

# RAPPORT ANNUEL 2022



## Sommaire

<b>5</b>	<b>L'ONERA en bref</b>
<b>6</b>	<b>Éditorial du président</b>
<b>8</b>	<b>Temps forts</b>
<b>10</b>	<b>Témoignage d'Emmanuel Chiva</b>
<b>12</b>	<b>Témoignage de Philippe Baptiste</b>
<b>14</b>	<b>Témoignage de Bruno Even</b>
<b>16</b>	<b>Chiffres clés</b>
<b>18</b>	<b>La RSE à l'ONERA</b>
<b>19</b>	<b>Ressources humaines</b>
<b>22</b>	<b>Prix</b>
<b>24</b>	<b>Faits marquants</b>
<b>30</b>	<b>Défense</b>
<b>34</b>	<b>Aéronautique</b>
<b>38</b>	<b>Espace</b>
<b>42</b>	<b>Souffleries</b>
<b>46</b>	<b>Simulation numérique</b>
<b>48</b>	<b>Valorisation</b>
<b>50</b>	<b>International</b>

Crédits images : iStock - SIRPA Air / Anthony Jeuland - DGA Essais en vol - Antoine Gouin - Philippe Choy / ONERA



## Le centre français de recherche aérospatiale



L'ONERA, acteur central de la recherche aéronautique et spatiale, emploie plus de 2000 personnes. Placé sous la tutelle du ministère des Armées, il dispose d'un budget de 289 millions d'euros (2023), dont plus de la moitié provient de contrats d'études, de recherche 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

**M**algré trois années bousculées par la crise du COVID-19 et la guerre en Ukraine, avec comme corollaire en 2022 une inflation triplée en un an, l'ONERA a maintenu son cap avec confiance.

Cela prouve la résilience de nos choix et orientations. Cette solidité est partagée par nos partenaires, qui reconnaissent et apprécient nos travaux et l'engagement profond des salariés de l'ONERA, à commencer par notre tutelle, le ministère des Armées.

Ce rapport annuel est comme toujours l'occasion de faire une rétrospective des nombreuses réussites de l'année écoulée.

En mars, nous avons signé avec la ministre des Armées un nouveau contrat d'objectifs et de performance pour cinq ans. Depuis, notre tutelle nous a accordé une augmentation de subvention pour 2022 et 2023, afin de mieux faire face à l'inflation, ainsi qu'un premier relèvement de notre plafond d'effectifs. Je l'en remercie.

En 2022, nos prises de commandes ont établi un nouveau record, avec 162,9 M€. Le record précédent, battu en 2021 avec 151,9 M€, n'aura tenu qu'un an. Ce succès a été construit tant du côté des départements scientifiques que de la direction des souffleries, et marqué par deux nouveaux records là encore, ceux des prises de commandes DGA et de celles réalisées hors de France. Le haut niveau d'activité, généré par les prises de commandes de 2022 et des années précédentes, est le signe de la haute confiance et des attentes placées en nous par l'ensemble de nos partenaires, étatiques et industriels, nationaux et internationaux. Grâce aux efforts des salariés pour réaliser cette activité, l'ONERA termine 2022 avec un résultat net comptable positif de 14,4 M€.

Les nombreux prix et récompenses décernés à l'ONERA et à ses chercheurs témoignent une nouvelle fois de l'excellence de notre recherche scientifique. Vous en trouverez une sélection dans ce rapport annuel.

Deux événements ont plus particulièrement marqué les esprits en 2022. Les résultats de la mission Microscope, révélés le 14 septembre, ont confirmé l'intangibilité du principe d'équivalence d'Albert Einstein avec une précision inégalée de  $2,7^{10-15}$ . Cette extraordinaire aventure scientifique confirme la première place mondiale occupée par l'ONERA dans le domaine des accéléromètres spatialisés. Ce même 14 septembre, l'Association des journalistes professionnels de l'aéronautique et de l'espace a décerné à l'ONERA et aux équipes de Modane son

grand prix ICARE 2022 pour le sauvetage de la grande soufflerie S1MA. Une reconnaissance de la presse pour ce fleuron de l'industrie française, essentiel pour notre défense et pour nos industriels. Le lendemain, 15 septembre, un département de la Maison-Blanche, le *National Space Council*, nous faisait l'honneur d'une visite à Palaiseau, à l'occasion de la venue de la délégation américaine pour préparer le *Space Comprehensive Dialogue* avec la France.

Parmi les nombreux signes de l'excellence scientifique de l'ONERA présentés dans ce rapport, soulignons, côté international, le *Group Achievement Award*, un prix interne de la NASA, décerné en mars à une équipe mixte NASA-ONERA pour ses travaux sur le givrage, l'un des grands thèmes historiques de notre coopération. Et remarquons que le prix attribué en novembre par l'Académie des sciences à Sylvia Feld-Payet au titre de ses travaux pour simuler l'endommagement des matériaux est la sixième consécration d'un scientifique de l'ONERA par l'Académie depuis 2018.

Acteur engagé auprès de la DGAC et de l'industrie dans la démarche entreprise par l'État pour accélérer la transition vers une aviation décarbonée, l'ONERA a rejoint fin 2022 le Club développement durable des établissements publics. Notre démarche répond aux enjeux sociétaux du secteur, portés par le plan de relance aéronautique du gouvernement et les programmes européens de recherche. Nos engagements se traduisent tant dans la conduite de nos recherches pour l'aviation durable (décarbonation et réduction de la consommation d'énergie notamment), que dans la prise en compte des enjeux environnementaux dans notre fonctionnement courant.

Éclairer le futur et mettre à la disposition de nos parties prenantes les outils et les compétences nécessaires à la recherche est une mission primordiale de l'ONERA. Nos feuilles de route ont été actualisées fin 2022 et feront l'objet d'un document public à l'horizon du Bourget 2023. Elles constituent désormais le principal outil de pilotage de notre activité scientifique et technique, indispensable au service de nos grandes finalités.

Enfin, l'ONERA continue d'attirer les talents : ce ne sont pas moins de 194 nouveaux salariés qui ont rejoint l'ONERA en 2022, ce dont je me réjouis. Ils viennent écrire, avec ceux qui les ont précédés, les pages du futur de l'aéronautique, du spatial et de la défense.

Découvrez dans ce rapport annuel les grands temps forts 2022 de l'ONERA !

# L'ONERA maintient le cap

## SIGNATURE DU COP 2022-2026 AVEC LE MINISTÈRE DES ARMÉES

Florence Parly, ministre des Armées, et Bruno Sainjon ont signé, le 3 mars, ce contrat d'objectifs et de performance (COP). Il structure les relations entre l'Office et l'État, représenté par l'AID (Agence de l'innovation de défense) et la DGA (Direction générale de l'armement), reconnaissant le succès de la transformation de l'ONERA et son statut de partenaire clé du ministère et de l'industrie.



