étudié des solutions utilisant des verres en chalcogénure de fort indice de réfraction ainsi que des solutions compatibles avec des méthodes de fabrication d'optiques sur wafer. Le projet a permis une avancée dans le développement de systèmes perceptifs pour une conduite autonome.



Première image infrarouge avec un microbolomètre de pas pixel 8,5 µm [QVGA (320 x 240 pixels)], optique de longueur focale 3,9 mm ouverte à F/1,2).

## Contrôle santé : une méthode autonome pour l'inspection des pièces aéronautiques

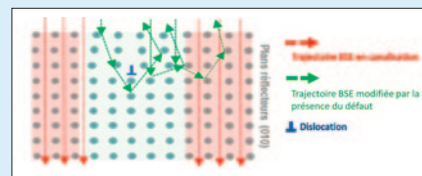


L'ONERA a mis en place des stratégies d'automatisation d'inspections non-destructives de pièces aéronautiques de dimensions métriques, dans le but de fiabiliser et d'accélérer les opérations de maintenance. Le laboratoire Contrôle non destructif (CND) de l'ONERA s'est récemment doté d'un bras robotique 6 axes sur lequel un excitateur thermique embarqué, de type lampe halogène, permet de balayer en « peigne de Dirac » (succession de flashes) des structures de

formes complexes, comme un tronçon de fuselage. L'acquisition des cartographies est obtenue au moyen d'une caméra infrarouge placée devant le bras robotisé. Le traitement mis en place, basé sur une décomposition en valeurs singulières et une extraction des fonctions orthogonales résultantes permet, à moindre coût, de générer une imagerie temps réel des défauts recherchés. La perspective immédiate consistera à embarquer une seconde caméra, visible, sur le bras et à proposer une approche de contrôle couplant l'imagerie infrarouge à l'imagerie visible afin d'optimiser encore le procédé de CND. Ces travaux ont été effectués dans le cadre du projet DGAC EXAM, en coopération avec Airbus.

## Matériaux : technique originale d'imagerie des dislocations par MEB

Afin d'accroître le panel de caractérisations au sein du laboratoire de microscopie électronique à balayage (MEB) de l'ONERA, une technique d'imagerie, rendant possible l'observation des dislocations, a été implémentée avec succès sur l'un des microscopes. L'ECICI (Electron Channeling Contrast Imaging) permet aujourd'hui l'observation des dislocations sur un échantillon massif grâce au phénomène de canalisation. Lorsque les plans atomiques sont soigneusement alignés avec le faisceau d'électrons, les électrons incidents sont dits « canalisés » et peu de signal BSE (électrons rétrodiffusés) est renvoyé au détecteur (trajectoires rouges). La présence d'une dislocation va perturber l'arrangement des plans atomiques localement. Ainsi, la trajectoire des électrons va être modifiée, ce qui va engendrer une augmentation des électrons BSE renvoyés au détecteur, rendant ainsi le défaut cristallin visible sur l'image acquise. Cette technique, complémentaire aux analyses de microscopie électronique à transmission (MET), peut être utilisée sur la grande majorité des familles d'alliages avec l'avantage de pouvoir analyser de façon non destructive de plus larges zones et ainsi améliorer notre compréhension des mécanismes d'endommagement.



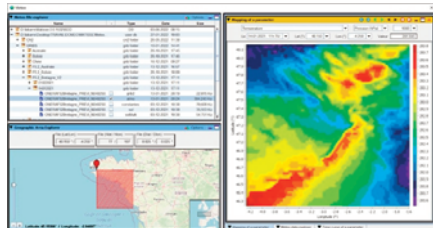
## Matériaux énergétiques : nouvelles capacités de caractérisation mécanique multi-instrumentée de propergols



L'ONERA vient d'installer, en zone pyrotechnique, une nouvelle machine d'essais quasi statiques associée à un système de caméras, afin de caractériser le comportement mécanique de propergols dans des conditions expérimentales contrôlées de température et d'hygrométrie.

Le but : maîtriser la combustion, notamment l'optimisation de la formulation physico-chimique des nouveaux propergols, dans toutes les phases de vol des véhicules propulsés. La machine d'essais quasi statiques fournit les données machine classiques (force et déplacement des mors) et le système de caméras permet de mesurer les champs mécaniques locaux. Ce procédé est rare pour l'étude des matériaux propergols en zone pyrotechnique. D'autant que la quantification des déformations nécessite de déposer sur le propergol un motif très fin, qui constitue un ensemble de points de référence dont le mouvement dans l'espace peut être suivi par le logiciel de CIN. Lors d'une première campagne, ce motif très fin a été réalisé avec succès, ce qui constitue une réelle avancée et permet à l'ONERA de répondre à ses besoins propres de caractérisation de la réponse mécanique de matériaux énergétiques représentatifs, et à ceux de ses clients.

## Optronique : qualification par la DGA du code MATISSE 3.6, couplé avec les prévisions Météo France



La DGA a prononcé la qualification de MATISSE 3.6 (code de transfert radiatif atmosphérique développé à l'ONERA depuis plus de vingt ans), ce qui en fait la nouvelle version de référence, distribuée aux établissements DGA, industriels et académiques qui en font la demande, sous condition de licence.

Cette nouvelle version offre la possibilité de prendre en entrée des sorties des modèles de prévision de Météo France. Il est ainsi possible de prédire les performances sur 24 heures du contraste en température inhérente ou apparente entre deux matériaux naturels ou manufacturés, ou des grandeurs radiatives, pour de la préparation de mission (aide à la décision tactique). Une autre fonctionnalité permet de réaliser des statistiques de performances à une localisation géographique donnée n'importe où sur le globe, sur une profondeur temporelle de quatre ans, avec les données de rejeu issues des modèles Météo France. Cette version sera accompagnée par un service de production de données spécifiques pour MATISSE disponible chez Météo France. Elle comporte également un nouveau module thermique pour les calculs de contraste alimenté directement par les données météo. La première formation MATISSE sera dispensée dans le cadre d'ONERA Academy.

## Technologies quantiques : premières mesures de champ micro-ondes avec des atomes froids de Rydberg

Des premières mesures de champ micro-ondes à l'aide d'atomes froids placés dans un état de Rydberg viennent d'être réalisées à l'ONERA. Dans un tel état, un électron de valence, chargé négativement, se trouve dans une orbitale très éloignée du noyau, chargé positivement. L'atome présente alors un grand dipôle électrique le rendant très sensible aux champs électriques environnants, ce qui permet, à partir d'un ensemble d'atomes refroidis par laser, de réaliser des mesures de champ électromagnétiques de précision.

Cette technique présente également d'autres avantages par rapport aux méthodes conventionnelles à base d'antennes conductrices : le fait d'être auto-calibré, d'avoir une taille de capteur indépendante de la longueur d'onde à mesurer ou d'être accordable sur une large gamme de fréquence entre la centaine de MHz et le THz.

Cette technique de mesure, appelée « *trap loss spectroscopy* », n'avait jamais été mise en œuvre pour la mesure de champ électromagnétique. Elle offre une meilleure linéarité du facteur d'échelle par rapport aux techniques habituelles mises en œuvre dans des vapeurs thermiques, ainsi que la possibilité de mesurer à la fois la fréquence et l'amplitude du champ micro-ondes à partir des amplitudes respectives et de la position des deux pics.

## Téledétection : un lidar à 500 mètres sous terre

Dans le cadre du contrat Calisto 2 de l'Andra (Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs), l'ONERA a réalisé avec succès, dans le laboratoire de recherche souterrain de son centre de Meuse/Haute-Marne, des premiers essais *in situ* de caractérisation à distance de l'atmosphère (hydrogène, oxygène, azote, humidité relative), d'un démonstrateur d'alvéole de stockage pour les déchets vitrifiés de haute activité. Dans les conditions expérimentales de mesures (alvéole ouvert), le lidar atmosphérique développé par l'ONERA a permis de retrouver la composition de l'air, sans mise en évidence de gradient de concentration. Ce lidar atmosphérique détecte la diffusion Raman par les molécules d'hydrogène, d'oxygène, de vapeur d'eau et d'azote pour en déduire leur concentration. Le projet Cigéo (Centre industriel de stockage géologique) prévoit le stockage des déchets radioactifs français de haute activité et moyenne activité à vie longue à 500 mètres de profondeur. Pendant la période d'exploitation de Cigéo (scellement définitif programmé pour 2150), il est envisagé de surveiller l'évolution de l'atmosphère de certains alvéoles témoins instrumentés.



En haut de gauche à droite : alignement du système d'émission/réception avec le pointeur vert, miroir de renvoi du faisceau et lidar positionné pour tirer dans l'alvéole. En bas : équipes ONERA-Andra

## Matériaux chauds : nouvelle capacité d'analyse cristallographique à ultra-haute température



(Anton Paar)

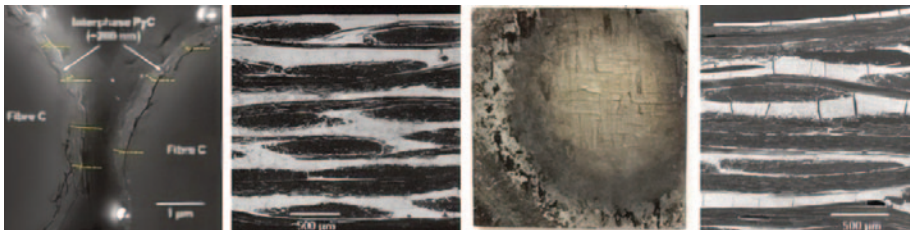
Chambre haute température HTK 2000 N.

L'ONERA a mis en place, au sein du laboratoire de diffraction des rayons X (DRX), un dispositif permettant l'étude *in situ* de l'évolution des propriétés structurales et cristallographiques des matériaux, jusqu'à 1 600 °C sous air, azote ou hélium ainsi que jusqu'à 2 300 °C sous vide.

L'analyse DRX *in situ* résolue en température permet d'étudier de nombreux phénomènes physico-chimiques parmi lesquels la cristallisation des nanomatériaux et des couches minces, la recristallisation et la croissance des grains (cristallites), la stabilité et/ou la transition des phases ou encore la précipitation et l'oxydation des matériaux. Le coefficient de dilatation thermique peut également être déterminé à partir de ces analyses.

Une première campagne expérimentale a permis d'étudier la formation d'une phase ultraréfractaire à base d'hafnie, mise en œuvre comme barrière thermique dans des matériaux à gradient de propriétés ultraréfractaires. Ces matériaux en cours de développement (R&T CNES et thèse ONERA-CNES) sont destinés à être utilisés comme alternatives dans le système de propulsion des satellites. Les analyses par DRX *in situ* jusqu'à 2 000 °C ont permis de mieux comprendre les mécanismes physico-chimiques agissant lors de la cristallisation et la synthèse de ces phases, leurs structures cristallographiques et leur stabilité, contribuant à l'optimisation du processus d'élaboration.

## Matériaux : des matériaux ultraréfractaires pour des applications en conditions extrêmes



(De gauche à droite) Interphase en PyC - coupe d'un composite UHTCMC après élaboration - surface et coupe du composite après un essai d'oxydation de 5 min, à 2200°C, sous air.

### L'ONERA développe des matériaux ultraréfractaires pour des applications à des températures supérieures à 2000°C en environnement oxydant. Ils présentent des performances mécaniques élevées tout en conservant la bonne résistance à l'oxydation.

Leurs performances ont été accrues en travaillant sur la qualité de l'imprégnation des tissus par la matrice et en introduisant une interphase fibre/matrice en pyrocarbone obtenue par dépôt en phase gazeuse. Les essais mécaniques ont confirmé l'apport essentiel de cette interphase pour obtenir un comportement mécanique non fragile du matériau.

En parallèle, des travaux ont montré leur bonne résistance sous air à très haute température. Des évolutions sont encore envisagées pour augmenter les capacités de résistance de ces matériaux composites : intégration de nouvelles natures de matrice fondées sur les études sur monolithes. Des solutions quasi incontournables pour un grand nombre de besoins actuels et futurs.

## Santé des structures : des capteurs caractérisés en conditions cryogéniques

La question des réservoirs à hydrogène nécessite une adaptation des approches de surveillance de la santé des structures (SHM) à des conditions cryogéniques.

L'ONERA a mesuré, dans une gamme de température rarement abordée (entre 300 K et 15 K), les propriétés de capteurs à ultrasons, grâce à l'acquisition d'un cryostat à hélium liquide, qui permet de soumettre des capteurs SHM, à des températures descendant jusqu'à 10 K. L'instrumentation avec le cryostat permet de vérifier la tenue et la durabilité des capteurs dans cet environnement extrême, mais surtout de les calibrer en température, afin de prendre en compte les éventuelles dérives de leur réponse et de remonter aux grandeurs acoustiques et thermomécaniques dont l'évolution est suivie pendant un vol ou une mission. Une première campagne de cyclages thermiques a permis de mesurer les variations de l'impédance et donc des propriétés des capteurs ultrasonores. Le montage développé permettra, à terme, de caractériser d'autres types de capteurs comme les FBG (fibres optiques à réseau de Bragg) ou encore d'étudier l'évolution des propriétés des systèmes lors de cyclages thermiques à très basse température.



Caractérisation d'un capteur SHM sous environnement cryostat He liquide

## Hypersonique : validation d'une électronique embarquée en soufflerie



La capacité de traiter et de transmettre au sol les données de vol revêt un caractère primordial pour le CEA dans le cadre des essais en vol d'engins balistiques. La campagne CCF12, réalisée en collaboration avec le CEA/CESTA dans une soufflerie hypersonique ONERA de Meudon, a permis de valider au sol le fonctionnement d'une UATE (unité d'acquisition et de traitement embarquée) conçue par le CEA dans la perspective d'une utilisation en vol. Ce boîtier, d'encombrement réduit,

permet d'alimenter des capteurs puis d'en conditionner, numériser et traiter le signal. Des trames numériques sont ensuite émises par le boîtier afin de ne transmettre que la donnée la plus pertinente. Cela permet de tirer au maximum profit du débit limité qu'offre la télémetrie lors des essais en vol. La campagne a validé le bon comportement de l'électronique embarquée (robustesse et performance en environnement représentatif). Les mesures réduites ont été comparées à celles issues des acquisitions de référence ONERA et CEA, validant ainsi ses performances et la pertinence des traitements embarqués.

## Optique : campagne aéroportée Nanocarb pour la mesure de gaz à effets de serre

Pour les besoins d'une campagne aéroportée, l'ONERA et l'Université de Grenoble Alpes ont développé conjointement des caméras Nanocarb, des spectro-imageurs très compacts, dédiés à la mesure d'un gaz spécifique, CO<sub>2</sub> et CH<sub>4</sub>.

M. Menée avec le CNRS, Météo France, CnesSafire, et le Service des avions français instrumentés pour la recherche en environnement, la campagne, cofinancée par le CNES, visait à démontrer la capacité des caméras Nanocarb, jointes à une caméra hyperspectrale, à détecter le panache de CO<sub>2</sub> émis par une centrale thermique.

La campagne a permis de mesurer le panache émis par la centrale de Belchatów (Pologne), l'une des plus grandes centrales à charbon européennes. Les images hyperspectrales acquises par la caméra hyperspectrale Fenix, mise en œuvre par l'ONERA, fourniront des informations complémentaires sur le contenu en aérosols et la réflectance du sol.



Photo de la centrale Belchatow (Pologne) prise le 8 octobre 2023 depuis l'avion instrumenté.

## Propagation optique : succès de la campagne de mesures OTAN SET-304

Une campagne d'expérimentation multi-instruments a été menée sur la base laser du site ONERA du Fauga-Mauzac dans le cadre du groupe OTAN SET-304. L'objectif : accroître la maîtrise des phénomènes qui affectent la propagation d'une onde optique à travers la turbulence.

Différentes expérimentations ont été menées sur les cinq jours d'acquisition de données : imagerie de mires pour le développement de méthodes innovantes de traitement, analyse de front d'onde sur objets étendus et mobiles, caractérisation des effets de la turbulence sur la propagation de faisceaux optiques, des sujets qui ont bénéficié des moyens uniques de la base laser de l'ONERA (scintillogrammétrie, caractérisation des conditions météorologiques). Le groupe était constitué d'équipes du FFI (Norvège), du FOI (Suède), du Fraunhofer IOSB (Allemagne), de TAI et TUBITAK (Turquie), du RDDC (Canada), de l'US Army (USA), de TNO (Pays-Bas) et de l'ONERA.



## Robotique : participation remarquée de l'ONERA au challenge COHOMA II

L'ONERA a participé au *challenge CoHoMa II*, au sein d'une équipe constituée de l'ISAE-Supaero, l'ENAC, le LAAS-CNRS et Scalian. Ce *challenge*, organisé par le Battle Lab Terre de la STAT (section technique de l'armée de terre), visait à fournir aux opérateurs, embarqués dans un véhicule blindé, un système lui permettant de déployer des robots aériens et terrestres autour de son véhicule pour surveiller la situation, identifier des menaces, et progresser de manière sécurisée dans son environnement. L'ONERA a pu mettre en avant ses travaux sur l'autonomie décisionnelle et l'interaction homme-systèmes lors de la visite du Général d'armée Pierre Schill, chef d'état-major de l'armée de terre.



L'équipe a présenté les différentes briques technologiques développées pour le *challenge* : les travaux en navigation autonome, déplacement autonome en flotte, autonomie décisionnelle et système de contrôle-commande et d'aide à la décision pour les opérateurs. La participation ONERA a été remarquable et a permis d'affirmer son rôle d'expert dans le domaine de l'autonomie des systèmes robotiques, mêlant travaux de recherche et capacités expérimentales.

## Hypersonique : Une meilleure compréhension de la transition lumineuse-turbulent

La compréhension physique de ce sujet est un enjeu important pour la conception et la prévision des performances des missiles et des planeurs hypersoniques. La campagne expérimentale sur le corps BOLT (Boundary Layer Transition), réalisée en partenariat avec le CEA-CESTA, dans une soufflerie hypersonique ONERA, visait à analyser la transition de la couche limite sur une géométrie tridimensionnelle complexe. Les différentes techniques de mesure (thermographie infrarouge et capteurs de pression haute-fréquence, jusqu'à 300 kHz) ont ainsi mis en évidence les différentes étapes de la transition, en fonction du nombre de Reynolds et de Mach. Les sur-flux de chaleur à la paroi, associés au changement d'état laminaire/turbulent de la couche limite, ont été mesurés par une caméra infrarouge, tandis que des capteurs stationnaires ont permis une description locale de l'apparition, de l'amplification linéaire et de l'évolution non-linéaire d'instabilités transitionnelles. Ces mesures, les plus détaillées à ce jour au sein de la communauté, sont le fruit des savoir-faire ONERA en matière de mesures infrarouge et de fluctuations de pression pariétale à haute-fréquence.

Cette campagne a été menée dans le cadre d'une collaboration internationale OTAN.

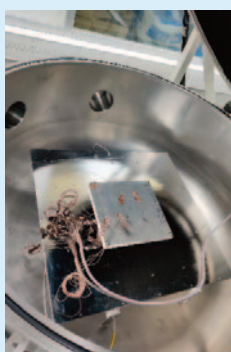


Maquette BOLT vue depuis la tuyère de la soufflerie et Évolution du flux de chaleur adimensionné en fonction du nombre de Reynolds montrant le développement des lobes turbulents (en rouge) à Mach 7

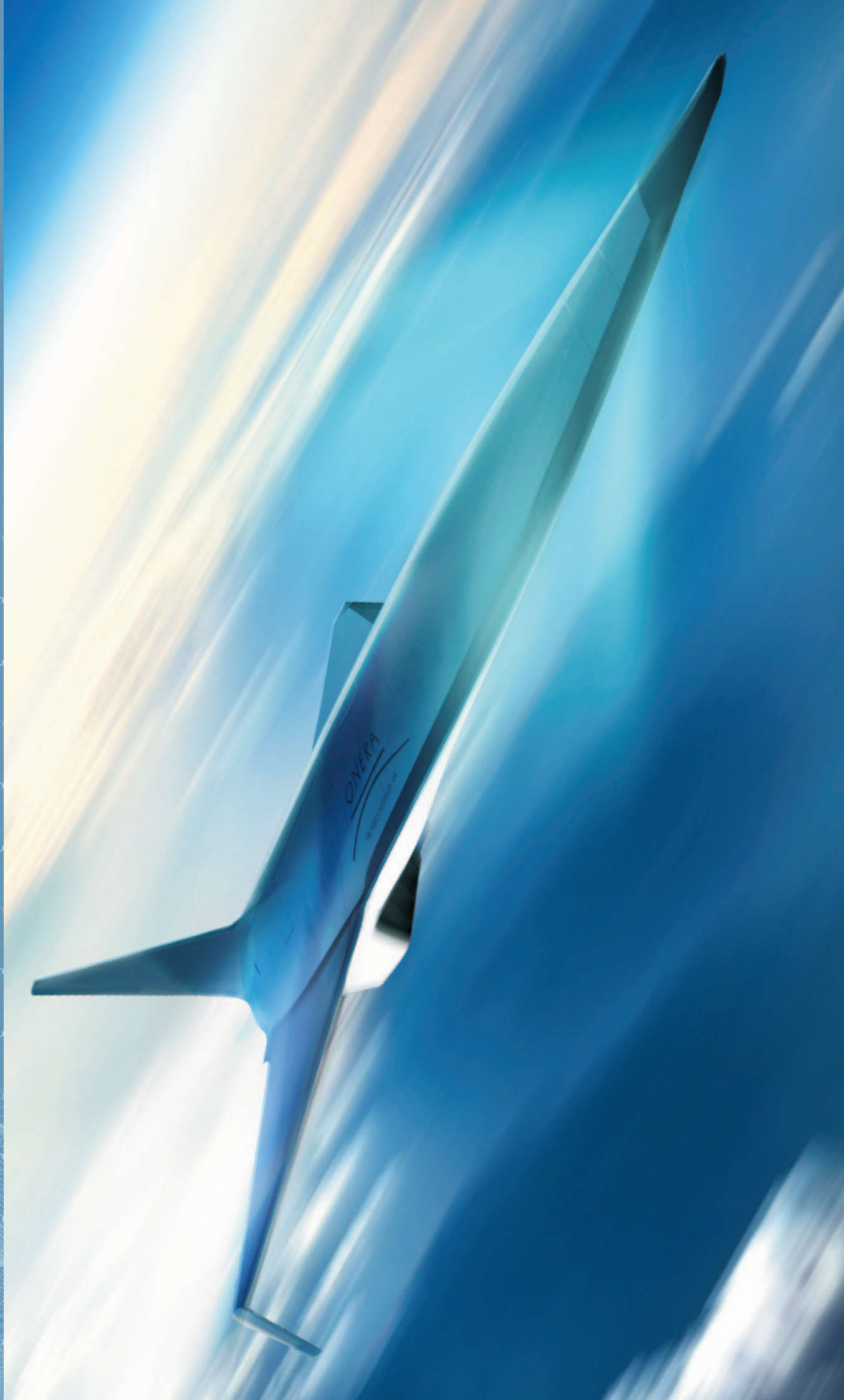
## Spatial : nouvelle capacité d'analyse thermique sous vide

L'ONERA dispose d'une enceinte à vide thermique pour simuler les conditions thermiques rencontrées dans le vide spatial. Elle permet de soumettre le dispositif à tester à un profil de température sur la plage  $[-35^{\circ}\text{C}, +80^{\circ}\text{C}]$ , tout en maintenant un vide secondaire (pression inférieure à  $1.10^{-5}$  hPa) pendant l'essai. Autorisant une descente en température du spécimen sous la température de point de rosée sans risque de condensation sur les électroniques, il est possible d'y effectuer des tests de performance ainsi que des tests de qualification sous vide. Cet environnement représentatif du vide spatial va permettre de caractériser finement les sensibilités thermiques des boîtiers d'électroniques des accéléromètres ultra-sensibles de l'ONERA, permettant d'améliorer leurs performances.

Compatible avec les spécifications de contrôle d'empoussièrement des agences spatiales européennes (CNES, ESA) et internationales (NASA), car située dans une salle ISO 8, cette enceinte peut également accueillir de petites charges utiles ou encore un CubeSat entier (jusqu'à 6U).



# DÉFENSE



# L'ONERA ACTEUR DE RÉFÉRENCE EN HYPERSONIQUE

Depuis les années 1950, l'ONERA, en tant qu'opérateur sous tutelle du ministère des Armées, mène les recherches nécessaires pour doter la France d'équipements de pointe. Ses travaux s'inscrivent dans la loi de programmation militaire 2019-2025. Ils couvrent la furtivité active, la fusion des données multi-capteurs ou l'autonomie décisionnelle, et, bien entendu, l'atteinte de très hautes vitesses pour les missiles et les aéronefs : concernant l'hypersonique, l'ONERA peut s'appuyer sur ses compétences dans les domaines de l'aérodynamique, de la propulsion, des matériaux, de la thermique ou de la furtivité. L'hypersonique est porté à l'ONERA essentiellement par l'activité menée au profit de nos deux composantes aéroportée et balistique, mais elle concerne également des domaines connexes tels que l'avion hypersonique ou les planeurs.

## Projet ESPADON

### aéronef hypersonique militaire : concevoir l'avenir et anticiper la menace

**Avec le projet de recherche fédérateur ESPADON, l'ONERA répond à sa mission de prospective et d'analyse sur les verrous technologiques à lever pour une aéronautique militaire de demain disruptive et parer les nouvelles menaces auxquelles devront faire face nos futurs systèmes de défense.**

En tant qu'opérateur de l'État sous tutelle du ministère des Armées, l'ONERA concourt à doter la France d'équipements aéronautiques et spatiaux au meilleur niveau. Dans le cadre de ses missions de développement et d'orientation des recherches dans le domaine aérospatial, il est un partenaire clé du ministère des Armées et de l'industrie aéronautique et spatiale. Ainsi, le PRF ESPADON, mené à la demande de la DGA (Direction générale de l'armement), porte sur la conception d'un aéronef hypersonique militaire.

### L'ONERA, au travers de ce projet, répond à ses missions que sont :

- la veille et l'expertise au profit de l'État et des forces armées ;
- l'innovation et la prospective.

Ce projet s'appuie sur l'expérience de l'ONERA du vol hypersonique aérobie, développée depuis les années 1950, tout en bénéficiant *in situ* de l'ensemble des compétences nécessaires à la conception d'un aéronef. Il permet ainsi une étude globale mêlant aérodynamique, propulsion, matériaux, conception de capteurs et systèmes de systèmes.

Le PRF ESPADON est en premier lieu un cas d'étude permettant d'imaginer les contextes d'emploi, les missions ainsi que les capacités probables d'un tel aéronef et ainsi de définir la menace potentielle pour nos systèmes d'arme actuels et futurs. Avec le projet ESPADON, l'ONERA a pour objectif d'identifier les briques technologiques clés à maîtriser, voire de proposer des feuilles de route technologiques.

Ainsi, au travers de ce projet, l'ONERA consolide son rôle d'expert au profit de la DGA et des forces armées.

### L'ONERA a participé au vol d'essai du planeur hypervéloce V-MAX

La DGA a procédé, le 26 juin 2023, à un vol du V-MAX. Plusieurs équipes de l'ONERA sont impliquées dans ce programme jusqu'à l'exploitation des résultats de vol. M. Sébastien Lecornu, ministre des Armées, a félicité le travail des équipes de la DGA, de l'ONERA et d'ArianeGroup.

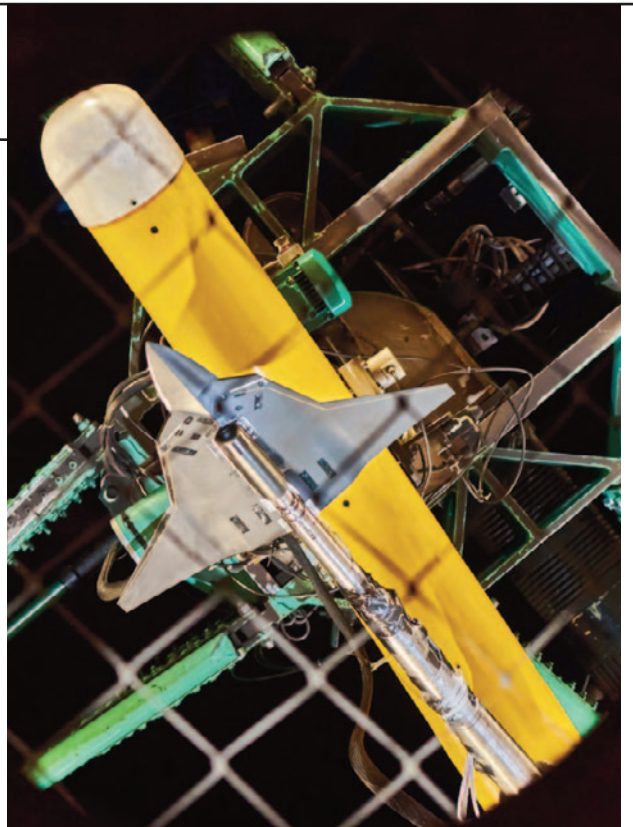


## Le projet SUPERMAN

Pour accompagner au mieux ses interlocuteurs, l'ONERA mène des projets en propre, afin de faire avancer ses connaissances. Le projet de recherche amont, SUPERMAN, mené sur ressources générales, a ainsi pour but d'étendre ses connaissances sur la manœuvrabilité des futurs concepts d'avions de combat.

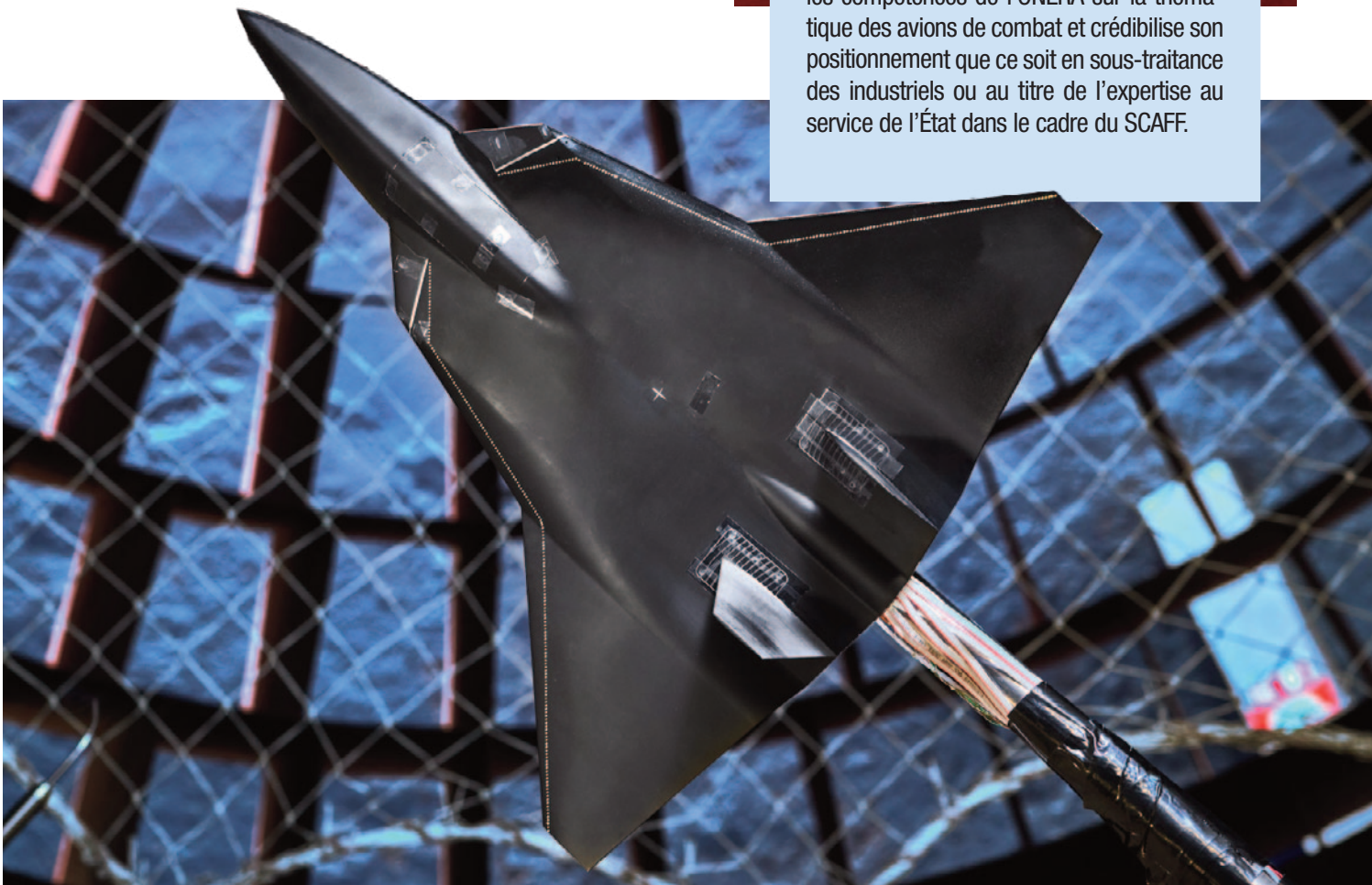
Une forme générique, qui pourrait être représentative d'un avion de combat futur, a été définie. Elle permet de caractériser expérimentalement les écoulements tourbillonnaires en régime de haute incidence, afin d'établir le lien entre les tourbillons et les efforts aérodynamiques.

Pour ce faire, les souffleries basses vitesses de Lille L1 et SV4 sont idéales et apportent des informations complémentaires. Le montage PQR de L1 (P : taux de roulis, Q : taux de tangage et R : taux de lacet) permet d'imposer des mouvements de rotation à la maquette autour de chacun de ses axes, et la balance rotative de la soufflerie verticale SV4 permet de documenter les effets de la rotation autour de l'axe du vecteur vent.



### Préparer le futur

Ce projet permet en particulier de renforcer les compétences de l'ONERA sur la thématique des avions de combat et crédibilise son positionnement que ce soit en sous-traitance des industriels ou au titre de l'expertise au service de l'État dans le cadre du SCAFF.



# SURVEILLANCE DE L'ESPACE : L'ONERA ACTEUR INCONTOURNABLE

## GRAVES : un atout stratégique majeur

Développé par l'ONERA dans les années 2000, grâce à son savoir-faire en traitement de l'information et en radar, le système de surveillance de l'espace GRAVES (grand réseau adapté à la veille spatiale) entretient un catalogue des objets en orbite basse, entre 400 et 1000 km d'altitude. Entré en service opérationnel en 2005, il permet à la France de disposer d'une source autonome et souveraine pour l'établissement de la situation spatiale, et de discuter de manière plus équilibrée avec les grandes puissances spatiales.

Afin de garantir le fonctionnement du système jusqu'en 2030 et de l'adapter aux évolutions du besoin opérationnel, la DGA a sollicité l'ONERA au travers d'un marché de rénovation et d'amélioration du système (gestion des obsolescences, amélioration du traitement du signal et de la capacité de détection, mise à jour des algorithmes de pistage et d'analyse orbitale). La tranche ferme de ce marché a été livrée à la DGA fin juin 2023 et réceptionnée. Les travaux se poursuivent pour améliorer encore la capacité du système.



## Évolution de la scène spatiale mondiale

En parallèle de ces travaux de rénovation, l'environnement spatial a beaucoup évolué avec l'arrivée de la dynamique du *New Space* : de multiples acteurs sont entrés sur le marché du spatial, ce qui a démultiplié la quantité d'objets en orbite suivis par le système. Des travaux complémentaires ont donc été décidés pour permettre au système de faire face à la forte croissance à venir de la taille du catalogue qu'il entretient.