## LES RÉSULTATS FINAUX DE LA MISSION MICROSCOPE ATTEIGNENT UNE PRÉCISION RECORD

Le satellite équipé de l'instrument T-SAGE de l'ONERA a livré ses derniers résultats et vient confirmer le principe d'équivalence avec une précision inégalée de  $10^{-15}$ . Ces résultats, qui ont fait l'objet de 200 publications dans 25 langues, confirment l'expertise de l'ONERA en matière d'accéléromètres, mondialement reconnue.

## LA GRANDE SOUFFLERIE S1MA DE MODANE REÇOIT UN PRIX PRESTIGIEUX

Le 14 septembre, l'AJPAE – Association des journalistes professionnels de l'aéronautique et de l'espace – a décerné le prix ICARE 2022 à la grande soufflerie S1MA. Une reconnaissance de la presse du secteur pour ce fleuron de l'industrie française, incontournable et essentiel pour les industries et notre défense.



## VISITE DU GÉNÉRAL MILLE, CHEF D'ÉTAT-MAJOR DE L'ARMÉE DE L'AIR ET DE L'ESPACE

Le 30 novembre, le général Mille est venu découvrir l'ONERA à travers la visite de différents laboratoires de Palaiseau : les statoréacteurs et moyens en propulsion électrique dans l'espace. Ce fut aussi l'occasion d'échanger autour du spatial et du partenariat avec l'École de l'air et de l'espace.

## LA NASA DÉCERNE UN GROUP ACHIEVEMENT AWARD À UNE ÉQUIPE DE L'ONERA

Cette récompense de très haut niveau, habituellement interne à la NASA, distingue une équipe commune NASA-ONERA pour le projet SUNSET 2 (étude des effets du givre sur des ailes en flèche). Cette coopération se poursuit avec SUNSET 3, qui étudie les effets du givre sur les ailes en flèche hypersustentées.



## COOPÉRATIONS DÉFENSE INTENSES AVEC SINGAPOUR

De nombreuses visites ont eu lieu : d'abord l'ambassadrice Teow Lee Foo, accompagnée de Mme Yihui Chia, première secrétaire chargée des affaires politiques, et de William Peh, conseiller pour les affaires d'armement et de défense ; puis le général NG Chad-Son, directeur de l'innovation de défense ; enfin plusieurs délégations dans le cadre du laboratoire quadripartite SONDRRA.



## UNE COOPÉRATION TOUS AZIMUTS AVEC LES USA

Visite le 15 septembre de la délégation du *National Space Council*, l'instance suprême du domaine spatial US, présidée par M. Chirag Parikh, son secrétaire exécutif, basé à la Maison Blanche. Le 20 octobre, célébration des 50 ans de coopération sur les hélicoptères entre l'*US Army* et l'équipe ONERA-DGA à Palaiseau.



## L'ONERA A INAUGURÉ SON LABORATOIRE DES TECHNOLOGIES QUANTIQUES QTECH

QTech a pour mission de fédérer les activités en lien avec les applications de la physique quantique aux domaines de l'aéronautique, du spatial et de la défense (ASD). Ce laboratoire transverse, qui concerne environ une trentaine de chercheurs de l'ONERA, favorise aussi les échanges avec des partenaires académiques et industriels. L'ONERA a inauguré QTECH le 8 février 2022.



## L'ONERA, L'ÉPINE DORSALE DE BLAST

Le programme d'accélération dédié aux projets *deeptech* du secteur ASD a dévoilé sa deuxième promotion. Parmi les 18 heureux élus, l'ONERA est fier de compter deux de ses chercheurs. L'Office joue un rôle majeur dans BLAST : l'accompagnement scientifique des porteurs de projet.

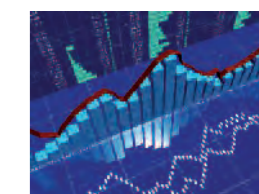
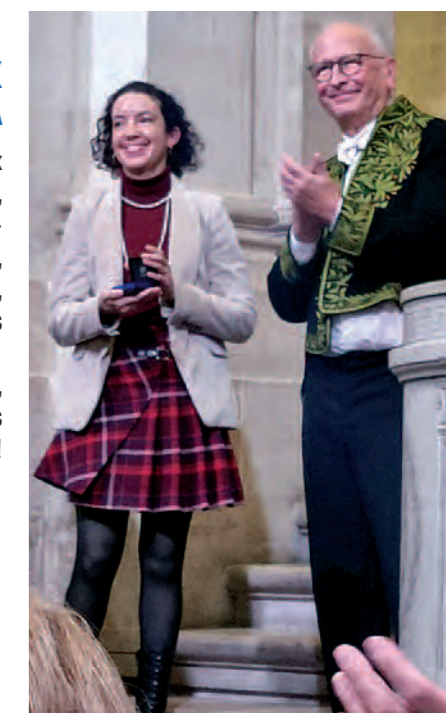
## NOUVEAU SOUTIEN DE LA DGAC POUR LES SOUFFLERIES



À la suite de la visite de Pierre Moschetti, sous-directeur de la construction aéronautique en juin, la DGAC (Direction générale de l'aviation civile) accorde une nouvelle subvention à la direction des souffleries pour le développement du projet SCAMPIS : coopération engagée depuis plus de dix ans avec le Laboratoire d'électronique et de technologie de l'information du CEA (CEA-Leti) pour le développement de systèmes d'acquisition ultra-performants et miniaturisés.

## MOISSON DE PRIX À L'ONERA

Première place du prix international Joseph Fourier, prix Esprit Fondation Michelin-Académie des sciences, prix 3AF de l'aéronautique, huit prix de thèse décernés à nos alumni... L'année 2022, une fois de plus, met les scientifiques de l'ONERA à l'honneur !



## COMMANDES : ANNÉE DES RECORDS

Un nouveau record a été établi avec 162,9 M€ de prises de commandes ; un succès construit tant par les départements scientifiques que par la direction des souffleries, et marqué par un second record, celui des prises de commandes hors de France, qui dépassent les 50 M€.

Emmanuel Chiva,  
délégué général  
pour l'armement



# QUESTIONS À

Oliver La Comie / ECPAD / Armées

« L'ONERA a toujours été un partenaire indéfectible de la DGA pour la recherche et le développement des technologies de pointe »

**Nous assistons au retour de la « guerre haute intensité » : quels défis sont à relever et quel sera le rôle de l'ONERA ?**

Face à des menaces de plus en plus diversifiées, nous concevons dorénavant globalement notre système de défense à l'échelle des capacités, par exemple la capacité de combat aérien, plutôt que programme par programme, favorisant ainsi l'introduction de solutions nouvelles.