Ces activités nécessitent d'importantes modifications de l'architecture du système de traitement. Le planning a donc été adapté pour répondre au mieux aux contraintes opérationnelles dans une démarche incrémentale, l'objectif étant de permettre à l'armée de l'air la poursuite de sa mission tout au long des travaux. L'ONERA travaille, en développant de nouveaux algorithmes et de nouvelles architectures de calcul, à assurer une transition contrôlée vers un système encore plus performant. Depuis plus de 20 ans, les notifications successives et la collaboration ininterrompue entre l'ONERA, la DGA, et les opérationnels de l'armée de l'air soulignent la reconnaissance du savoir-faire de l'ONERA.

## ASTAREON

Le 30 mai 2023, l'ONERA crée ASTAREON, sa première filiale, pour valoriser son savoir-faire historique et unique en Europe dans le domaine de la surveillance de l'espace. ASTAREON, nouvel acteur du *New Space*, fournira, dès 2024, des services de surveillance de l'espace pour répondre aux enjeux grandissants de sécurité et de sûreté dans l'espace.

ASTAREON s'appuie sur l'expertise et le savoir-faire de l'ONERA. Des ingénieurs experts du système de surveillance de l'espace GRAVES et des opérations associées forment le noyau d'expertise technique d'ASTAREON. Dès le début 2024, ASTAREON commercialisera des données de surveillance des objets en orbite basse, en s'appuyant sur la première station de réception passive MEDOC développée par l'ONERA. Cette station exploite le signal GRAVES et permet de détecter de manière autonome, et de restituer, les orbites d'objets en orbite basse. Après les premiers signaux captés en octobre 2023, sa qualification début 2024 permettra de fournir un service commercial très compétitif, qui s'appuie sur une solution technologiquement mature.



# NOUVELLE GÉNÉRATION DE RADARS : MAINTENIR À NIVEAU SES MOYENS D'ESSAIS

## Radar à ondes de surface (ROS)

L'effet d'ondes de surface permet aux radars HF côtiers l'observation des zones maritimes situées au-delà de l'horizon. Entre 2007 et 2010, l'ONERA a installé un premier démonstrateur sur le centre DGA de Biscarrosse (détection des petites cibles dans le fouillis de mer). En 2011, une version à antenne synthétique linéaire a été installée sur le site DGA de l'île du Levant. Le bon fonctionnement de l'antenne synthétique et ses performances ont été validés, mais le site ne permettait pas l'émission continue 24h/24.



Antennes de réception du ROS salins avec coffret solaire.



Rangée de six antennes d'émission.

Pour permettre de fournir des statistiques complètes, l'ONERA a démarré, courant 2021, l'installation d'un ROS sur le site des salins du Midi d'Aigues-Mortes. Le principe de l'antenne synthétique est étendu à une version à deux dimensions. Cela permettra de réaliser une formation de faisceaux en élévation, donc de réduire significativement le fouillis ionosphérique, et d'augmenter le nombre total d'antennes du réseau vir-

tuel sans arriver à une longueur de réseau trop importante.

Le radar, isolé, occupe une surface de plusieurs kilomètres carrés, et est situé dans une zone classée Natura 2000. L'ONERA a développé des antennes de faible hauteur en utilisant des fibres optiques pour transmettre les signaux analogiques sur de grandes distances. L'antenne d'émission élémentaire est constituée d'un couple

d'antennes en forme de T, en configuration « *end-fire* ». Dix-huit antennes de ce type ont été installées courant 2023, et le système d'émission complet est en cours de finalisation, début 2024. Le radar complet sera prêt pour les expérimentations, qui doivent avoir lieu en avril 2024, avec la présence de manœuvres militaires dans le golfe du Lion, dans le cadre de l'étude DGA SURMAR.

## Lutte anti-drones

**SAP est représentatif du besoin actuel des armées : des solutions innovantes, validées par les forces armées, et rapidement industrialisables.**

Le module DIAMOND développé par l'ONERA, cœur du logiciel SAP (*Single Air Picture*) a été déployé avec succès lors de la Coupe du monde de rugby 2023 dans le cadre des dispositifs de protection de stades contre les drones malveillants.

Ce logiciel a pour objectif de présenter une situation aérienne drone unique, aux services de défense et de sécurité chargés de la protection d'événements majeurs. Cette Coupe du monde de rugby a permis de tester l'ensemble des composantes de lutte anti-drones qui seront mise en œuvre pour les Jeux olympiques et paralympiques de Paris 2024.

La plus-value ainsi démontrée de SAP est sa capacité à optimiser la conduite des opérations de lutte anti-drones, en offrant une vision



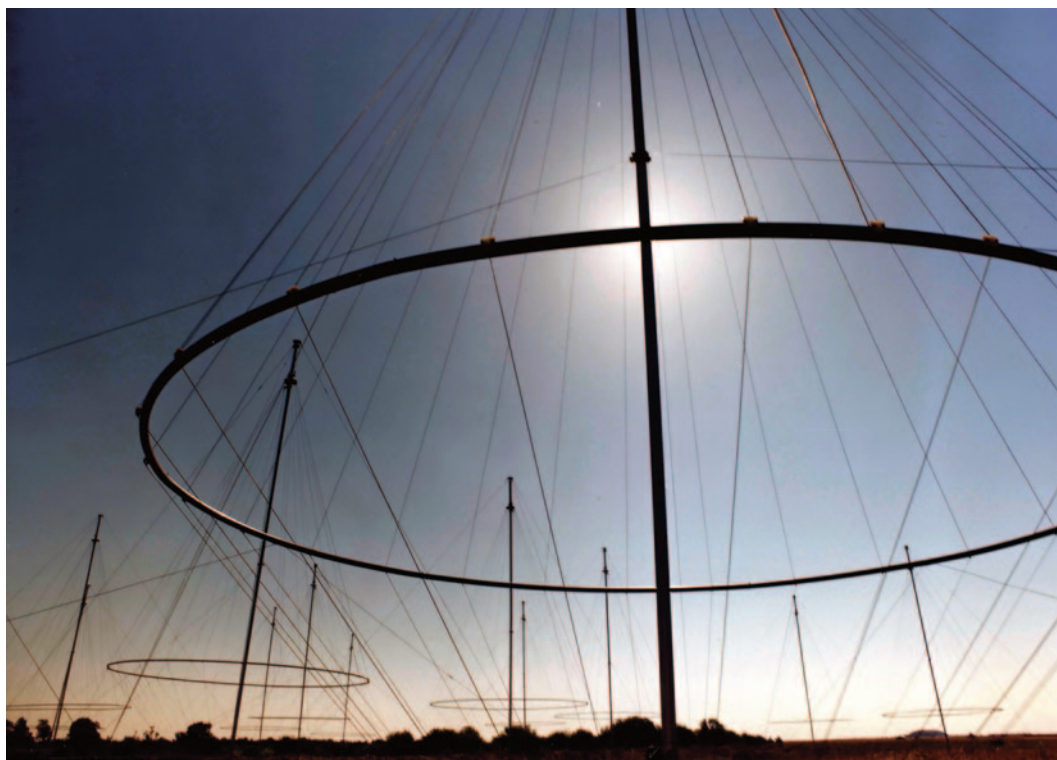
## NOSTRADAMUS

**L'ONERA possède une expertise dans le domaine des radars transhorizon à ondes de ciel fonctionnant en bande HF.**

Le démonstrateur NOSTRADAMUS est la première génération de radar transhorizon développé grâce au financement de la DGA. L'ONERA dispose, avec ce capteur, d'un outil unique, complet et autonome, capable de détecter des cibles au-delà de l'horizon.

L'ONERA ne cesse de maintenir à niveau ses moyens. Il a développé une seconde génération de radar transhorizon, le démonstrateur PEGASE, également sur financement DGA : pour cette nouvelle structure bistatique, le système de réception NOSTRADAMUS a été modifié pour fonctionner en continu. Les performances de PEGASE ont été analysées pour des applications de veille aérienne à grande distance et de veille balistique.

En 2023, dans la même dynamique de modernisation de ses installations, l'ONERA a initié l'amélioration des performances, de la sensibilité et de la disponibilité du capteur, avec un financement interne. Il reste ainsi un acteur majeur français dans le domaine du radar HF à onde de ciel dans la détection de cibles mobiles à grande distance.



Le démonstrateur est ainsi passé « en tout numérique » à l'émission et à la réception, en montrant l'apport de technologies innovantes de coût modéré. Des applications de type multifonctions et multicanaux pourront être envisagées avec un fonctionnement multifréquences, multicode, simultanés ou entrelacés pour de la veille radar, de l'écoute multisecteurs ou de nouvelles configurations (hybrides).

Des travaux ont également été réalisés pour adapter le capteur aux nouvelles conditions climatiques (réduction de l'élévation en température dans les fosses en période estivale).

En parallèle, l'ONERA est impliqué, comme leader technique, dans le projet européen iFurther consistant à développer un réseau de capteurs HF permettant la surveillance des frontières européennes.



synthétique et en temps réel des drones connus (média, forces de sécurité et de défense) et le cas échéant, des drones malveillants pouvant perturber le bon déroulement d'un événement majeur.

Ce logiciel va continuer à évoluer dans les mois à venir pour fournir d'autres fonctionnalités demandées par les opérationnels pour faire face à l'évolution rapide de la menace que représentent les drones.

# AERONAUTIQUE





# RÉDUIRE L'EMPREINTE ENVIRONNEMENTALE DES AVIONS DE TRANSPORT

## Réduction de la consommation



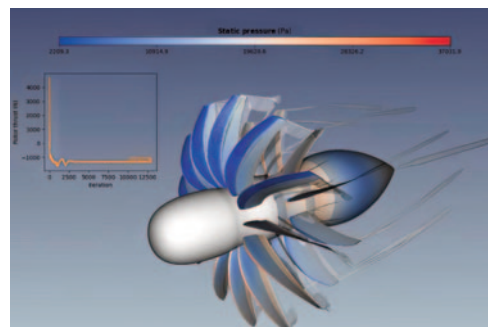
Awatar

L'ONERA mène des recherches sur les motorisations à fort taux de dilution (*open fan* en particulier) et sur les aspects intégration motrice et ailes à grand allongement. Toutes ces technologies ont été intégrées dans la configuration d'avion GULLHYVER, présentée au Salon du Bourget 2023. Ce concept d'*open fan*, fonctionnant à l'hydrogène, et pourvu d'une aile de

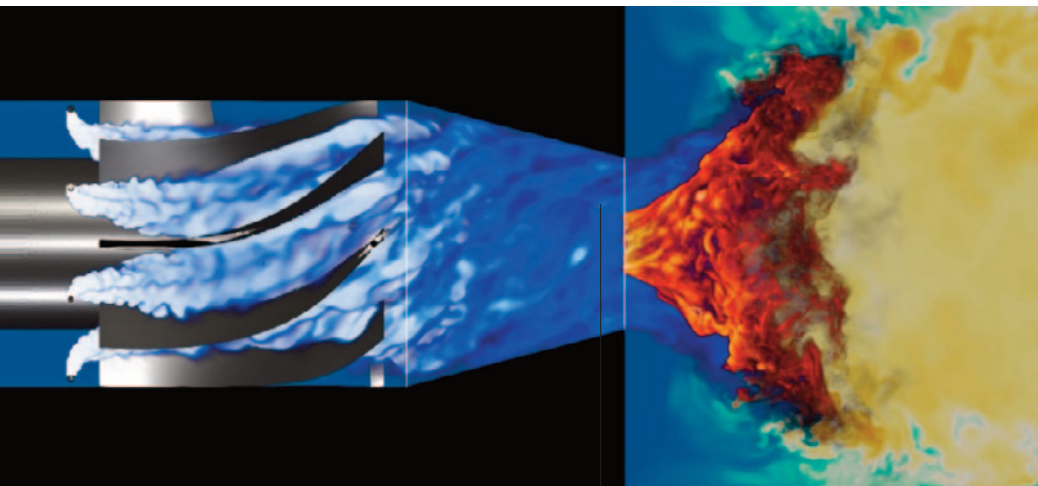
grand allongement, utilise un moteur à hélices non carénées.

Les explorations font appel à un processus de dimensionnement multidisciplinaire, ce qui permet d'identifier les bénéfices de chacune des nouvelles technologies étudiées séparément, mais également les gains additionnels liés à leur utilisation simultanée et complémentaires sur une configuration réaliste.

La thématique des ailes de grand allongement est par ailleurs étudiée dans le projet AWATAR (*Advanced Wing MATuration And integRation*), coordonné par l'ONERA, dont l'objectif est de développer des briques technologiques clés pour les futurs processus de certification. Démarré le 1<sup>er</sup> janvier 2024, ce projet vise à faire monter en maturité un concept d'aile prometteur avec une architecture de voilure à très grand allongement et haubanée, des parties laminaires dans les zones extérieures, des systèmes de dégivrage intégrés, et une intégration optimisée d'un système de type USF (*Unducted Single Fan*).

Simulation numérique d'une configuration d'*open fan*.

GULLHYVER



Injecteur aéronautique haute pression à tourbillon d'hydrogène/air avec pilote d'injection d'hydrogène pur.

## Réduction de l'intensité carbone

Ce deuxième levier motive les recherches sur les nouveaux combustibles : impact de l'utilisation des carburants de synthèse (bio-carburants et électrocarburants) sur les systèmes carburant et les émissions, études à plus long terme sur des carburants complètement décarbonés comme l'hydrogène dans les domaines de la combustion (maîtrise des NOx en particulier) et des interactions hydrogène-matériaux. L'ONERA étudie ces deux thèmes *via* les conventions DGAC PHYDROGENE et PHYDROMAT, qui sont en cohérence avec la feuille de route définie par le CORAC (décarbonation du transport aérien) pour explorer le potentiel d'application de l'hydrogène à l'aéronautique.

Notifié en juin 2023, le projet DGAC PHYDROMAT porte sur la compréhension des mécanismes de fragilisation à l'hydrogène dans des alliages. Il s'agit d'étudier, les effets de fragilisation engendrés par la pénétration d'hydrogène dans le matériau. En 2023, des premiers essais de chargement électrochimiques et des analyses de spectroscopie de désorption thermique ont montré la validité de la méthode expérimentale. De plus, les travaux ont nécessité le développement d'outils de calcul numériques qui seront utilisés dans la suite du projet.

Le projet DGAC PHYDROGENE a pour objectifs l'étude de la combustion turbulente hydrogène/air et l'élaboration d'une méthodologie d'optimisation permettant d'accélérer, à terme, le processus de conception

d'injecteurs hydrogène compatibles avec les futures exigences réglementaires de réduction de NOx et d'opérabilité. En 2023, les premières simulations haute-fidélité de la configuration MICADO (banc et injecteur ONERA, température de l'air en entrée et pression chambre représentatives d'un moteur aéronautique réel) ont permis de mettre en évidence une structure de flamme particulière et de comprendre les mécanismes concourant à sa stabilisation.

Enfin, la première version d'une première chaîne complète d'optimisation mono-fidélité fonctionnelle a été mise en place.

Une autre voie de réduction des émissions carbonées est celle de l'électrification de la propulsion des avions. Durant trois ans, l'ONERA a coordonné le projet IMOTHEP (sélectionné par la Commission européenne dans le cadre d'Horizon 2020). En 2023, un *workshop* final a été organisé : une soixantaine de participants, de tout horizon, couvrant 18 projets des programmes H2020/Horizon Europe et Clean Sky2/Clean Aviation, ont partagé leur vision sur la propulsion hybride et ses perspectives. Les discussions ont mis en évidence que les applications à court rayon d'action sont la première cible de l'hybridation dans les années à venir.

# EFFICACITÉ, SÉCURITÉ ET CERTIFICATION DU SYSTÈME DE TRANSPORT AÉRIEN

## Le risque feu

L'aéronautique est en pleine mutation avec l'électrification, les carburants alternatifs durables et l'hydrogène : l'aviation du futur embarquera une densité d'énergie toujours plus forte au sein de structures toujours plus légères, probablement en composites. La sécurité incendie sera alors une étape clé et incontournable pour déployer ces technologies.

## Aboutissement de la convention PHYFIRE2

Son objectif était de réduire le risque en développant des matériaux structuraux toujours plus performants. La convention s'est achevée en novembre 2023 par une double journée d'échanges. L'ONERA a notamment effectué des progrès sur la caractérisation et la modélisation des propriétés thermomécaniques en température, ainsi que sur des approches innovantes de prévision de phénomènes tels que le délaminage par un couplage entre Z-set (mécanique et fissuration) et MoDeTheC (thermique et thermodégradation).



## PyCoFiRe

En 2023, la fin de la recette de cette nouvelle plateforme d'essais feu permet de planifier une inauguration dans le courant 2024. PyCoFiRe permettra de simuler expérimentalement, dans deux maquettes de compartiments moteur situés en zone feu (FAN et CORE), des incidents de types *spray fire* (inflammation immédiate d'un brouillard de kérosène issue d'une fuite sur une conduite de carburant) ou *pool fire* (fuite de carburant drainant et s'accumulant en partie basse du compartiment avant de s'enflammer). PyCoFiRe permettra également de simuler des incidents sans feu pouvant conduire à un niveau similaire d'agression thermique. La région Occitanie avait accordé à l'ONERA une subvention de plus de 10 M€ de fonds FEDER sur un budget total de 14 M€.

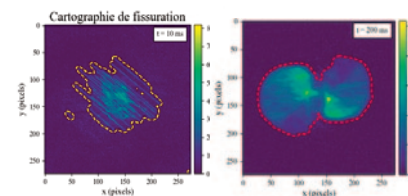
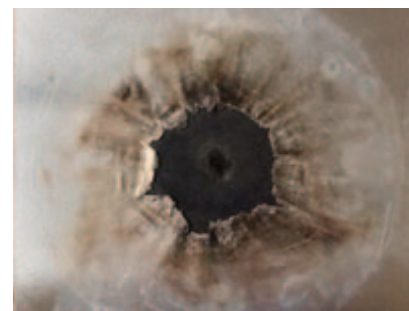
## Le risque foudre

### Nouveaux types d'endommagements détectés dans les matériaux composites

L'ONERA a obtenu de nouveaux résultats caractérisant les effets de la foudre sur les matériaux composites. Ces travaux, soutenus par la DGAC, France Relance et Next Generation EU, via la convention PHYLIGHT2, mettent en évidence un nouveau type d'endommagement. Des déchirements intra-ply ont été identifiés par thermographie *in situ* sur des panneaux composites thermoplastiques à fibres de carbone lors de la campagne d'essais 2023 sur le banc ONERA GRIFON.



Banc GRIFON. À droite : plaque après foudroiement - Ci-contre : cartographies thermiques à  $t = 10$  ms et  $t = 200$  ms et estimation de l'aire d'endommagement.



## Le risque lié aux limites de vol

### Études et essais sur le flottement

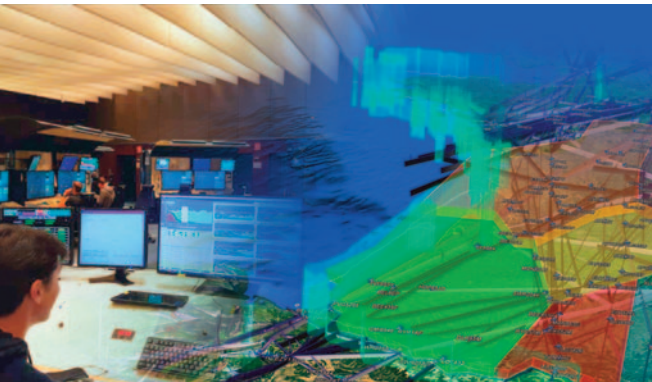
#### Un système sophistiqué pour supprimer le flottement

Une équipe de chercheurs européens, dont des ingénieurs de l'ONERA, a relevé l'un des défis clés de l'aéroélasticité : la suppression du phénomène de flottement au moyen d'un système de contrôle actif. C'est l'objet du projet européen FLIPASED (*Flight Phase Adaptive Aero-Servo-Elastic Aircraft Design Methods*), mené dans le cadre d'un partenariat entre le DLR, le SZTAKI (l'institut d'informatique et d'automatique hongrois), l'ONERA et TUM (Université de Technologie de Munich).

Pour empêcher ce phénomène par un moyen de systèmes actifs, le principe était d'utiliser des surfaces de contrôle de l'aéronef, des capteurs, et des lois de contrôle intelligentes. Le but : déterminer à quel point ce principe de contrôle actif du flottement permettait de libérer la conception d'un avion pour, à terme, en réduire le poids.

Plusieurs étapes ont été nécessaires : développer des outils de modélisation d'un avion souple, des algorithmes de contrôle pour le faire voler au-delà de sa vitesse d'entrée en flottement naturelle et valider ces outils grâce à un démonstrateur économique et peu risqué.





## SINAPS, l'intelligence artificielle appliquée à la sécurité aérienne

En décembre 2023, la direction des services de la Navigation aérienne française (DSNA) a adopté SINAPS, un outil IA d'optimisation de l'espace au profit du trafic aérien, fruit d'une collaboration entre l'ONERA et la DSNA. Développé par l'ONERA dans le cadre du programme européen SESAR, ce moteur algorithmique est un outil innovant fondé sur une intelligence artificielle « sur mesure » qui fournit aux opérationnels un support à la décision pour la gestion des configurations des secteurs de contrôle.

## DRONES

**L'ONERA apporte son expertise à l'État et irrigue l'innovation industrielle. Sa multidisciplinarité, qui lui offre une approche globale, et son expérience de 30 ans en robotique aérienne, alliée à une flotte importante de drones, sont autant d'atouts lui permettant de travailler sur les principaux enjeux du domaine : il mène ainsi des recherches pour des drones plus sûrs, plus performants, et sur la surveillance de drones malveillants.**

### Aérodynamique - Effet du vent sur la dynamique du vol d'un drone



La réglementation des opérations de drones et la mobilité urbaine aérienne nécessitent des méthodes pour analyser les effets du vent, et proposer des moyens de réduire le risque lié à cet aléa.

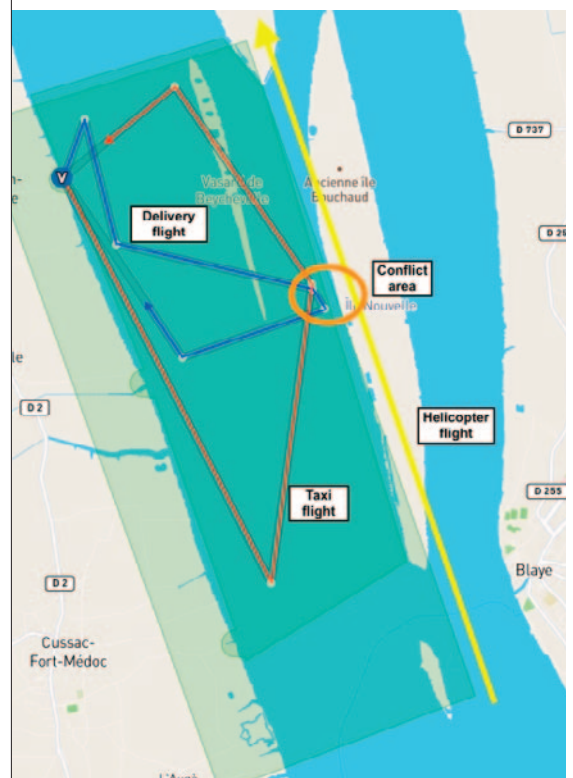
Des essais de mesure d'effets d'interactions de rotor sur petit drone soumis à l'effet du vent ont été menés au laboratoire de vol libre du centre de Lille (laboratoire équipé d'un générateur de rafale). Douze caméras mesurent avec une grande précision la position et l'attitude des objets.

Les tests montrent qu'en interaction avec le vent, les régimes moteurs des rotors se situant à l'amont de l'écoulement sont plus faibles que ceux situés à l'aval.

Ils ouvrent la voie à l'établissement de modèles de vol de drone dans un environnement perturbé, ce qui permettra de prévoir les trajectoires et de progresser sur la question de la sécurité des vols.

### Déconfliction de trajectoires : TIND'AIR

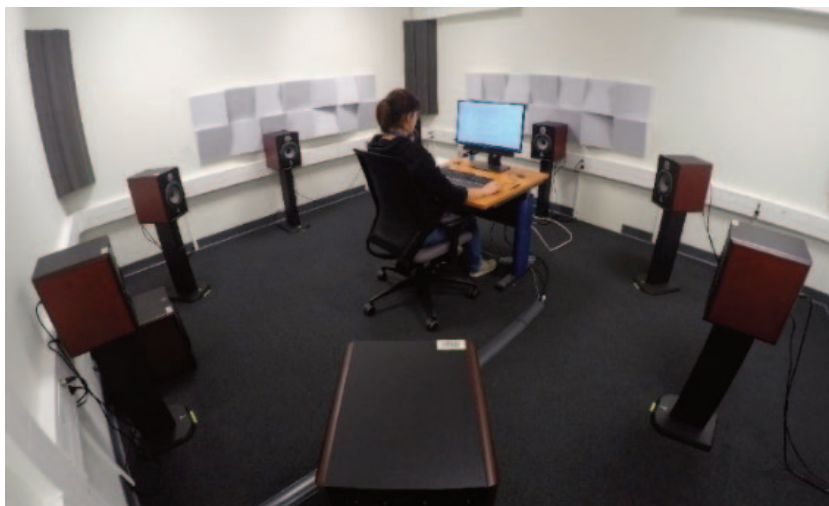
Une démonstration de gestion de conflit entre différents types d'aéronefs a confirmé la faisabilité de la déconfliction tactique pour le futur système d'espace aérien contrôlé. L'objectif principal du projet EU-SESAR TINDAIR était la résolution de conflit en temps réel entre drones, eVTOLs et aéronefs habités dans un espace aérien contrôlé (U-Space) pour assurer la sécurité des vols. Plusieurs scénarios incluant une situation non prévue dans les plans de vol ont permis de tester le bon fonctionnement du système, qui détecte et gère les conflits en tenant compte des priorités et en générant des ordres de reroutage et d'attente.



# RÉDUCTION DU BRUIT

## Sciences humaines : comprendre la gêne occasionnée par le bruit des avions

Concilier les études sur les facteurs humains et celles sur les facteurs acoustiques devient une préoccupation de premier plan pour évaluer la gêne sonore liée au bruit de l'aviation. C'est l'objectif de CIGALE (conciliation des études sur la gêne aéroportuaire en laboratoires et des enquêtes de terrain), un projet DGAC piloté par l'ONERA (2019-2023), en partenariat avec la MSHS-T (CNRS) et Airbus Aviation. six profils de riverains ont été identifiés sur la base de facteurs non acoustiques (attitude plutôt positive ou plutôt négative vis-à-vis du trafic aérien, des stratégies pour y faire face, etc.).

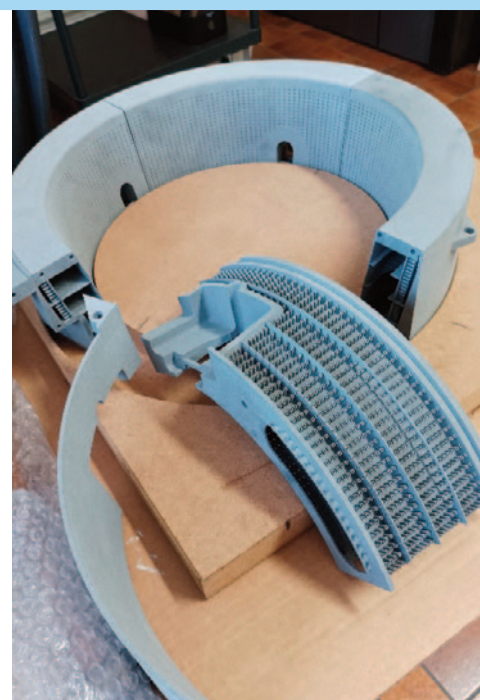


Un test d'écoute dans la nouvelle salle d'écoute de l'ONERA à Châtillon a été mené. Son principe : lire des histoires courtes pendant lesquelles les cobayes étaient exposés à différents scénarios de bruit (passages d'avions à des niveaux sonores différents). Après chaque scénario, les participants notaient l'impact du bruit sur leur activité.

Résultat : le caractère positif ou négatif du profil semble avoir un impact sur le niveau de gêne ressenti sans pour autant influencer sur la stratégie de leur réponse vis-à-vis des facteurs acoustiques. Les résultats doivent être transférés au monde opérationnel, afin de permettre une meilleure prise en compte de la gêne des riverains.

## Technologies : essais de *liners* « acoustiques » sur fenestron d'hélicoptère

Depuis 2021, l'ONERA participe au projet DGAC MOTUS (minimisation de l'impact acoustique opérationnel des VTOLS en conditions urbaines), en concevant un *liner* acoustique adapté au diffuseur de fenestron, pour accentuer la réduction de bruit initiale. Le *liner* proposé par l'ONERA est fondé sur un concept de traitement de surface breveté ONERA appelé LEONAR (*Long Elastic Open Neck Acoustic Resonator*), qui permet une efficacité acoustique à des fréquences largement inférieures aux *liners* classiques avec des contraintes d'intégration définies.



# ESPACE



**L'ONERA confirme sa place d'interlocuteur incontournable dans l'écosystème spatial, grâce à l'antériorité de ses travaux et à sa maîtrise pointue des disciplines utiles à la résolution des problématiques de ses partenaires. Un rôle à renforcer avec la nouvelle donne imposée par le *New Space* et avec la préparation des futurs programmes de travail européens du domaine spatial.**

## MISSIONS SPATIALES

### L'ONERA à bord de la mission JUICE



**Pour la dernière mission spatiale de l'ESA, JUICE, lancée avec succès en avril 2023, plusieurs défis ont été relevés grâce à l'ONERA: la conception d'instruments innovants et l'évaluation de certains environnements aérospatiaux et leurs conséquences sur les systèmes embarqués.**

Ces instruments ont pour vocation d'acquérir une compréhension fine des interactions plasmas entre Jupiter et ses principales lunes glacées : l'ONERA a modélisé les environnements neutres, ionisés et électromagnétiques de Ganymède, ainsi que leurs impacts sur les mesures de la sonde, en collaboration avec de nombreux laboratoires du CNRS.

L'ONERA a également contribué aux études pour la survie du satellite et de sa charge utile dans l'environnement spatial hostile de Jupiter. En collaboration avec l'ESA, le CNES et différents industriels européens réalisant le satellite et la charge utile, et, en particulier, Airbus Defence and Space, l'ONERA a appliqué son expertise sur les effets de l'environnement spatial (simulation numérique et caractérisation expérimentale). Les cellules solaires de JUICE ont été testées pour Airbus Defence and Space dans le moyen de l'ONERA MIRAGE d'irradiation en électrons et protons, un moyen unique : la NASA a de-

mandé à réutiliser ces résultats pour la mission Europa Clipper. MIRAGE a également permis de tester les senseurs solaires embarqués.

### Microscope 2

**En testant le principe d'équivalence avec une précision de  $10^{-15}$ , MICROSCOPE a non seulement conforté la théorie de la relativité générale, mais a également permis d'exclure des parties de l'espace des paramètres de théories concurrentes.** Par exemple, MICROSCOPE a permis de contraindre l'intensité et la portée d'une éventuelle cinquième force se comportant comme la gravité, ainsi que la masse possible de particules prédites par la théorie des cordes (et pour l'instant inobservées). Ce type de particules étant un candidat de matière noire, plusieurs équipes de scientifiques sont lancées dans sa recherche. L'ONERA vise une amélioration d'un facteur 100 des résultats de MICROSCOPE, ce qui fournirait un nouveau test de la relativité générale, et de nouvelles contraintes sur ce type de matière noire. Ainsi, le projet MICROSCOPE 2, qui débute, se fonde sur le modèle de MICROSCOPE, dont l'instrument sera amélioré pour accroître significativement la précision de la mesure.

### Dans la prochaine mission de géodésie spatiale de l'Europe

**L'ESA a fait appel à l'ONERA, leader mondial d'accélérométrie spatiale, pour lui fournir trois accéléromètres de « nouvelle génération » pour chacun des deux satellites qui devraient être lancés autour de 2032.** Ces nouveaux accéléromètres MicroSTAR, développés avec l'ESA depuis 2022,

devraient atteindre des performances de l'ordre de 0.1pico-g sur les trois axes, et fournir des accélérations angulaires à des niveaux de précision jamais atteints.

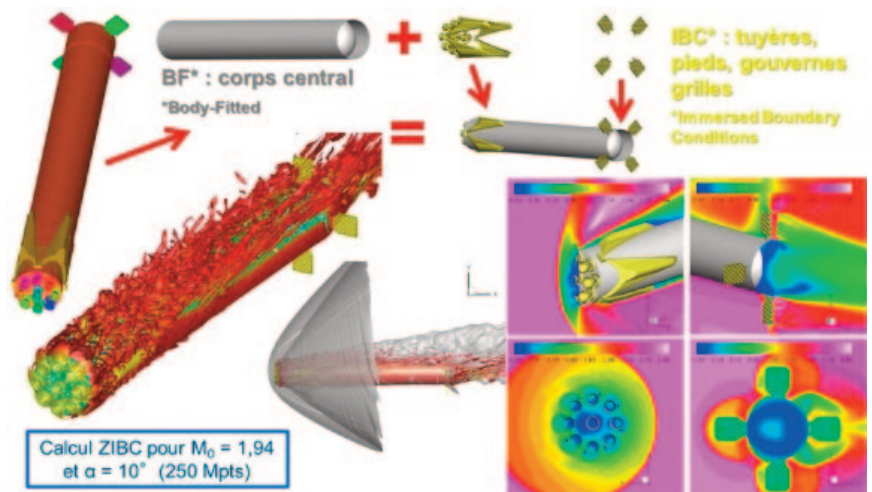
Cette activité est réalisée en parallèle de la fourniture de deux accéléromètres au JPL (Jet Propulsion Laboratory) et à la NASA pour la future mission GRACE-C, qui sera lancée fin 2028. NGGM et GRACE-C vont constituer la constellation de quatre satellites MAGIC, dédiée à la cartographie du champ de gravité terrestre et de ses évolutions avec une précision inédite.

### L'ONERA au cœur de l'un des plus grands télescopes US

**L'ONERA et ses partenaires ont remporté un appel d'offres de la NSF (US National Science Foundation) de plus de 10 millions de dollars pour concevoir l'optique adaptative (OA) du télescope astronomique, Gemini Nord.** Au sein d'un consortium international, dirigé par l'université Macquarie de Sydney, l'ONERA et ses partenaires, le laboratoire d'astrophysique de Marseille, l'Observatoire de Haute-Provence, la PME ALPAO et la *start-up* « Space ODT », vont démarrer la conception d'un système d'OA tomographique assisté par lasers. Il s'agit de la nouvelle génération d'OA pour l'un des plus grands et des plus performants télescopes astronomiques au monde. GNAO (*Gemini North Adaptive Optics*) va intégrer les toutes dernières innovations dans le domaine, et permettre de s'affranchir des effets délétères de la turbulence atmosphérique et d'atteindre sa limite de diffraction (et donc ses performances ultimes) sur la quasi-totalité du ciel. Ce succès, obtenu dans un fort cadre concurrentiel international, concrétise plus de 30 ans d'une expertise unique de l'ONERA et place ses équipes au premier rang mondial dans le domaine.

## Lanceur réutilisable : nouvelle stratégie pour leur simulation

L'ONERA a réalisé les premières simulations numériques instationnaires ZDES massives dans une phase de conception d'un prototype de lanceur réutilisable. L'objectif est d'étudier, pour un concept de lanceur réutilisable post-Ariane 6, la succession, mal connue, des phénomènes physiques rencontrés au cours du vol, potentiellement dommageables à la maîtrise de sa performance et au contrôle de vol (programme R&T du CNES).



Ces simulations permettront également d'adapter les stratégies de simulation numérique, pour réduire les cycles de développement en phase de conception et les coûts associés. La maturité de la stratégie ZIBC (*Zonal Immersed Boundary Conditions*), développée à l'ONERA, couple avec succès une méthode de mo-

délisation avancée de la turbulence (approche ZDES) et une technique de frontières immergées (IBC).