L'enjeu est pour la DGA de fixer de bonnes orientations structurantes et cohérentes sur la durée. Nous devons pouvoir faire face aux menaces d'aujourd'hui mais aussi de demain, à une guerre à haute intensité mais aussi hybride, à des armements assez classiques combinés à des modes d'action plus innovants comme les attaques cyber. La préparation de l'avenir est un enjeu stratégique. L'innovation de défense constitue également un levier majeur pour garantir demain la supériorité opérationnelle de nos armées et l'autonomie stratégique de la France. Elle s'inscrit à la fois dans le temps long, pour préparer des investissements structurants, anticiper les ruptures technologiques ou s'assurer de la maîtrise des technologies émergentes à caractère stratégique, et dans le temps court, pour capter rapidement l'innovation issue du marché civil.

L'ONERA aura un rôle à jouer essentiel à travers ses différentes formes d'intervention, que ce soit en apportant son expertise en assistance à la maîtrise d'ouvrage étatique, par des études menées en sous-traitance au bénéfice des industriels et par des essais et expertises sur des thématiques faisant appel à ses nombreux domaines de compétences.

**Quel rôle sera celui de l'ONERA en matière de dissuasion notamment ?**

Dans un contexte de regain de tension internationale et d'un retour de la dialectique nucléaire entre États dotés, il est plus que jamais indispensable pour la France de garantir la crédibilité de sa dissuasion, gage de sa sécurité et de sa position dans le concert des Nations.

À ce titre, l'adaptation permanente des composantes océanique et aéroportée de notre dissuasion nucléaire est l'une des missions structurantes de la DGA, tout comme l'anticipation des menaces futures et le développement des technologies de rupture qui permettront de garder une longueur d'avance sur nos adversaires.

Dans le domaine sensible de la dissuasion, l'ONERA a toujours été un partenaire indéfectible de la DGA pour la recherche et le développement des technologies de pointe. L'ONERA est un acteur incontournable, tour à tour incubateur de nouvelles technologies, bureau d'études, expert, co-maître d'œuvre, assistant à maîtrise d'ouvrage et essayeur, l'ONERA accompagne depuis plusieurs générations les systèmes de la dissuasion.

La liste des domaines d'intervention de l'Office est très large : systèmes propulsifs, aérodynamique, systèmes de navigation, systèmes radars, instrumentation ou encore évaluation de performances... Il va donc de soi que la DGA continuera à faire appel à toutes ces compétences et je pense que l'ONERA répondra présent en mobilisant ses ressources pour les enjeux de la dissuasion.

**Le théâtre de la guerre s'élargit à l'espace : comment l'ONERA peut-il aider à préparer les systèmes de combat nécessaires ?**

Grâce à ses compétences techniques et à sa connaissance du milieu aéronautique et spatial, l'ONERA est en mesure d'apporter toute son expertise en soutien des programmes spatiaux de la DGA, sous deux formes principalement.

Dans le cadre du programme ARES (Action et résilience dans l'espace), auquel l'ONERA contribue d'ores et déjà, les travaux ont vocation à se renforcer et l'ONERA assurera un rôle primordial d'assistant à maîtrise d'ouvrage.

Pour les autres programmes spatiaux, la DGA fait également appel à l'ONERA pour l'excellence reconnue de son expertise technique. C'est notamment le cas dans les domaines de l'observation, par exemple pour mettre en place des traitements d'images hyperspectrales, et de l'analyse des phénomènes physiques dans l'espace. Cette expertise est essentielle à la fois pour exploiter au mieux les capteurs spatiaux au profit des missions opérationnelles, mais aussi pour anticiper les risques du milieu exigeant qu'est l'espace, et ainsi mieux protéger nos satellites.

**Intelligence artificielle, quantique... Sommes-nous prêts pour les virages scientifiques à prendre ?**

L'intelligence artificielle offre une panoplie de techniques innovantes au service des domaines clés portés par l'ONERA. En termes d'applications prioritaires, je citerai le renseignement géospatial, la surveillance de l'espace, la surveillance de l'environnement opérationnel, le renseignement multi-capteurs ou les nouveaux algorithmes de contrôle, de planification et de navigation. Par ailleurs, les approches les plus récentes par apprentissage automatique ouvrent un champ des possibles particulièrement riche en termes d'amélioration des performances de nos systèmes de défense. Aussi, je me félicite que l'ONERA soit partie prenante de l'Institut interdisciplinaire en intelligence artificielle (3IA) à Toulouse dont les thèmes abordés, « sûreté et sécurité des systèmes critiques », sont d'intérêt majeur pour la défense.

À l'image de l'IA, mais plus prospectif, le virage quantique apporte de nombreuses ruptures potentielles concernant les capteurs pour des applications de guerre électronique, les radars, la navigation et la géolocalisation en ambiance brouillée, la sécurisation des réseaux de communication et la cryptologie. Le calcul quantique pourra également résoudre des problèmes d'optimisation combinatoires répondant par exemple au besoin de planification des opérations ou encore de préparation de mission. L'ONERA est un partenaire incontournable de ce champ d'innovation. Il a démontré qu'il est à la pointe mondiale des gravimètres à atomes froids embarquables avec le premier cas d'usage de technologies quantiques dans le domaine maritime. L'installation en 2022 de son laboratoire QTech pour fédérer l'ensemble de ses activités quantiques, avec une trentaine de personnes et un conseil scientifique présidé par Alain Aspect, est une initiative très prometteuse pour la défense. ■

Philippe Baptiste,  
président-directeur général  
du Centre national  
d'études spatiales



## QUESTIONS À

Christophe Peus / CNES

« L'ONERA recèle un potentiel immense pour façonner le monde spatial de demain »

**Dans la course au *New Space*, quelle place joue la France pour l'Europe ? Comment l'ONERA peut-il soutenir l'effort collectif ?**

Né aux États-Unis, le *New Space* connaît aujourd'hui une très forte expansion en Europe. Dans ce contexte, la France a une longueur d'avance en Europe avec en moyenne une *start-up* créée par semaine dans le secteur spatial. Ces acteurs, aussi divers qu'innovants, contribuent à relever les nouveaux défis du domaine spatial.

Grâce aux compétences des laboratoires de recherche, l'expérience des grands acteurs industriels historiques, comme Airbus, Thales Alenia Space ou ArianeGroup et à l'appui du dispositif France 2030, ces *start-up* bénéficient du soutien de l'ensemble de l'écosystème. Ces synergies sont essentielles pour dessiner le monde spatial de demain et rester à la pointe de l'innovation.

À cet égard, le CNES joue un important rôle d'interface entre les industriels, les jeunes pousses et les organismes de recherche tels que l'ONERA. Grâce à ses compétences dont la qualité est reconnue par tous (projet Microscope qui a permis d'éprouver la théorie de la relativité générale dans l'espace, excellence sur les radars, travail sur la combustion, codes et modèles, etc.), l'ONERA contribue directement à l'effort collectif dans le spatial, qu'il s'agisse de son volet civil ou militaire. Pour toutes ces raisons, son savoir-faire peut se diffuser et irriguer l'ensemble de l'écosystème. De la même manière, les *start-up* permettent de concrétiser la recherche des laboratoires. C'est grâce à ces interactions permanentes entre les différents acteurs que nous pourrions, tous ensemble, générer de la valeur.