Les simulations vont jusqu'aux détails technologiques tels que les gouvernes en grille particulièrement difficiles à reproduire numériquement (parois minces). Elles ont permis de localiser et de quanti-

fier les maximums de niveaux de pression fluctuante au niveau de la baie moteur, des pieds et des gouvernes en grille, ce qui permettra d'évaluer les sollicitations structurelles en vue du dimensionnement des lanceurs spatiaux réutilisables de nouvelle génération.

# LIAISON SOL-SATELLITE

## RADIOFRÉQUENCE ET RADAR

### Propagation radioélectrique : caractérisation du canal de propagation multifréquence en région tropicale

Dans le cadre du programme d'intérêt commun sur la propagation électromagnétique radio fréquence (PIC PERF) avec le CNES, l'ONERA a réalisé, en collaboration avec la DSNA (direction des services de la navigation) de Guadeloupe, une expérimentation de propagation Terre-espace avec le satellite Eutelsat E65WA. Cette expérimentation a permis de recueillir des mesures d'atténuation à 12 GHz, 20 GHz et 40 GHz, 24h/24, 365 jours par an, pendant trois années consécutives avec une disponibilité exceptionnelle supérieure à 95%, ce qui constitue une première mondiale. Les résultats obtenus dans cette région du monde, soumise à de très fortes précipitations, montrent que pour éviter de subir des coupures de liaison de durée supérieure à huit heures par an, il est nécessaire de prévoir des marges de 4 dB en bande Ku, de 13 dB en bande Ka et de plus de 35 dB en bande Q, soit pratiquement trois fois celles rencontrées habituellement à Toulouse en région tempérée.



Récepteurs de balises à 11,2 GHz, 19,7 GHz et 39,8 GHz et pluviomètre à auget basculant.



## Modernisation de NOSTRADAMUS

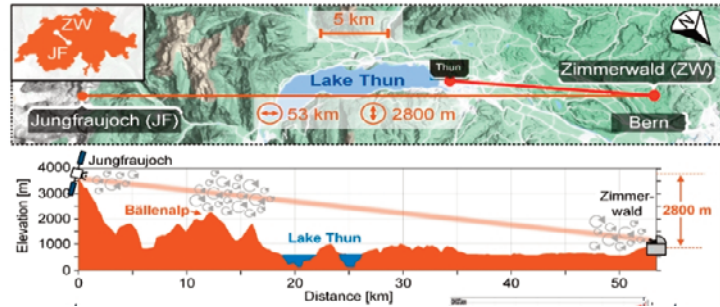
L'ONERA, sur financement interne, a décidé de moderniser son système radar transhorizon NOSTRADAMUS. La modernisation du démonstrateur a consisté à le passer en tout numérique (émission et réception), en montrant l'apport de technologies innovantes de coût modéré (« génération de forme d'onde radar par synthèse numérique », « réception large bande numérique » et « synchronisation répartie » sur de grandes distances et pour un grand nombre de nœuds).

## LIAISON OPTIQUE

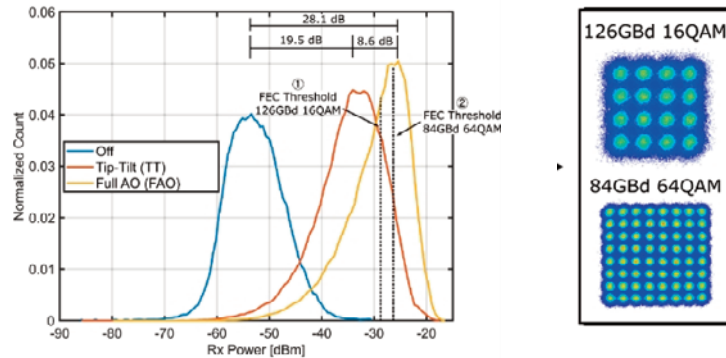
### Record mondial lors des essais VERTIGO : l'optique adaptative permet d'atteindre le Tbit/s sur un lien optique cohérent de 53 km.

Le projet VERTIGO avait pour objectif de progresser sur toutes les briques essentielles aux liens optiques sol-GEO à très haut débit. Ce projet a permis à l'ONERA de travailler avec plusieurs acteurs majeurs des télécommunications optiques, dont Thales Alenia Space, porteur du projet, et ETH Zürich (Institute of Electromagnetic Fields). L'ONERA a apporté sa maîtrise du canal turbulent (correction par optique adaptative et métrologie *in situ* de la turbulence).

La clé de voûte du projet a été l'établissement d'une liaison haut débit, un débit monocanal de 1 Tbit/s, obtenu grâce à des formats de modulations cohérents sophistiqués, un record sur une telle ligne de visée : 53 km de distance entre deux sites. Cette performance record a notamment été permise grâce à la correction par optique adaptative de la station sol de l'ONERA, constituée du banc FEDELIO (optique adaptative et télescope de 35 cm).



Géométrie de la ligne de visée lors des essais terrain VERTIGO de juillet 2022 en Suisse.



Amélioration du flux couplé grâce à l'optique adaptative - comparaison dans les modalités suivantes : absence de correction (« Off »), simple correction du pointage (« Tip-Tilt TT ») et correction globale par optique adaptative (« Full AO (FAO) »). Les vignettes de droite donnent un exemple de constellation dans les formats cohérents 16QAM and 64QAM, dans des cas corrigés par optique adaptative.



## Nouvelle station au sol, FEELINGS

L'ONERA s'est doté d'un nouveau moyen de caractérisation du canal de propagation optique dans l'atmosphère utilisant un moyen qu'il a conçu, unique en Europe : FEELINGS (*Feeder Links optical Ground Station*). Développée par son département optique, avec un budget d'investissement propre, la plateforme FEELINGS appréhende l'effet du canal atmosphérique sur les liens optiques et en particulier les *feeder* (liens de données très capacitifs) qui alimenteront les satellites de télécommunication en orbite géostationnaire en données de toutes sortes, afin que ces données soient ensuite relayées à d'autres satellites, vers le sol ou à d'autres types de porteurs.

Fin octobre 2023, FEELINGS a reçu un élément clé, le télescope de 60 cm, dotant l'ONERA d'une capacité de poursuite de satellites de précision optique jusqu'aux orbites basses (LEO). Le télescope a d'ores et déjà démontré une capacité de pointage absolue meilleure qu'une seconde d'arc sur désignation, offrant la possibilité d'un suivi de satellite LEO de précision décimétrique en boucle ouverte. La station fera l'objet d'une inauguration officielle au printemps 2024.

# NEW SPACE

## Réception des 1<sup>res</sup> mesures de l'ionosphère

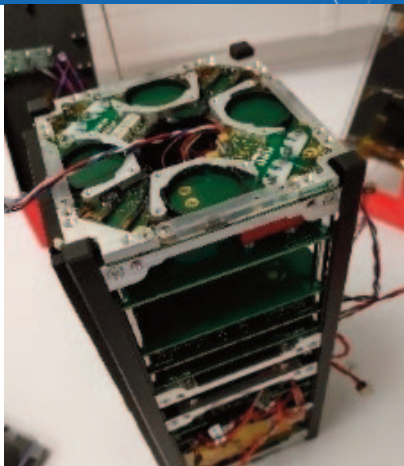
La charge utile de l'ONERA « CUIONO » a reçu et renvoyé avec succès des ondes radioélectriques émises depuis la Terre.

Elle a reçu un signal radioélectrique émis depuis la base de Crucey (Eure-et-Loir) et renvoyé ce signal à la station du LATMOS (Laboratoire Atmosphères, Observations Spatiales). Ce dispositif, l'un des modules du nanosatellite InspireSat-7 lancé le 15 avril 2023, visait à caractériser l'état de l'ionosphère, en étudiant les perturbations qu'elle cause aux ondes radioélectriques.

CUIONO est une prouesse technique, car elle a été mise au point en moins de deux ans, en adaptant des composants préexistants.

## Intégration mécanique réussie

En collaboration avec l'ISAE-SUPAERO, et grâce à un financement FEDER, l'ONERA a assuré la conception du nanosatellite 3UCREME (*Cubesat for Radiation Environment Monitoring Experiment*), réalisé par U-SPACE. L'intégration mécanique de la charge utile ONERAD a eu lieu en décembre 2023 : autonome, elle se compose des têtes de détection des particules radiatives et de sa chaîne électronique d'acquisition et de mise en forme des mesures. Les avancées technologiques concernent : la miniaturisation du moniteur de radiations (encombrement et poids), la conception des cartes électroniques avec



des composants tolérants aux rayonnements spatiaux, et la conception du cœur numérique européen répondant aux exigences de tenue en radiation spatiales sur les orbites usuelles. L'ONERA a également participé à la prise en compte des contraintes thermiques fortes pour optimiser la réalisation de ONERAD.

## Mission FLYLAB : expérimenter dans l'espace

Ce laboratoire volant est constitué de deux nanosatellites, munis de charges utiles 100% ONERA, qui ont pour objectif de mener des démonstrations scientifiques innovantes en optique, radar, et système, développées rapidement et à un coût abordable.

L'ONERA a mené, fin 2023, la revue de définition préliminaire des plateformes des deux nanosatellites avec le fournisseur. La conception des plateformes s'est déroulée

sous la supervision de l'ONERA, et s'appuie sur ses spécifications, ainsi que les définitions d'interfaces mécaniques, thermiques, électroniques et logicielles des charges utiles des deux nanosatellites. Deux « flat-sats » – modèles sur table des satellites – ont été livrés à l'ONERA pour permettre aux équipes de développer les modules logiciels des charges utiles dans un environnement représentatif. Lancement prévu en 2025.

## Étude de l'environnement spatial

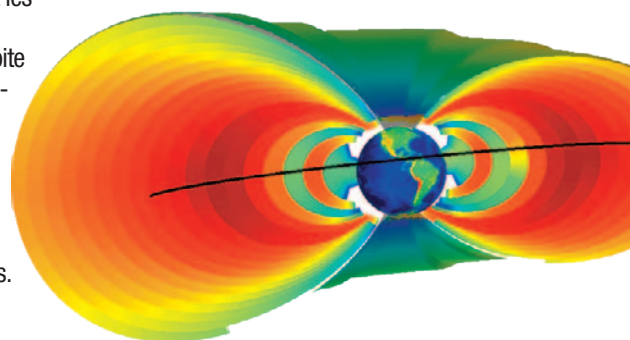
L'ONERA travaille sur le projet CROCUS (*Charging On CubeSat*), en partenariat avec le centre spatial de l'École polytechnique (CSEP), qui a pour buts d'étudier la charge électrique induite par l'environnement spatial, de valider une nouvelle génération de charges utiles, et de démontrer l'efficacité d'un émetteur d'électrons ONERA pour limiter la charge négative des satellites. Les instruments seront intégrés sur un satellite au format CubeSat 3U, pour une injection sur une orbite basse héliosynchrone. Un passage régulier dans les zones aurorales, connues pour produire des niveaux de charges importants, permettra au satellite de détecter et de caractériser les décharges électrostatiques et d'améliorer notre compréhension des phénomènes de couplage électromagnétique avec la plateforme. Lancement prévu en 2026.

# MÉTÉO SPATIALE

## L'ONERA, acteur de la météo spatiale en Europe

Dans le cadre du programme de l'ESA ESOC Space Situational Awareness Program, l'ONERA a développé deux prototypes proposant aux utilisateurs du portail ESA de météo de l'espace, des informations et des alertes dédiées aux risques radiatifs sur les missions spatiales. Ces prototypes ont pour objectif d'assister les opérateurs et les concepteurs de satellites dans l'analyse rapide de risques potentiels, en temps réel.

Ce prototype fournit, pour les trois prochains jours, des alertes en fonction de l'orbite satellite considérée relatives à deux risques majeurs : la dégradation des panneaux solaires et de la charge interne. Les codes ONERA permettent de reconstruire et de prédire l'environnement radiatif sur les orbites d'intérêt. Le second prototype, RB-IND (*Radiation Belts Activity Indices*) propose également un indicateur de risque tricolore pour les effets de dégradations des panneaux solaires, ainsi que de la charge de surface et interne. Son objectif principal : fournir, à partir des mesures *in situ* les plus précises, les informations les plus adéquates sur les risques encourus les jours précédents.

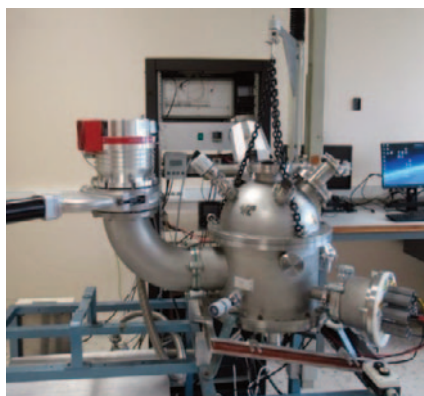


## POUSSIÈRES LUNAIRES : dépoussiérage des missions lunaires

Engagé depuis près de 10 ans sur le thème de la charge électrostatique et de l'adhésion des poussières en milieu spatial, l'ONERA dispose d'un parc expérimental original et de compétences clés qui alimentent la multiplicité des études au profit de l'ESA et de l'UE.

La plateforme DROP abrite une chambre de dépôt de poussière, validée sur une série de poudres simulant la poussière lunaire, ainsi qu'une chambre à vide reproduisant l'environnement lunaire. Cette plateforme permet d'une part de caractériser

la force d'adhésion, et d'autre part de tester la décontamination par effet électrodynamique. Elle a ainsi permis la validation d'un système fabriqué par l'équipementier COMAT pour protéger les optiques dans le cadre d'une étude menée pour l'ESA, ainsi que la validation du moyen de centrifugation pour la caractérisation



de l'adhésion de stimulants de poussières lunaires sur les matériaux techniques spatiaux.

Des évolutions majeures du banc de mesure du laboratoire SPECTRO sont également en cours pour répondre aux nouveaux besoins de caractérisation de l'adhésion de matériaux de grade spatial et d'étude de la dégradation des propriétés thermo-optiques, des revêtements et des cellules de panneaux solaires, et fournir des mesures de référence.

Ce parc expérimental est associé à une capacité de modélisation, en particulier la modélisation numérique 3D des couches de poussières (logiciel SPIS, *Spacecraft Plasma Interaction*

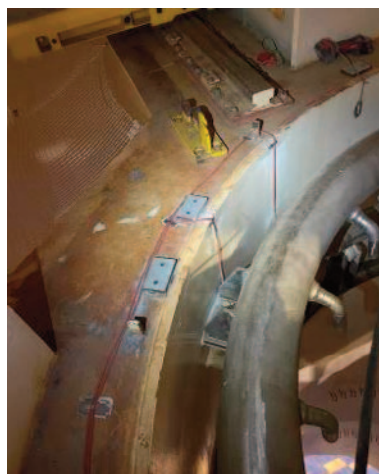
*System*), le logiciel de référence de l'ESA pour l'étude de la charge électrostatique, dont l'ONERA est le principal développeur.

L'ONERA met actuellement en œuvre tous ces moyens pour la conception et le test d'un détecteur de poussières dans le cadre du projet DUSTER (2023-2024) financé par l'Union européenne.

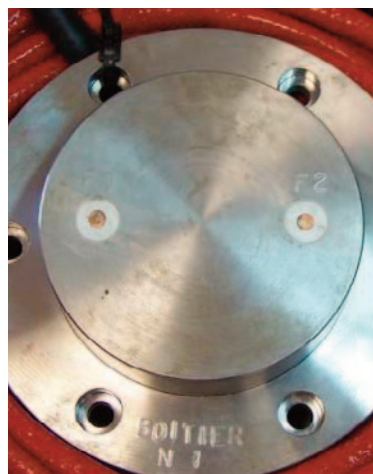
## ACCÈS À L'ESPACE

### Ariane 6 : contribution à la préparation du vol inaugural

Dans le cadre des essais combinés visant à qualifier le lanceur Ariane 6 avant le vol inaugural, l'ONERA a accompagné le CNES lors des essais dits « court » et « long » du moteur principal Vulcain2. La prestation de son laboratoire de propulsion fusée (LPF) visait à instrumenter le pas de tir de capteurs de flux thermique et de température, afin, notamment, de valider le fonctionnement et la tenue du système d'endiguement du jet (tore eau, tore azote et guide-jet). L'équipe du LPF a pour cela dimensionné, puis fabriqué ces instruments, afin qu'ils puissent restituer avec robustesse les mesures dans cet environnement ultra-sévère comprenant des effets de températures extrêmes, des jets supersoniques et un écoulement d'eau à très grande vitesse. Le laboratoire LPF a également participé à l'installation des capteurs et au contrôle du bon fonctionnement sur place à Kourou. Les mesures de l'ONERA ont été un succès de bout en bout.



Instrumentation pour les mesures de température dans le guide-jet.



Bloc de mesure de flux thermiques au moteur VULCAIN 2.1 avant envoi.

Lanceur Ariane 6 au ELA4 pendant l'essai à feu long (ArianeGroup).