**Le CNES travaille de plus en plus avec les *start-up* pour favoriser les innovations, quel rôle peut tenir un établissement de recherche comme l'ONERA dans cet écosystème ?**

L'ONERA dispose de technologies, de connaissances, de compétences et de savoir-faire exceptionnels au sein de ses laboratoires. Les nouveaux acteurs du spatial, qui, par nature, ont très envie de prendre des risques, peuvent nous aider à trouver des marchés et à passer de la recherche au marché. Acteur majeur dans le domaine de la recherche aérospatiale civile et militaire, l'ONERA permet à des *start-up* de se développer, que ce soit au travers de projets innovants ou en mettant à disposition l'expertise scientifique de ses laboratoires de recherche.

Alors que le secteur spatial est aujourd'hui en pleine mutation, je crois fermement que des acteurs comme l'ONERA et le CNES, partenaires historiques dans le domaine de la recherche spatiale, doivent continuer à mobiliser leurs forces pour répondre aux enjeux émergents du secteur. Il s'agit là d'une occasion formidable de contribuer au rayonnement de la France dans le domaine spatial. L'ONERA recèle un potentiel immense pour façonner le monde spatial de demain.

**Compétitivité, innovations... Et la science dans tout ça ? Quels défis scientifiques le CNES et l'ONERA doivent-ils relever ensemble, que ce soit pour des applications civiles ou militaires ?**

Dans nos secteurs, innovation, science et technologie sont étroitement mêlées. Les succès scientifiques de l'ONERA sont à cet égard multiples. Ici, je note avec plaisir les résultats de la mission Microscope, qui ont donné lieu à de nombreuses retombées médiatiques nationales et internationales et qui confirment la forte coopération scientifique CNES-ONERA ainsi que la première place mondiale de l'ONERA dans le domaine des accéléromètres spatialisés. Cette excellence est aussi reflétée par les très bons résultats des équipes de l'ONERA aux appels à projets européens. Par ailleurs, la science et les technologies de nos laboratoires irriguent les *start-up* mais ce sont aussi les produits innovants du *New Space* que nous utilisons de plus en plus dans des projets scientifiques.

Concernant les défis scientifiques actuels, je pense notamment aux constellations en orbite basse qui fleurissent ces dernières années et qui peuvent être vues comme emblématiques du *New Space*. À l'origine d'une véritable révolution copernicienne dans la manière dont on conçoit une mission, les constellations sont au cœur des enjeux du monde spatial actuel. Elles jouent un rôle considérable pour l'IdO (internet des objets) et les télécoms mais elles sont aussi utilisées pour l'observation de la Terre et des missions scientifiques. Elles sont également appelées à jouer un rôle important sur le plan militaire.

Je suis convaincu que le CNES et l'ONERA peuvent s'appuyer sur ces jeunes pousses innovantes dans tous les domaines. Il y a certes dans cette démarche une prise de risque (qu'il s'agit de maîtriser), mais nous avons les moyens d'accélérer les développements et de réduire les coûts.

La sécurité des opérations spatiales est par ailleurs selon moi l'un des défis majeurs des prochaines années, tant sur le plan civil que militaire. Pour répondre à cet enjeu crucial, qui passe notamment par la protection des systèmes spatiaux vis-à-vis des débris en orbite ou des phénomènes météorologiques dans l'espace, nous avons besoin de l'ONERA, de l'écosystème des *start-up*, des acteurs industriels, de l'EU-SST (*European science and surveillance tracking*). Cette large coopération est nécessaire pour répondre au défi de la sécurisation de nos opérations spatiales. ■

**Bruno Even,**  
président  
d'Airbus Helicopters,  
président du comité  
de pilotage du CORAC



# QUESTIONS À

Diane Bond / Airbus Helicopters

« L'ONERA joue un rôle déterminant pour être au rendez-vous de cette révolution qui se prépare »

**Le CORAC (Conseil pour la recherche aéronautique civile) regroupe l'ensemble des acteurs français du secteur du transport aérien. Quel rôle y joue l'ONERA ?**

Je vais prendre un exemple précis. Les études prévisionnelles sur la décarbonation de l'aérien, souvent assez complexes à analyser et à comparer, font l'objet d'un retentissement médiatique croissant, voire de désinformation, et s'inscrivent dans le contexte d'une multiplication d'annonces politiques autour de cibles carbone de plus en plus ambitieuses (Accord de Paris, Stratégie nationale bas carbone (SNBC), *Green Deal* européen, etc.), avec en particulier les objectifs de « zéro émission nette » en 2050, annoncés par l'Union européenne et par l'OACI (Organisation de l'aviation civile internationale). Il est donc apparu essentiel pour le CORAC de s'appuyer sur une analyse argumentée et didactique de l'évolution des émissions de CO<sub>2</sub> de l'aérien, sur la base de travaux indépendants et référencés. Le rôle de l'ONERA a été déterminant en réalisant cette analyse prospective sur les simulations des différentes trajectoires de décarbonation. Elle a démontré, à l'échelle géographique pertinente, c'est-à-dire mondiale, quelle pourra être l'évolution du CO<sub>2</sub> émis par l'aviation selon différents scénarios concernant les niveaux de trafic, les technologies, les opérations, l'incorporation de carburants durables, etc., sur les prochaines décennies, en les comparant aux cibles CO<sub>2</sub> pertinentes en 2050. Cette approche est par essence évolutive, mais elle accompagne la stratégie de recherche du CORAC en fournissant à ses acteurs privés et publics un outil d'évaluation de la pertinence et de l'efficacité des solutions technologiques, opérationnelles et énergétiques, et de leur calendrier de mise en œuvre.

**Quels sont les grands défis à venir pour dessiner les contours d'une aviation décarbonée ?**

Dans un contexte de sortie de crise Covid et de compétition internationale exacerbée, la période 2023-2027 sera cruciale pour la filière aéronautique française dans son objectif de préparer le lancement de nouveaux programmes et de conforter son leadership mondial.

Ainsi dès 2023, il s'agit de continuer les actions de levée de risque et de montée en maturité technologique engagées depuis 2020 grâce au soutien de l'État, *via* le plan de relance et France 2030, et confirmer ainsi la trajectoire de décarbonation telle qu'elle a été modélisée en différents scénarios par l'ONERA. Grâce à cette étude indépendante, le CORAC a établi sa stratégie et sa feuille de route, intégrant ses hypothèses et le calendrier de R&T associé.

Cela ne peut se faire qu'avec la relation de confiance qui s'est établie avec l'ONERA mais aussi grâce à ses compétences scientifiques et technologiques exceptionnelles. Nous disposons en France de cet atout essentiel qu'est l'ONERA pour conjuguer avance technologique, performance et compétitivité sans oublier la sécurité.

Il s'agit également pour toute la filière aéronautique française de se transformer pour aborder les prochains programmes de manière compétitive et souveraine.

**En quoi l'ONERA pourra-t-il aider la filière aéronautique ?**

L'ONERA, par sa maîtrise d'un spectre technologique unique en France, joue un rôle déterminant pour être au rendez-vous de cette révolution qui se prépare. Je le répète, c'est un enjeu de souveraineté industrielle et technologique majeur sur lequel nous devons travailler ensemble pour atteindre cette neutralité carbone du transport aérien en 2050.

L'ONERA participe par ses travaux à rendre cela possible avec des réalisations intermédiaires concrètes :

- un hélicoptère hybride ultra-sobre en 2030 ;
- un avion d'affaires ultra-sobre à partir de 2030 ;
- un avion régional et un court-moyen-courrier de nouvelle génération, ultra-sobre et décarboné en 2035.

Ces trois axes majeurs ont été déployés et les priorités de 2023 clairement annoncées :

- la transition vers de nouvelles énergies bas carbone ;
- l'ultra-frugalité assurant 20 à 30 % d'amélioration énergétique grâce à des ruptures technologiques dans le domaine des moteurs, des aérostructures, mais également des opérations ;
- l'évolution des processus de développement et du système industriel pour une entrée en service rapide au bon niveau de maturité et avec une montée en cadence permettant un rythme d'intégration dans les flottes cohérent avec les objectifs de décarbonation.

Toute la filière aéronautique s'y emploie activement et l'expertise et les compétences de l'ONERA sont indispensables. Il y a des disciplines clés pour lesquelles le savoir-faire de l'ONERA contribuera directement à la conduite des projets. Je pense notamment à la modélisation aérodynamique et aux essais en soufflerie, à la modélisation et aux essais moteurs, à la maîtrise des fortes puissances électriques. L'ONERA peut traiter à la fois des sujets dans leur globalité dans un domaine technologique (simulation, essai technique, recalage, extrapolation...) mais également aborder des sujets aéronautiques multidisciplinaires. Elle prouve l'immense expertise technique et technologique, unique en France, dont dispose la filière aéronautique.

Cette expertise est essentielle, car c'est bien toute la filière qui doit se transformer pour conserver son savoir-faire, pour permettre de développer les futurs produits répondant aux enjeux environnementaux avec des solutions technologiques compétitives et probablement en rupture avec les solutions existantes afin de réussir la décarbonation de l'aérien. Il en va de l'excellence de la France et de l'Europe industrielle et technologique. ■



# Chiffres clés 2022



**INVESTISSEMENTS**  
**49,5 M€**  
(40,1 M€ en 2021)

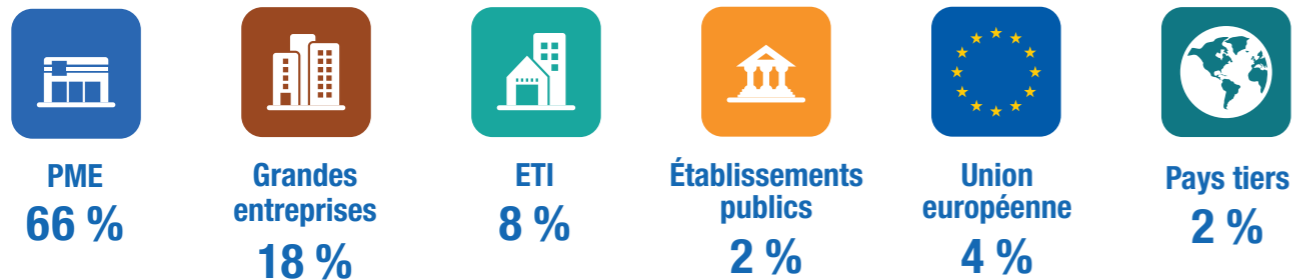
se répartissant en :

- **35,1 M€** pour les opérations courantes ;
- **10,6 M€** pour le programme ATP (*Aero Testing Programme*) de modernisation des souffleries, à la suite du prêt octroyé par la Banque européenne d'investissement (BEI) ;
- subvention exceptionnelle : **3,8 M€** pour le projet PRISME de rassemblement des trois centres d'Île-de-France.

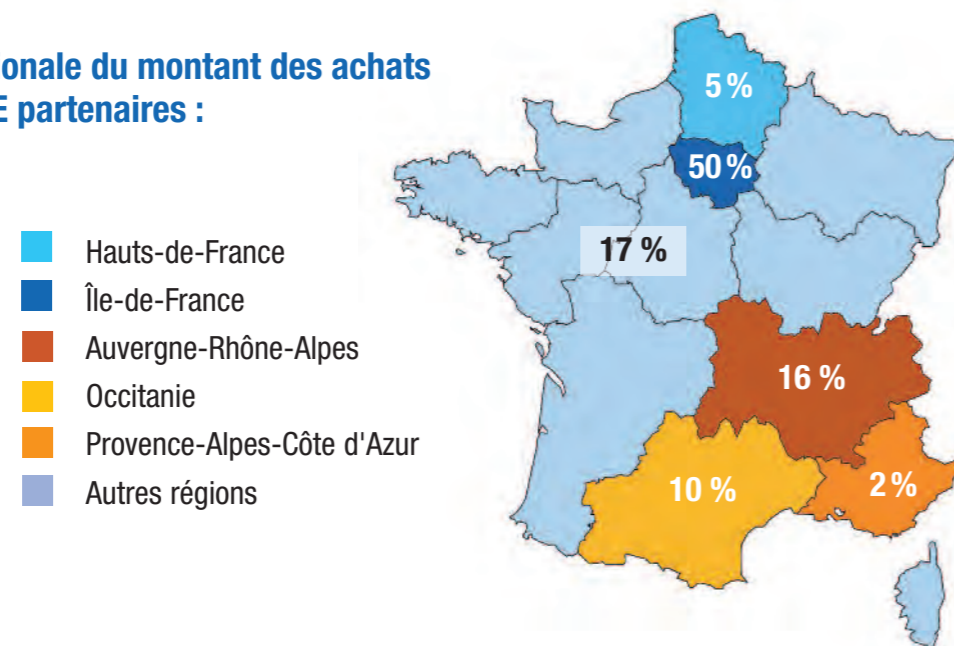
## ACHATS

L'ONERA travaille majoritairement avec des PME dans tous ses centres, toutes régions confondues.  
En 2022, l'ONERA a contractualisé avec **1 840 PME** (1 590 en 2021).