# LES GRANDES SOUFFLERIES DE L'ONERA

---

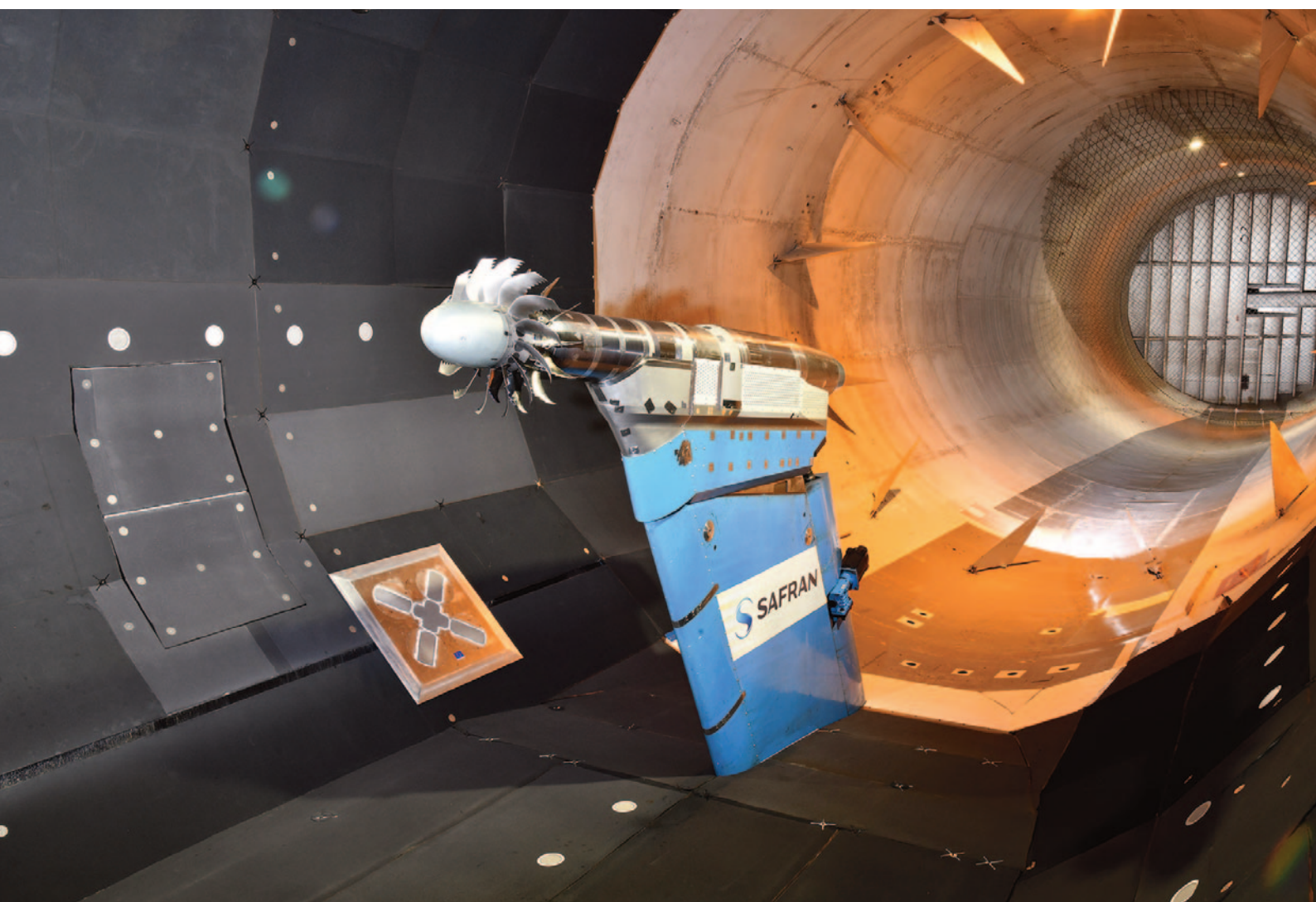
S1MA

AU SERVICE DE  
L'INNOVATION  
AÉRONAUTIQUE  
ET DE LA DÉFENSE

F1

## 2023, une année encore plus riche en commandes qui annonce une période de forte activité

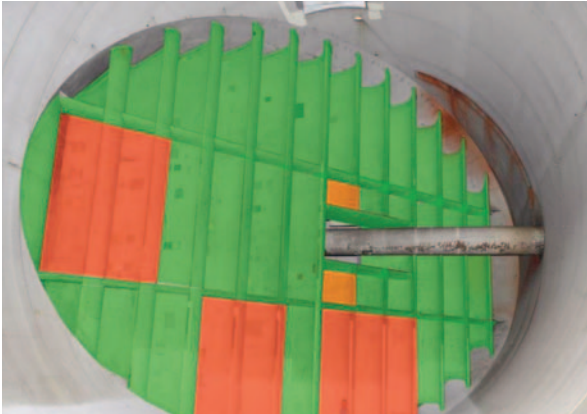
L'année 2023 s'est terminée avec un record de prises de commandes pour la direction des souffleries (37,5 M€), dépassant le montant de 2009, meilleur niveau enregistré ces dernières années. Cela est dû principalement à la montée en puissance des programmes de défense ainsi qu'aux travaux liés à la décarbonation de l'aviation civile et, en particulier, aux nouvelles motorisations et intégrations motrices, dont les premiers essais ont été réalisés en 2023 dans la grande soufflerie S1MA. Ces essais marquent le début d'une longue série d'essais très complexes et confirment, s'il en était besoin, tout l'intérêt d'avoir lancé le plan de sauvetage de S1MA. Pour la partie Défense, l'année 2023 a principalement été marquée, dans les souffleries à rafales, par des essais emblématiques liés à la dissuasion et à la souveraineté. Les souffleries S2MA pour la haute vitesse et F1 ou CEPRA 19, ont, quant à elles, principalement accueilli des clients étrangers et des activités au profit du Rafale export. À cette intense activité contractuelle s'ajoutent d'importants travaux de développement de capacités, financés par le projet ATP ou les conventions DGAC.



Essais Ecoengine à S1MA.

## Le programme ATP se poursuit pour maintenir et moderniser les grandes souffleries

2023 a également été une année record en termes d'activités et d'engagements pour le programme d'investissement ATP, lancé en 2019 pour maintenir les infrastructures des grandes souffleries opérationnelles, en augmenter la productivité, et les moderniser, pour satisfaire les besoins d'essais futurs de la défense et de l'aéronautique civile.



Chantier de remplacement du premier coude de la soufflerie S1MA.

Le chantier de remplacement du premier coude de la soufflerie S1MA (assurant la déviation de 90 degrés de l'écoulement sortant de la veine d'essai vers les ventilateurs) s'est concrétisé avec le lancement en fabrication des 12 aubes constitutives de ce nouveau coude, dont la longueur cumulée sera proche de 150m pour plus de 50 tonnes. L'installation finale du nouveau coude dans S1MA est planifiée en 2024.

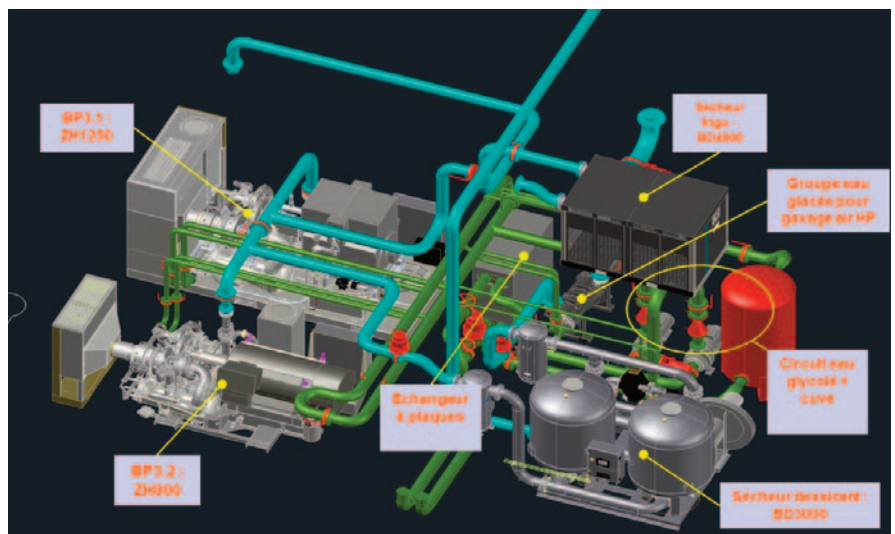
Des travaux importants ont également été engagés en 2023 sur l'amélioration des capacités de génération et du stockage d'air comprimé, capacités essentielles à l'opération des installations et aux essais. Sur le centre du Fauga-Mauzac, le marché de la nouvelle centrale d'air basse pression BP3 a été lancé et se concrétisera en 2024. Il s'agissait d'un chantier essentiel pour continuer à opérer de manière productive la soufflerie F1.

Sur le centre de Modane-Avrieux, la réception d'un nouveau réservoir de stockage de l'air haute pression de 270 bar, d'une capacité de 40 m<sup>3</sup>, augmentera d'environ un tiers la capacité d'air haute pression du centre et notamment la capacité d'essai de maquettes motorisées par turbines.

Ces travaux, qui n'illustrent qu'une partie des chantiers en cours, permettent notamment d'améliorer la disponibilité des souffleries, de réduire les périodes de maintenance et d'accroître la richesse et la qualité des mesures qui y sont réalisées.



Nouveau réservoir d'air HP du DSMA.



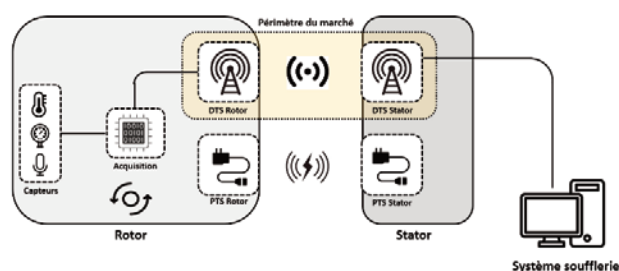
Centrale d'air BP3 du DSFM.

## Un soutien renforcé de la DGAC pour innover et préparer les souffleries aux essais des futures motorisations d'avions civils

Deux nouveaux projets d'investissements ont été lancés en 2023 avec le soutien de la DGAC.

- Le premier, DPTS (*Data & Power Transmission System*) vise à lever un verrou technologique fort, qui limite aujourd'hui la quantité et la qualité des mesures réalisables sur les hélices en rotation d'une maquette de soufflerie. Pour cela, DPTS réalisera une démonstration de deux systèmes de transmission de données sans fil installables dans les parties tournantes des maquettes. Le but de ces systèmes est de permettre la transmission d'un haut débit de données de mesures dans un volume réduit et fonctionnant à des vitesses de rotation de plusieurs dizaines de milliers de tours par minute.
- Le second projet, GREENER, est la première étape d'un plan ambitieux pour permettre l'application, dans les grandes souffleries S1MA et F1, de nouvelles techniques de mesure et de nouvelles technologies pour les maquettes de souffleries. Un premier volet de ces travaux porte sur le déploiement de la vélocimétrie par images de par-

ticules (PIV) ainsi que des mesures stationnaires et instationnaires de pression à la surface des maquettes par des peintures sensibles à la pression (PSP), permettant de s'affranchir des variations de la température. Le second volet couvre l'amélioration des capacités de mesures acoustiques, à basses mais aussi à hautes vitesses. Le dernier volet porte sur l'amélioration des technologies pour les maquettes de souffleries, comme la motorisation de surfaces mobiles multiples. Tous ces travaux visent à enrichir les capacités d'essais de S1MA et F1 pour satisfaire, notamment, les besoins d'essais futurs liés aux nouvelles motorisations de type Open fan (moteurs à soufflante non carénée).



## Essai à S1MA : voilures laminaires pour réduire la consommation ?

Un essai dans la grande soufflerie S1MA du centre de Modane a été mené pour valider les technologies nécessaires aux voilures laminaires permettant de réduire la consommation des futurs avions de transport (projet HLFC-Win).

Une maquette de grande dimension (4,5 m d'envergure), représentative d'un tronçon de voilure d'avion de transport, a été soufflée en décembre 2023. Cet essai était le point d'orgue du projet européen HLFC-Win (Clean Sky 2) dans lequel l'ONERA coordonnait les activités sur les essais en soufflerie. Le but : valider des technologies indispensables pour permettre à de futures ailes d'avions de transport de conserver un écoulement laminaire sur une surface la plus étendue possible et ainsi d'en réduire la traînée de frottement.

Ces technologies de laminarité hybride (HLFC) combinent à la fois des formes aérodynamiques permettant de générer des pressions favorables à la laminarité et une aspiration à la peau de la voilure au travers de tôles poreuses, microperforées, dans la région du bord d'attaque pour retarder encore la transi-



tion de la couche limite vers un état turbulent. La validation de ces technologies pour des écoulements à haute vitesse, et donc des voilures à forte flèche, représente un défi qui nécessite des expérimentations à grande échelle, ce que permet la soufflerie S1MA par ses caractéristiques, notamment sa taille.

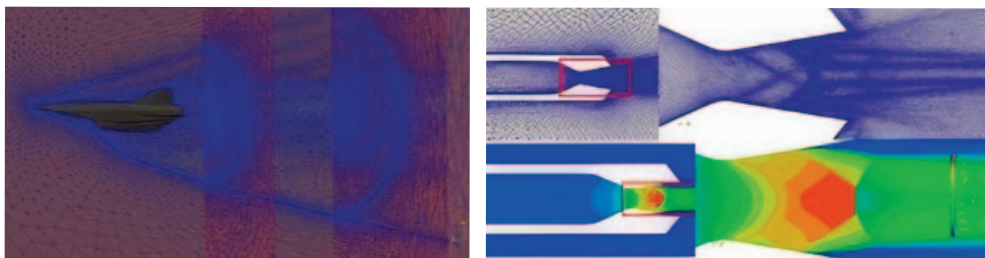
Maquette HLFC-Win au sein de la veine de la soufflerie S1MA.

# SIMULATION NUMÉRIQUE

## LES LOGICIELS ONERA EN PERPÉTUELLE ÉVOLUTION

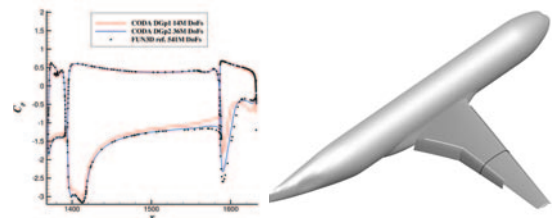
### Simulation en aérodynamique : SoNICS et CODA franchissent les étapes une à une

C'est principalement dans le cadre du projet DGAC SONICE que la construction de SoNICS (Safran-ONERA), logiciel de simulation aérodynamique de nouvelle génération qui remplacera elsA à partir de 2026, se poursuit. Après la démonstration de ses performances élevées en temps de calcul sur processeurs CPU et GPU, de nombreuses simulations avec adaptation de maillage ont été réalisées en 2023, permettant des calculs automatisés de la CAO au post-traitement et en particulier une réduction drastique de l'étape de génération de maillage. Les cibles de 2024 sont nombreuses et variées : prise en compte des écoulements multi-espèces, utilisation de la différenciation automatique pour l'optimisation de forme ou l'analyse de stabilité et, plus généralement, un enrichissement fonctionnel continu tant sur le plan numérique que sur celui de la modélisation.



Adaptation de maillage avec les logiciels SoNICS (ONERA-Safran) et Feflo.a (INRIA) : avion hypersonique (gauche) - Tuyère sur-détendue (droite).

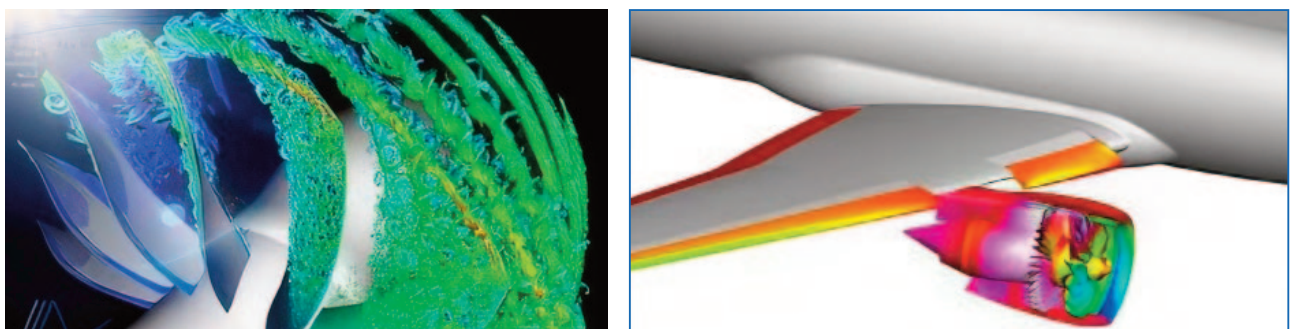
Airbus, le DLR et l'ONERA ont renouvelé, fin 2022, leur engagement de développement collaboratif du code de nouvelle génération CODA pour cinq nouvelles années. L'utilisation courante de CODA en conception industrielle chez Airbus fin 2024 est l'un des objectifs. En 2023, les travaux d'amélioration de la précision ont été poursuivis et ont conduit à de très bons résultats sur un cas avion. On peut également noter des progrès notables sur les méthodes dites de « frontières immergées » permettant le calcul de surfaces givrées ainsi que sur les méthodes « Galerkin discontinues » (DG) appliquées à des configurations hypersustentées.



Comparaison entre deux calculs CODA par méthode DG (14 millions et 36 millions de degrés de liberté) et une simulation par méthode "volumes finis" réalisée avec le code FUN3D (NASA) sur 541 millions de points.

### elsA continue de s'enrichir

Parallèlement, le logiciel elsA continue de s'enrichir pour répondre aux besoins à court terme des utilisateurs. On peut citer la mise à disposition en 2023, saluée par les bureaux d'études de Safran, de conditions aux limites non réfléchissantes particulièrement efficaces. Les démonstrations avancées se sont également multipliées dans tous les domaines : simulations de haute-fidélité, géométries complexes.



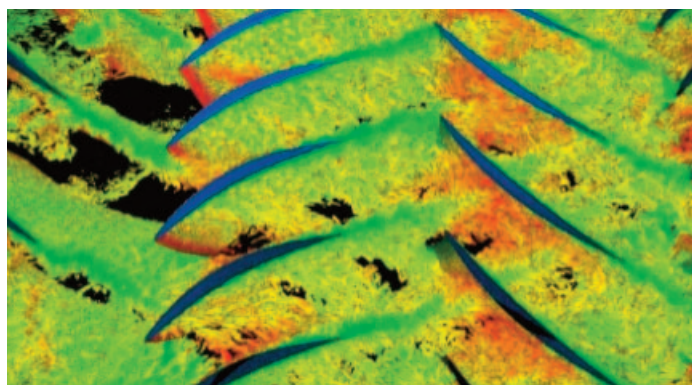
Simulations elsA (de gauche à droite) : première simulation ZDES en maillage non structuré d'une hélice d'*open fan* (DGAC MONICA) ; simulation RANS du turbofan ASPIRE installé sur l'avion NOVA avec dispositif hypersustenté (Clean Sky 2 ADEC).