Répartition du montant des achats par type d'entreprise en 2022 :



Répartition régionale du montant des achats auprès des PME partenaires :

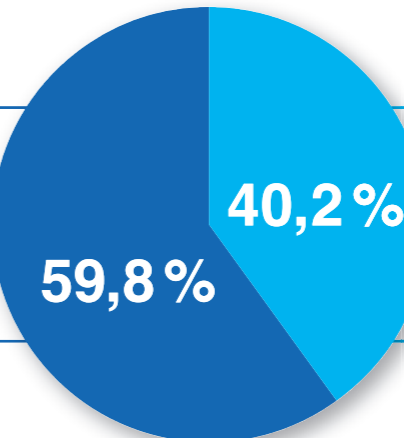


**BUDGET 2021**  
**256 M€**

**BUDGET RÉALISÉ 2022**  
**277 M€**

**BUDGET 2023**  
**289 M€**

Ressources propres :  
**165,5 M€**

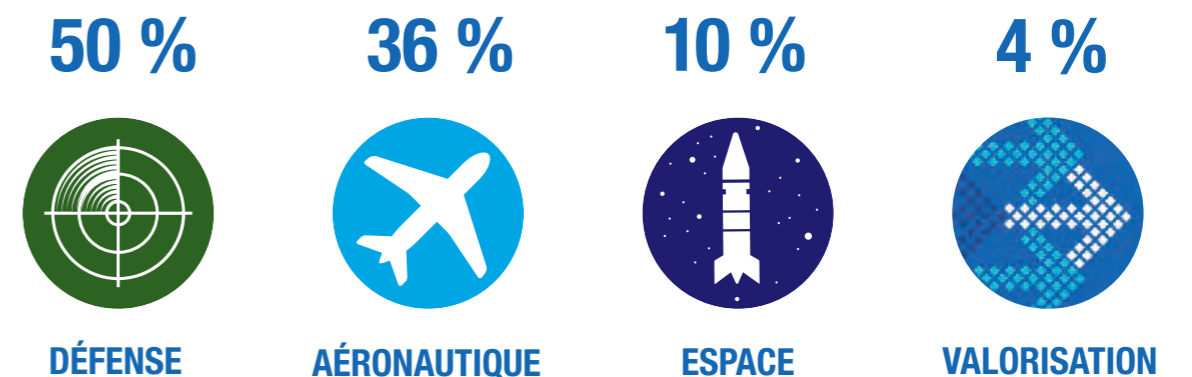


Subvention pour charge de service public :  
**111,5 M€**

Résultat net comptable :  
**14,4 M€**

Prises de commandes :  
**162,9 M€**

RÉPARTITION DES ACTIVITÉS CONTRACTUELLES PAR FINALITÉ



# Responsabilité sociétale des entreprises : l'ONERA s'engage.

**OBJECTIFS  
DE DÉVELOPPEMENT  
DURABLE**

**Club** développement durable  
des établissements publics  
et entreprises publiques

**L**es défis sociaux actuels sont nombreux : la protection, l'éthique et l'ascension sociales, la formation et l'éducation. Autant de valeurs que la direction de l'ONERA défend ardemment depuis maintenant plusieurs années. Elle est en effet convaincue que l'investissement à impact social est une opportunité de développement pour une croissance durable et rentable. C'est également une vraie occasion d'investir dans notre société et pour les générations futures.

En décembre 2022, l'ONERA a renforcé son engagement en faveur des initiatives de RSE, en adhérant au Club développement durable des établissements et entreprises publics. Ainsi, l'ONERA conjugue ses recherches pour l'aviation durable (décarbonation, réduction de la consommation d'énergie, optimisation du trafic aéroportuaire notamment) avec la prise en compte des enjeux environnementaux dans son fonctionnement courant (réduction des déplacements professionnels, de l'empreinte numérique, développement de l'achat responsable, sensibilisation du personnel, recyclage...).

## Égalité hommes/femmes

L'ONERA est partenaire de l'association Elles bougent, et à ce titre, se mobilise régulièrement pour présenter à des collégiennes et lycéennes les métiers et carrières scientifiques, et susciter leur intérêt pour l'Industrie du futur.

## Handicap

L'ONERA est très investi sur la sensibilisation de ses personnels au handicap. Plusieurs initiatives ont été consacrées au sujet en 2022 : participation active à la 26<sup>e</sup> édition de la Semaine européenne pour l'emploi des personnes handicapées (SEEPH), et informations sur la journée des sourds et des malentendants par le biais de témoignages de personnels concernés.

**Les avantages de la transition écologique sont incalculables. Cet objectif se matérialise à l'ONERA par son respect dans le cadre de travail lui-même, l'adoption des écogestes au quotidien, l'utilisation du numérique à bon escient, ainsi que l'adoption de plans de mobilité sur les centres ONERA.**

## Empreinte environnementale

Outre les rappels des bonnes pratiques sur le numérique responsable par exemple, l'ONERA va plus loin et influe directement sur le quotidien de ses salariés : en 2022, chaque collaborateur s'est vu offrir une gourde métallique logotée. Une initiative qui vise à réduire drastiquement le nombre de gobelets et de bouteilles d'eau consommés chaque année.

## Mobilité durable

Autre exemple : afin de favoriser les mobilités douces et le covoiturage pour ses salariés, l'ONERA a mis en place une grande enquête « Mobilité » en 2022. De quoi compléter les initiatives déjà mises en place les années précédentes : la sensibilisation des automobilistes et des cyclistes à un meilleur partage de la route, la mise en place d'emplacements et d'équipements dédiés aux cyclistes (abris, stations de gonflage, douches, etc.), et le remboursement d'accessoires de sécurité vélo.

## Sensibilisation à la lutte contre le réchauffement

Un webinar sur le thème « comprendre le bilan carbone de l'ONERA » a été relayé en janvier 2022.

## PRISME : projet de regroupement des sites d'île-de-France

Pour les salariés des centres d'île-de-France, le regroupement des sites de Meudon et de Châtillon sur Palaiseau implique une réduction notable des émissions de gaz à effet de serre (GES) par la réduction de la consommation des énergies et la diminution des dépenses de fonctionnement. La réduction des émissions de GES est en effet une composante à part entière de PRISME.

## Aviation durable

L'ONERA développe une approche globale pour réduire l'empreinte environnementale des futurs aéronefs, et coordonne l'ensemble des problématiques liées au système propulsif des aéronefs (principalement civils), et des impacts environnementaux générés par les avions. Les grands enjeux associés sont aujourd'hui :

- la réduction de la consommation, des émissions de CO<sub>2</sub> et de polluants (NOx, CO, particules, etc.) par l'amélioration des moteurs, l'exploration de nouvelles architectures propulsives ainsi que par l'utilisation de carburants alternatifs ;
- la réduction du bruit perçu ;
- la compréhension des impacts atmosphériques du transport aérien (qualité de l'air et impact total sur le changement climatique, notamment du fait de la génération des traînées de condensation).

# Femmes et hommes de l'ONERA



## 2 135 collaborateurs

- 1 679 ingénieurs et cadres
- 181 employés • 31 alternants
- 244 techniciens et ouvriers

26 % de femmes

Index égalité femmes-hommes : 94/100

118 scientifiques titulaires d'une habilitation à diriger des recherches (HDR) dont 5 soutenues en 2022

- 341 doctorants • 19 post-doctorants
- 242 stagiaires

419 communications dans des congrès avec actes

265 publications dans des journaux à comité de lecture

863 rapports techniques

85 thèses soutenues



# L'ONERA conforte sa marque employeur

L'ONERA affirme son identité, et défend sa culture et ses valeurs en tant qu'employeur soucieux de faire partager l'enthousiasme de ses équipes.

Proposé et conduit par la DRH, ce projet doit notamment son succès aux salariés qui se sont impliqués. Ainsi, les cinq valeurs mises en avant sont : **la passion et l'exigence, l'innovation, l'engagement, l'intégrité, et l'ambition commune.** Charlotte Haurie, DRH de l'ONERA, explique : « Pour démarquer notre capacité à attirer, retenir et engager les talents de demain, nous devons tirer parti de nos atouts uniques, en définissant une promesse employeur distinctive : vivez l'excellence de l'aérospatial et de la défense.»



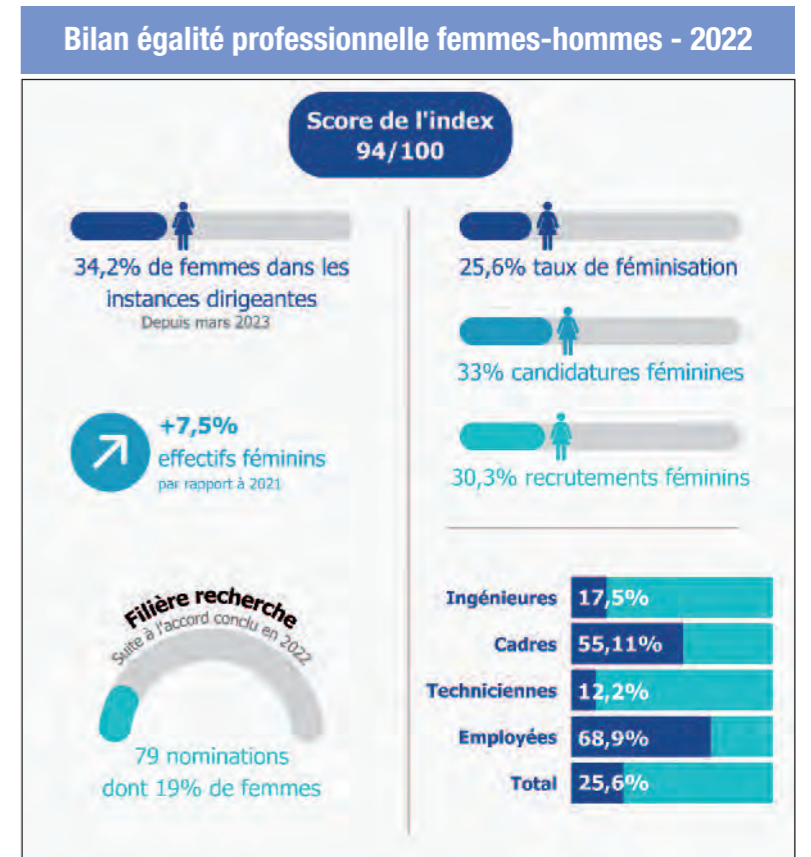
## Coup de boost pour la reconnaissance des chercheurs et des chercheuses

En 2022, l'ONERA a fait évoluer sa filière recherche pour favoriser le dynamisme en recherche. Trois grades sont institués : chargé de recherche (CR), directeur de recherche de seconde classe (DR2) et directeur de recherche de première classe (DR1). Ainsi, 74 ingénieurs ont été nommés CR, 70 DR2, 24 DR1 et 76 maîtres de recherche 1. Ils ont ainsi rejoint le tout nouveau collège des chargés et directeurs de recherche, désormais composé de 251 ingénieurs-chercheurs, ce qui représente une augmentation de près de 50 % par rapport à 2021.

Parmi les nouveautés apportées par le nouvel accord : une reconnaissance plus précoce en début de carrière, et une plus grande féminisation de la filière. Pari tenu pour cette première année ! Ce dernier point revêt une grande importance à l'ONERA dans la continuité de son engagement en faveur d'une plus grande mixité.

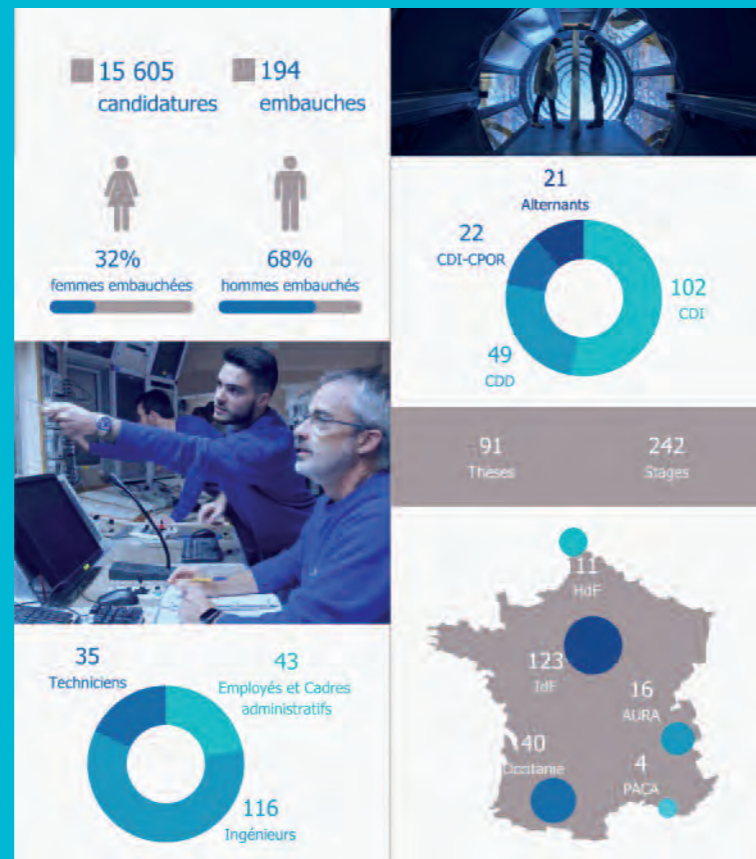
Ainsi, pour 2022, l'index égalité professionnelle de l'ONERA – 94/100 – reste stable par rapport à 2021.