## Simulations haute-fidélité avec le logiciel FAST

Des simulations numériques instationnaires de type « simulations des grandes échelles » ont permis de reproduire avec fidélité l'écoulement tourbillonnaire très complexe dans le compresseur CREATE, développé par Safran Aerospace Engines. Ces calculs ouvrent la voie à la constitution de bases de données numériques fiables en vue d'améliorer la modélisation de la turbulence dans les turbomachines.

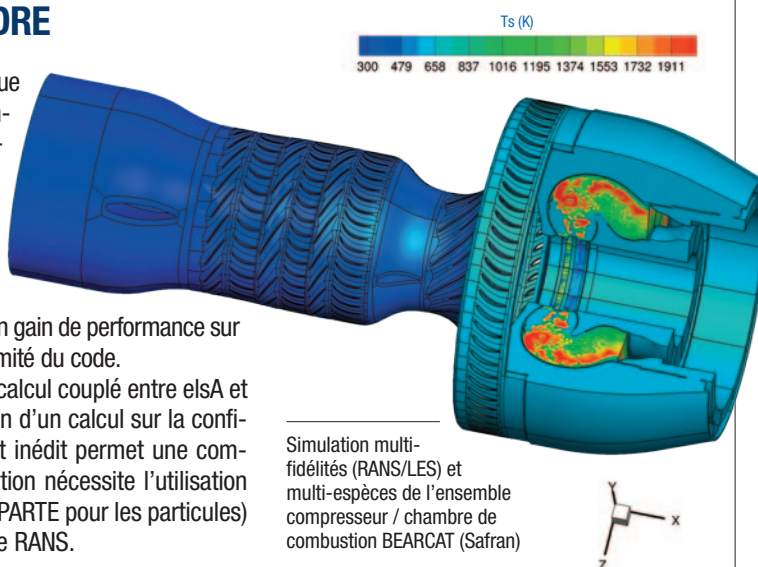
Visualisation de l'écoulement turbulent dans le centre de la veine. Simulation FAST sur 1,4 milliard de mailles.



## Énergétique et propulsion : code CEDRE

Le logiciel CEDRE est la plateforme de simulation numérique pour l'énergétique de l'ONERA utilisée par des acteurs industriels majeurs du secteur. Il traite les écoulements complexes rencontrés dans le domaine de l'énergétique et de la propulsion, en prenant en compte une grande variété de phénomènes physico-chimiques et les mécanismes de couplage associés. Parmi les réalisations marquantes de 2023, on peut citer l'amélioration de la robustesse des méthodes numériques pour les écoulements diphasiques et un gain de performance sur le CPU d'un facteur deux pour l'instant sur un périmètre limité du code.

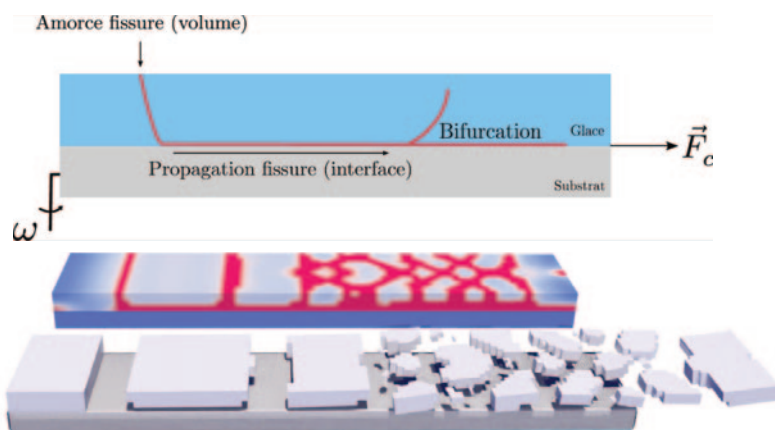
Par ailleurs, dans le cadre du contrat DGAC ATOM, un calcul couplé entre elsA et la version « pythonisée » de CEDRE a permis la réalisation d'un calcul sur la configuration du moteur BEARCAT. Ce couplage complexe et inédit permet une compréhension fine des phénomènes physiques. La simulation nécessite l'utilisation de deux solveurs dans CEDRE (CHARME pour le gaz et SPARTE pour les particules) en approche LES couplés avec le code elsA en approche RANS.



Simulation multi-fidélités (RANS/LES) et multi-espèces de l'ensemble compresseur / chambre de combustion BEARCAT (Safran)

## Matériaux et structures : le code Z-set

L'ONERA travaille depuis de nombreuses années sur le code Z-set (en partenariat avec l'École des mines et Transvalor). Il permet d'évaluer, dès les phases de conception, la durée de vie des pièces les plus critiques, selon le type de matériaux utilisés, à l'aide de calculs haute-fidélité traitant des systèmes d'équations de plusieurs dizaines, voire de centaines, de millions d'inconnues.



Les développements récents du code (interface de couplage Python, modélisation par champ de phase, calcul parallèle haute performance) permettent de nouveaux types d'applications, tels que la simulation du détachement et de la fissuration de la glace sur les aubes de soufflantes de moteurs d'avion.

L'ONERA développe, en parallèle, un code de nouvelle génération A-set, qui bénéficiera des avancées réalisées dans Z-set. A-Set, développé avec des partenaires académiques et industriels et grâce au soutien financier de la DGAC, est adapté aux architectures de calcul hybrides actuelles, visant notamment à intégrer des modèles multi-échelles complexes, plus physiques et plus précis.

Simulation de détachement de la glace sur une éprouvette sous l'effet de la force centrifuge en rupture mixte : modèle de champ de phase (dans le volume) couplé avec modèle de zone cohésive (à l'interface aube-glace).

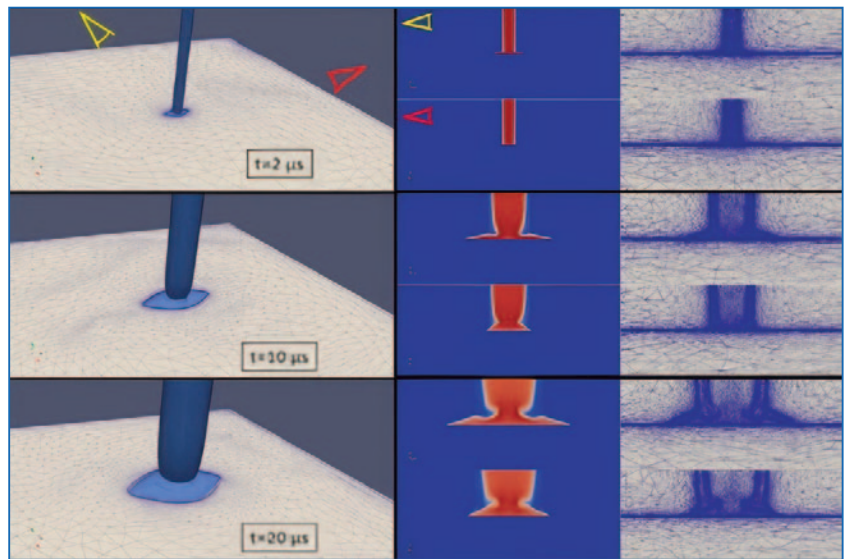
## Écosystème logiciel transverse

L'ONERA poursuit la mise en place d'ORION, vaste écosystème logiciel pour la simulation multiphysique. L'enjeu : adapter les logiciels, à moindre coût, aux architectures des futures machines Exascale, capables d'effectuer plus d'un milliard de milliards d'opérations par seconde. Pour constituer l'écosystème ORION, l'ONERA mène une démarche de modularisation et de modernisation de l'architecture des logiciels de simulation des différentes disciplines et de facilitation des couplages multiphysiques.

## Simuler le foudroiement : le code TARANIS

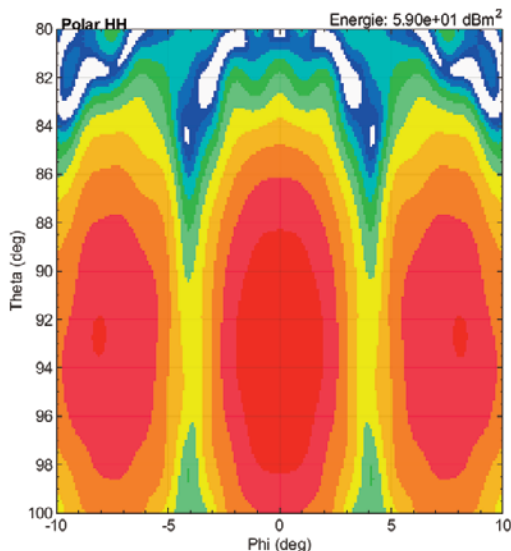
Taranis est un code MHD (MagnétoHydroDynamique) non structuré, permettant de simuler les arcs électriques, telle la foudre, et les plasmas. Afin de simuler en 3D des scénarios de foudroiement sur géométrie complexe, Taranis a été couplé avec les outils d'adaptation de maillage anisotrope de l'INRIA, centrés autour du remaillieur anisotrope feflo.a.

Ce couplage a permis de réaliser le calcul 3D ci-dessous, montrant le développement d'un pied d'arc foudre impulsional sur un matériau composite CFRP anisotrope. Une structure 3D caractéristique en losange, observée expérimentalement, a ainsi pu être obtenue. L'adaptation a permis de réaliser ce calcul fortement multi-échelle avec seulement 300 000 nœuds, ce qui permet de diminuer la taille du maillage d'un rapport 100.



Calcul Taranis / feflo.a. de l'interaction d'un pied d'arc foudre avec un CFRP anisotrope, ONERA, 2023. F. Pechereau\*, J. Vanharen†, G. Puigt‡, F. Tholin\*, A. Loseille† et F. Alauzet‡. \*ONERA/DPHY, †INRIA/Projet GAMMA, ‡ ONERA/DMPE.

## Simulations radars : optimiser les calculs pour une meilleure représentativité



Avec le projet EMPRISE, l'ONERA développe une nouvelle génération de simulateurs de scènes « radar » qui combinent des modèles de grandes scènes terrains (terrains, sursol, mer) dans lesquelles peuvent se déplacer des cibles et les porteurs des radars.

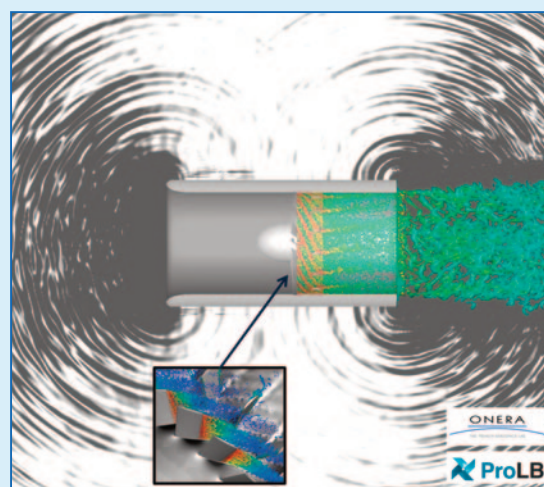
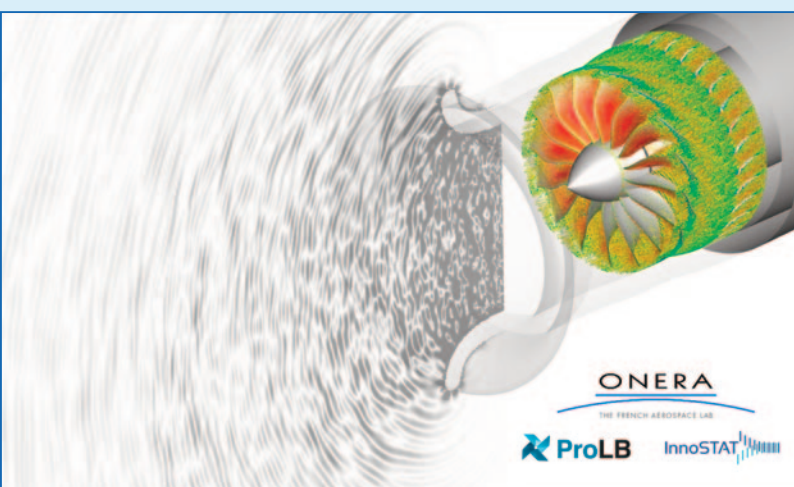
Une partie des données de la simulation est incertaine, et il est nécessaire de déterminer les caractéristiques statistiques pour une meilleure représentativité. La production de métamodèles (avec OpenTURNS) exige des bases d'apprentissage, un défi pour les simulateurs « haute-fidélité », qui capturent finement les lois de la physique : pour cela, l'ONERA utilise son solveur Maxwell3D, qu'il a largement optimisé. Ainsi, si le calcul haute performance vise souvent le défi des simulations extrêmes, les optimisations sont indispensables lorsque la conduite des plans de calcul exige des milliers de points de calcul.

Calcul réalisé avec 40 401 points de calcul pour le système linéaire à résoudre.

# UN ÉCOSYSTÈME DYNAMIQUE

## Renouvellement d'un accord sur les méthodes *Lattice Boltzmann*

L'ONERA a renouvelé pour la période 2024-2028 son accord de collaboration de recherche avec le consortium composé d'Airbus, Aix-Marseille Université, CS Group, Centrale Lyon, Renault et Safran pour le développement du logiciel ProLBT<sup>™</sup>. Ce logiciel s'appuie sur l'approche *Lattice Boltzmann* qui a démontré son intérêt pour le traitement de configurations complexes en mécanique des fluides instationnaire et en aéroacoustique. L'ONERA mène des recherches amont sur cette approche et contribue au développement et à la validation du logiciel ProLBT<sup>™</sup>, comme l'illustre le résultat ci-dessous.



## En route vers l'Exascale



La France a été officiellement choisie en 2023 pour héberger et exploiter un nouveau supercalculateur européen Exascale au centre CEA de Bruyères-le-Châtel, et l'ONERA a décidé de rejoindre le consortium formé à cet effet. L'accès privilégié à partir de 2026 à des capacités de calcul sans précédent (plus de 1 Exaflops, soit un milliard de milliards d'opérations par seconde) permettra à l'ONERA de pleinement jouer son rôle d'éclaireur du futur du secteur aéronautique et spatial. Pour se préparer au calcul Exascale, l'ONERA est associé au programme national de recherche NumPEX (Numérique pour l'Exascale) avec un démonstrateur numérique de prototype d'avion de nouvelle configuration, s'inscrivant dans la perspective d'une aviation décarbonée.

## Une présence forte de l'ONERA dans l'écosystème du calcul quantique

Même si au stade actuel, encore très prospectif, du calcul quantique, il ne peut s'agir que de poser les premières bases et si la route est encore longue avant de pouvoir traiter des cas industriels, l'ONERA se met en ordre de marche sur le sujet pour pouvoir, à long terme, faire bénéficier les programmes en aéronautique, espace et défense de simulations numériques à la fois moins énergivores et plus rapides.

L'ONERA cherche en particulier à évaluer le potentiel du calcul quantique pour la résolution numérique des équations aux dérivées partielles pour la simulation numérique en aérodynamique et pour la combustion. À cet effet, l'ONERA participe à deux projets du PAQ Quantique (PAQ) de la région Île-de-France, en coopération avec les *start-up* Quandela et Pasqal et les industriels Airbus et MBDA, ainsi qu'au projet VulQain, financé par l'AID, piloté par la *start-up* ColibriTD et impliquant également la société Eviden.

L'ONERA pilote, en outre, un groupe de travail du GIFAS sur les technologies quantiques, qui a émis ses recommandations en mars 2024, en incluant le domaine du calcul quantique.

# VALORISATION

**Si la recherche aéronautique, spatial et de défense est la mission première de l'ONERA, le transfert des résultats de ses recherches au bénéfice de l'industrie est un enjeu national majeur. L'ONERA a pour mission de valoriser ses expertises et d'accélérer les projets innovants. C'est la mission de la Direction de la valorisation et de la propriété intellectuelle (DVPI)**

## ONERA ACADEMY®

**Le projet ONERA Academy®, lancé en 2022, traduit la volonté de l'ONERA de mettre en place une offre structurée de formation continue, et ainsi proposer de nouveaux leviers de valorisation de l'offre ONERA en lien avec ses missions.**

En 2023, la marque ONERA Academy® a été déposée, les conditions générales de vente des formations ont été validées ainsi que les formulaires d'inscription et la convention de stage.

Le choix de l'ONERA est de privilégier, dans un premier temps, le « développement » de formations sur l'utilisation des logiciels « maison », testés et affinés en interne pour éprouver les concepts, hors grands codes. Ces formations constitueront un premier catalogue d'offres de formation : l'ONERA dispose d'un véritable gisement de près de 600 codes développés par les départements scientifiques.

La formation CASSIOPEE (CFD *Advanced Set of Services In an Open Python Environment*) réalisée du 19 au 21 septembre 2023 avec le partenaire ANDHEO, en lien avec le département d'aérodynamique, a été découpée en trois modules d'une journée. Il s'agit d'un ensemble de modules python proposant des services en pré, co et post-traitement de calcul CFD (eISA, CEDRE...).



Le succès de cette formation, qui a réuni à la fois des apprenants ONERA et des apprenants extérieurs, a permis de déclarer l'ONERA organisme de formation auprès du ministère du Travail, du plein emploi et de l'Insertion, et de planifier rapidement de nouvelles sessions.

Confortée par le vif intérêt des futurs participants, la 2ème formation test est programmée en mars 2024. Cette formation 100 % ONERA (organisée par le département optique) portera sur le logiciel MATISSE, code de transfert radiatif permettant la modélisation avancée de la Terre pour l'imagerie et la simulation des scènes et de leur environnement.

Un logiciel LMS (Learning Management System) a en parallèle été implémenté fin 2023 pour gérer la formation professionnelle et ainsi répondre aux exigences qualité (Qualopi, notamment) et aux exigences administratives, comme la télédéclaration annuelle du BPF (bilan pédagogique et financier) retraçant l'activité de formation.

En 2024, ONERA Academy® continuera à se déployer, avec un catalogue étoffé, afin de répondre aux besoins des partenaires ONERA. L'objectif : obtenir la certification Qualiopi qui viendra attester de la qualité du processus de formation professionnelle.



# LE PROJET DX400

## MOBILITÉ AÉRIENNE AUTONOME ET ÉLECTRIQUE

**Le projet DX400 porte sur le développement d'un drone cargo eVTOL (*electric Vertical Take Off and Landing*), à grande élévation et forte capacité d'emport. Il répond à un besoin émergent du marché et s'inscrit dans le contexte de la neutralité carbone programmée à l'horizon 2040.**

Les travaux réalisés en 2023 ont été conduits dans le cadre d'un projet d'innovation financé par la DVPI, dans la continuité de ceux réalisés en 2022. Ces travaux ont permis de consolider la formule aérodynamique du DX400 ainsi que le design de son système propulsif.

Le DX400 dispose d'une propulsion hy-

bride électrique, distribuée sur quatre paires d'hélices contrarotatives assurant la sustentation en mode eVTOL et une hélice propulsive pour le vol de croisière. Le système est conçu pour rester résilient après l'occurrence de deux pannes simultanées de moteurs électriques. Ce concept a fait l'objet d'un dépôt de brevet en 2023.

Par ailleurs, en 2023, un dossier de maturation financé par la SATT Paris-Saclay a été élaboré : il finance le développement du cœur de la propulsion hybride du DX400 sur un banc sol installé sur le centre du Fauga. Une convention mise en place entre la SATT et l'ONERA prévoit également l'embauche en CDD de deux ingénieurs pendant la durée du projet (18 mois).

La *start-up* Windair, en tant que tiers exploitant, a signé avec la SATT les *term-*

*sheet* lui permettant l'exploitation de cette technologie (porteur du programme DX400)

Les premiers travaux débiteront en 2024 et porteront sur l'intégration, sur un banc sol au Fauga, des principaux composants de la chaîne de propulsion du DX400.

La FdR 1.1 de l'ONERA (électrification des aéronefs) a proposé d'intégrer le projet DX400 de Windair dans son programme, en tant que projet de collaboration porté par un partenaire industriel. L'ONERA et Windair travailleront à la mise en place d'un accord-cadre de partenariat, dès le premier trimestre 2024. Parmi les travaux collaboratifs envisagés en 2024, on citera le projet d'essais en soufflerie sur une maquette à l'échelle 1/3 de cet appareil suivi de la préparation d'une démonstration en vol à l'échelle réduite du DX400 (à l'horizon 2025).

### INDICATEURS PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE 2023

**11** nouvelles demandes de brevet

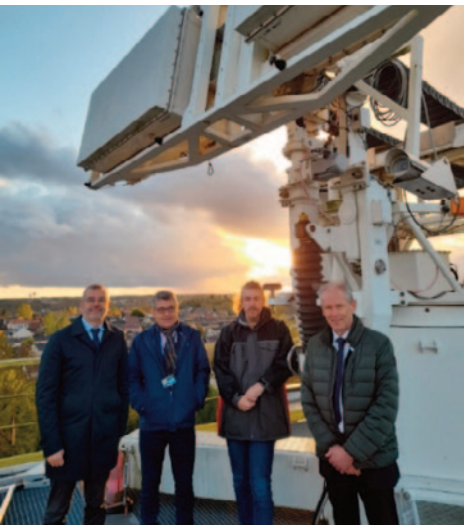
**13** nouvelles déclarations d'invention

**55** nouveaux logiciels enregistrés

**97** contrats de licence en cours

**12** nouvelles enveloppes Soleau

**14** nouvelles licences  
**2** marques



## Visite de l'OTAN à l'ONERA



Le 9 novembre, l'ONERA recevait à Palaiseau le directeur du Collaborative Support Office de l'OTAN, John-Mikal Stordal et son adjoint le général Philippe Montocchio.

Témoignage adressé à la communauté S&T OTAN : « Le directeur adjoint du CSO, le général de division (retraité) Philippe Montocchio, et moi-même avons eu l'honneur de visiter l'ONERA, le laboratoire aérospatial français, dans ses installations situées juste à l'extérieur de Paris. (...) Philippe et moi avons rencontré certains de leurs scientifiques et ingénieurs de classe mondiale, et nous avons eu un aperçu de première main de certaines des recherches uniques qu'ils entreprennent. L'ONERA, créé en 1946, avait pour mission de hisser la France au premier rang mondial de l'excellence scientifique et technique dans le domaine de l'aéronautique et de transférer ses résultats scientifiques et techniques à la défense nationale et à l'industrie aéronautique françaises. Près de 80 ans plus tard, on peut dire que l'ONERA a connu un succès retentissant. »

## L'ONERA et la NASA signent un nouvel accord de recherche sur le givrage



Le 20 juin à Palaiseau, lors d'une réunion ONERA-NASA, Robert A. Pearce, administrateur associé de la NASA et Bruno Sainjon, PDG de l'ONERA, ont signé un accord poursuivant la coopération sur l'étude des effets aérodynamiques du givrage. Il vise à confronter des données de mesures aérodynamiques et des données de simulation pour un modèle d'avion à grande portance (HL-CRM, *High Lift Common Reference Model*) placé dans un environnement de glace artificielle. Des essais sont prévus dans la soufflerie transsonique de la NASA et dans la soufflerie pressurisée ONERA-F1.

## L'ONERA et l'IFAR conviés au conseil de l'OACI lors d'une session « innovation »



Les 20 et 21 mars, l'IFAR a été invité par l'OACI pour présenter les résultats de leur première coopération sur la nouvelle thématique de la mobilité urbaine par drones. L'occasion pour le réseau

IFAR de remettre le rapport final de cette étude « *Urban Air Mobility Scientific Assessment* » au secrétaire général de l'OACI. 80 chercheurs des institutions membres de l'IFAR y ont participé, en étroite collaboration avec les experts de l'OACI. Cet événement a permis aussi de lancer les discussions sur la prochaine coopération.

## Économie circulaire : l'ONERA coorganisateur d'un événement majeur au Salon du Bourget



L'ONERA et le NLR, assurant respectivement la présidence et la coprésidence du thème « *Future Sky Circular Aviation* » de l'EREA\*, ont co-organisé avec la CE\* un événement « *ReThink Aviation - ReUse, ReCycle, RePair, ReBuild* » au Salon du Bourget. Un sujet important pour l'ONERA, déjà actif dans différentes pratiques « circulaires » : le développement de procédés moins gourmands en matières premières et en énergie, le recyclage d'alliages de qualité aéronautique, l'augmentation de la durée de vie de pièces

et de composants, la réparation de pièces de moteurs, l'écoconception...

## Célébration des 50 ans du GARTEUR

Le 50<sup>e</sup> anniversaire du GARTEUR (*Group for Aeronautical Research and Technology in EUROpe*) s'est déroulé les 5 et 6 octobre à l'Académie de l'armée de l'air italienne à Pozzuoli.



## L'ONERA, acteur de la politique spatiale européenne

L'ONERA est de plus en plus fréquemment consulté par la DG DEFIS (CE\*) sur les questions de politique spatiale. Ces consultations transitent généralement par l'ESRE\*, dont l'ONERA est membre fondateur. Le 30 juin, l'ONERA et l'ESRE ont présenté à M. Christoph Kautz, chef de l'unité B1 « connectivité sécurisée et surveillance de l'espace » et à M. Guillaume de la Brosse, chef de l'unité B2 « innovation et *New Space* », de la DG DEFIS, leurs recommandations. Le 18 juillet, ils ont échangé avec M. Guillaume de la Brosse et son équipe, autour des projets de la CE d'établir une réglementation destinée à encadrer, dans une optique de sécurité et de résilience, le trafic spatial croissant.

\* ESRE : l'association des établissements européens de recherche spatiale - UPS : Université Paris-Saclay - EREA : Association of European Research Establishments in Aeronautics - CE : Commission européenne - DSO : Defence Science Organisation, Singapour - DG DEFIS : Directorate-General for Defence Industry and Space, Commission européenne.



## Séminaire «jeunes chercheurs» au Salon du Bourget et dans le cadre de l'IFAR : 19 nationalités représentées pour travailler sur l'aviation durable !

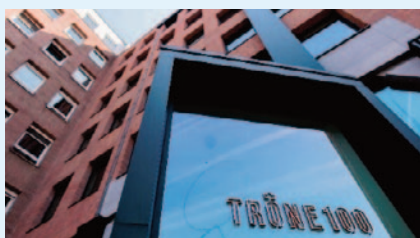
La semaine du Salon du Bourget a été l'occasion d'organiser un séminaire «jeunes chercheurs» selon le modèle du réseau ECN (*Early Career Network*), réuni enfin en présentiel après plusieurs années de Covid 19 : une occasion exceptionnelle pour la France, l'ONERA et l'IFAR de permettre à des jeunes chercheurs de 19 nationalités différentes de travailler ensemble sur le futur de l'aéronautique décarbonée, plus précisément sur l'optimisation d'un avion générique hybride. En partenariat avec l'Université Paris-Saclay, la semaine s'est organisée autour de conférences, travaux collaboratifs, présentations au Paris Air Forum et visite du Salon du Bourget. Cette initiative de l'ONERA suscite celle d'autres membres de l'IFAR pour mettre sur pied un nouvel événement ECN en 2024.

## Coopération avec Singapour : visite du secrétaire permanent de la défense singapourien, Melvyn ONG

**Melvyn ONG, Permanent Secretary (Defence Development), un rang équivalent de celui de secrétaire d'État au sein du ministère de la Défense singapourien, est venu sur le site de Palaiseau.** Réunions et visites techniques se sont déroulées : visite des souffleries de Modane par Mme NG Keng Bee, directrice du laboratoire UAV du DSO, conseils d'administration annuels de la coopération ONERA-DSO et du laboratoire SONDRRA. 2023 a aussi été marquée par la confirmation de l'intérêt pour de nouveaux sujets, propices à élargir et pérenniser la coopération entre l'ONERA et le DSO.



## La MIFJC atteint son régime de croisière !



L'ONERA est membre fondateur et permanent de la Maison Irène et Frédéric Joliot-Curie (ex-CLORA depuis 2022). Créée pour faire rayonner la science et l'innovation françaises à Bruxelles, la MIFJC rassemble 25 institutions

de recherche : 12 d'entre elles (dont l'ONERA) y occupent un bureau permanent. Adhésion, occupation des locaux, événements : la MIFJC est un succès. L'ONERA s'est distingué notamment par l'organisation d'une journée dédiée aux données de l'infrastructure spatiale.

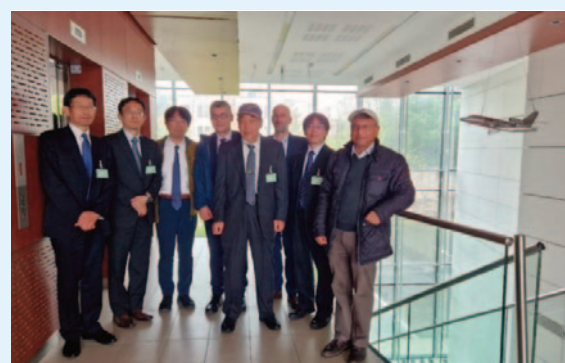
## L'ONERA, acteur important du partenariat Clean Aviation

L'ONERA est un acteur important du partenariat européen Clean Aviation : il en est membre fondateur. Il est partenaire de huit (sur 20) projets démarrés en 2023, et de trois projets sélectionnés en 2023 (dont un projet en coordination sur voilure du futur avion à faible/moyen rayon d'action).



## Visite de l'agence japonaise pour le développement de l'aéronautique

L'ONERA accueillait, lundi 30 octobre à Palaiseau, une délégation de l'International Aircraft Development Fund (IADF), l'agence chargée de la stratégie de développement de propulsion et de l'environnement.



# INVESTISSEMENTS

## Investir pour construire le futur

En 2023, d'importants investissements ont été réalisés dans un objectif inchangé depuis la création de l'ONERA : se maintenir à la pointe du savoir-faire expérimental.



### PyCoFire

(montant total de 15,80 M€)

département multiphysique pour l'énergétique

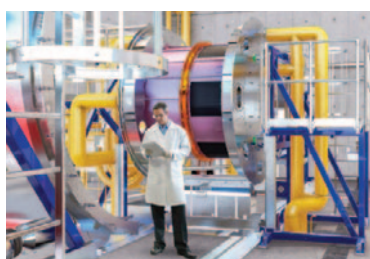
Dans le cadre de l'amélioration de la sécurité des aéronefs et de l'évaluation de leur performance environnementale, impliquant de plus en plus de matériaux composites, le projet PyCoFire (*Pyrénées Composite Fire Research*) a pour objet le développement d'une plateforme rassemblant des moyens de caractérisation de la tenue au feu des matériaux nouveaux, en vue de comprendre et de modéliser leur comportement.

Cette plateforme regroupe des moyens représentatifs des spécificités industrielles de feu en milieu ouvert ou confiné, en lien étroit avec les industriels Airbus, SAFRAN et ArianeGroup.

Deux bancs, FAN et CORE-EXTINCTION, sont installés au LACOM sur le centre ONERA du Fauga-Mauzac, pour l'étude de la propagation d'un incendie dans les turbomachines. Ils sont complémentaires du banc de recherche Burn-Through dédié à l'étude de la tenue au feu de matériaux et de panneaux sous sollicitation biaxiale.

Ce projet est financé à 65% par le FEDER et la région Occitanie, complétant le cofinancement industriel de 2,15 M€. La réception de la plateforme d'essai s'est finalisée en 2023.

15,80 M€



### Simulateur SCHEMAX

(montant total de 1,79 M€)

département traitement de l'information et systèmes

L'objectif est d'améliorer la performance des systèmes associant humains et machines, et la sécurité des vols et les performances opérationnelles grâce à un cockpit de recherche de simulation interactive supportée par les techniques de réalité virtuelle qui est installé sur le centre ONERA de Salon-de-Provence.

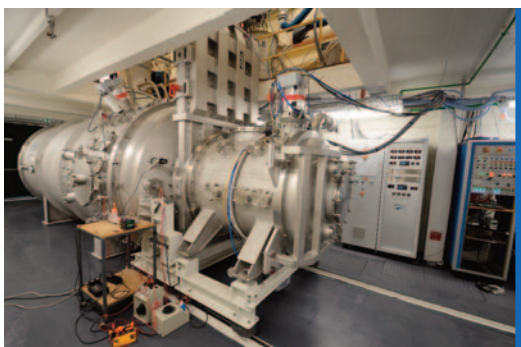
Pont entre la recherche fondamentale et l'industrie, SCHEMAX est une plateforme expérimentale unique en Europe, qui intègre des outils d'acquisition biométriques complexes pour la caractérisation des signaux

biologiques, indispensables au développement de modèles cognitifs et sensorimoteurs s'inscrivant dans la conception de systèmes intelligents assurant l'intégration homme-système.

SCHEMAX répond ainsi aux attentes de recherches académiques du domaine de l'aéronautique civile et de la défense. Les derniers capteurs et systèmes d'acquisitions biométriques sont mis en place et calibrés début 2023, pour une exploitation immédiate de la plateforme d'essai dans le projet TOUCANS et le PST MEDIEVAL.

1,79 M€





# 1,70 M€

## Caisson ERIS

(montant total de 1,70 M€)

département physique

**Le projet ERIS (équipement de recherche pour l'instrumentation et la propulsion des satellites) répond à un intérêt national pour de nouvelles applications de propulsion électrique de satellites.**

Ses dimensions (4 m de long et 2 m de diamètre) sont adaptées à l'étude de propulseurs dans la gamme 2-3 kW, en vue d'accompagner le développement des propulseurs ECRA (*Electron Cyclotron Resonance Acceleration*). Les essais de recette de l'installation de simulation spatiale, livrée à Palaiseau en 2021 dans une travée spécialement aménagée et consolidée en raison de sa masse et de ses dimensions hors norme, ont été conduits, avec succès, en 2022-2023.



# 1,88 M€

## Base HF21

(montant total de 1,88 M€)

département électromagnétisme et radar

**Le projet HF21 porte sur le développement d'une base haute fréquence tout numérique en émission et en réception, afin de disposer d'un radar autonome.**

Ce nouvel équipement ouvre la voie à de nouveaux sujets de recherche, comme le fonctionnement en mode MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*), et permet d'effectuer des études poussées de l'ionosphère, tout en gardant les capacités optimisées de détection des systèmes radars NOSTRADAMUS et PEGASE.

L'équipement est finalisé et testé en 2023, pour une mise en exploitation au second semestre.



# 2,50 M€

## Liens optiques terre-satellite TOSSCA

(montant total de 2,50 M€)

département optique et techniques associées

**Les liens optiques satellite-sol sont envisagés pour les futurs moyens de télémétrie charge utile de satellites d'observation du sol en orbite basse (TMCU low earth orbit) et pour la fourniture d'accès Internet : les satellites géostationnaires sont alors utilisés comme relais de communication.**

Pour parvenir à établir un lien haut débit haute disponibilité avec ce type de satellite, la maîtrise de la propagation est nécessaire : c'est tout l'enjeu de TOSSCA (transmissions satellite-sol corrigées par optique adaptative), organisé autour de deux volets :

- le développement, en 2019-2020, d'une plateforme innovante de développement de concepts d'optique adaptative pour les liens optiques (PICOLO) ;

- la réalisation, en 2021-2022, d'un démonstrateur station sol FEELINGS pour la validation de briques technologiques pour liens FEEDER GEO.

En 2023, la station FEELINGS a été installée sur le site du Fauga, testée pour une mise en exploitation au printemps 2024.





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**



En 2023, l'audit de certification a conduit au  
renouvellement pour 3 ans de la certification  
ISO 9001-2015 de l'ONERA



6, chemin de la Vauve aux Granges  
91120 Palaiseau – France – tél. : +33 1 80 38 60 60

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