S'il n'est pas constaté de différence de traitement entre les femmes et les hommes, des efforts ont été réalisés ces dernières années, dans de nombreux domaines, intégrant un spectre plus large que la seule rémunération : embauche, promotion, articulation vie professionnelle/vie personnelle. Le pourcentage de femmes à l'ONERA est de 26 % en 2022, mais il monte à 34 % au sein des instances dirigeantes de l'entreprise.



## Recrutement : 2022, nouvelle année record pour l'ONERA

Pleinement intégré à la forte croissance retrouvée des secteurs aérospatial et de défense, la dynamique d'embauche de l'ONERA est positive : 159 recrutements en 2020, 167 en 2021, et 194 en 2022. D'abord, le plan de soutien gouvernemental a placé l'aviation décarbonée en tête de liste de ses priorités, un enjeu pour lequel les compétences de l'ONERA sont et seront indispensables. Ensuite, l'ONERA affiche un carnet de commandes bien rempli, ce qui témoigne d'un haut niveau de confiance de ses clients et partenaires. Une bonne santé économique qui se traduit par des besoins nouveaux de compétence dans tous les départements scientifiques et techniques et les fonctions support de l'ONERA.



# Les prix scientifiques, désormais une tradition pour les ingénieurs-chercheurs de l'ONERA

Chaque année, les ingénieurs et les techniciens de l'ONERA sont distingués par de prestigieux prix scientifiques. Riad Haidar, directeur scientifique général depuis janvier 2022, est fier de ce constat qui ne l'étonne pas : « Le cœur de l'activité de l'ONERA est scientifique, et l'Office a toujours veillé à ce que ses personnels puissent continuer à développer les savoirs et à repousser les frontières de la connaissance par leurs travaux de recherche fondamentale. C'est ce qui rend le dialogue avec la recherche appliquée qu'ils mènent en parallèle si passionnant et si fertile. Je continuerai à favoriser cette dynamique. »



## Prix Atos – Joseph Fourier

Ce prix international, attribué par la société Atos en partenariat avec le GENCI (Grand équipement national de calcul intensif), récompense des travaux scientifiques dans le domaine du calcul avancé et de l'intelligence artificielle, avec un accent sur la décarbonation.

En 2022, le 1<sup>er</sup> prix a été attribué à une équipe du département Multi-physique pour l'énergétique – **Jean-Christophe Hoarau, Jean-Luc Estivalèzes, Luc-Henry Dorey, Davide Zuzio**. La simulation qui leur a valu ce prix serait à ce jour la représentation la plus précise de l'atomisation d'un jet liquide – 3 milliards de points, 40 millions d'heures de calcul sur 86 000 processeurs. Elle a généré 40 téraoctets de données qui pourront être exploitées par d'autres chercheurs. Ce travail s'inscrivait dans le cadre d'un projet visant à maîtriser les instabilités de combustion dans un moteur-fusée à ergols liquides.

## D'autres prix scientifiques en rapport avec l'ONERA

Le prix Nobel de physique a été attribué en 2022 à **Alain Aspect**, un familier de l'ONERA. Il a occupé diverses fonctions : président du haut conseil scientifique de l'ONERA (2004-2006) ; membre du conseil scientifique et technique de l'ONERA (1998-2002) et membre du conseil d'évaluation et d'orientation du département Mesures physiques (1999-2003). Il est aujourd'hui président du conseil scientifique du laboratoire QTech\* (laboratoire des technologies quantiques de l'ONERA).

Il a notamment encouragé le développement des recherches sur les atomes froids à l'ONERA, d'où est issu le gravimètre GIRAFE, premier capteur quantique. Le premier sous-système laser des dispositifs développés par l'ONERA dans ce cadre a notamment pu être testé en collaboration avec l'équipe d'Alain Aspect à l'Institut d'Optique Graduate School.

Le prix ONERA Sciences mécaniques pour l'aéronautique et l'aérospatial de l'Académie des sciences a été décerné en 2022 à **Mickaël Bourgoïn**, directeur de recherche CNRS au Laboratoire de physique (CNRS/ENS de Lyon).

Ce prix récompense depuis 2018 alternativement des chercheurs de la mécanique des fluides et de la mécanique du solide pour des travaux de recherche remarquables dans les domaines de l'aéronautique et de l'aérospatial. Il est intégré aux prix thématiques de la section des Sciences mécaniques et informatiques de l'Académie des sciences, dont les membres composent le jury du prix ; ce jury est souverain dans le choix du lauréat.

Mickaël Bourgoïn, chercheur en mécanique des fluides, s'intéresse au transport de champs et de particules dans les écoulements complexes, notamment turbulents.

## Prix Esprit Fondation Michelin – Académie des sciences

Ce prix récompense un ou une jeune scientifique ayant contribué par une innovation majeure au domaine des matériaux, avec une dimension mobilité durable.

Lauréate 2022 est **Sylvia Feld-Payet**, ingénieure-chercheuse dans le département Matériaux et structures de l'ONERA. Ses recherches portent sur les méthodes numériques permettant la simulation de l'endommagement et de la rupture des matériaux ainsi que la confrontation de ces simulations avec des résultats expérimentaux. Ces travaux améliorent le caractère prédictif des simulations et devraient permettre aux constructeurs de réduire la masse des pièces à tenue égale.



## Prix 3AF d'aéronautique

En 2022, deux prix de l'Association aéronautique et astronautique de France ont été décernés à des personnels ONERA.

**Laurent Cambier**, directeur scientifique du domaine simulation numérique avancée (SNA), a reçu le prix d'Aéronautique, pour la qualité de ses travaux concernant la modélisation et la simulation numérique en aérodynamique. Parmi ses contributions à l'industrie aéronautique : Canari, premier code de calcul de l'ONERA résolvant les équations de Navier-Stokes pour des écoulements compressibles turbulents, elsA (ensemble logiciel de simulation en aérodynamique) dont les domaines d'application couvrent les avions, les hélicoptères, les missiles, les lanceurs spatiaux et les turbomachines de tous types.



# 2022 Faits marquants

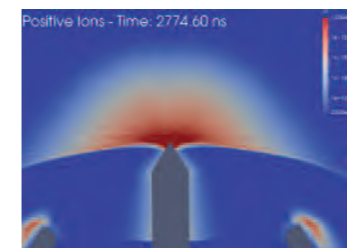


## Aérodynamique Maîtrise des interactions aérodynamiques pour l'hélicoptère du futur

Les hélicoptères combinés tels que l'Airbus Helicopters RACER ou le Sikorsky S-97, dotés de rotors additionnels et/ou d'ailes, permettent de dissocier propulsion et sustentation, combinant ainsi vitesse et confort. L'ONERA mène des études numériques et expérimentales pour comprendre les interactions aérodynamiques en jeu. Dans le cadre du projet DGAC CHARME dont le but est de les caractériser, des essais dans la soufflerie basse vitesse du centre ONERA de Lille ont permis de récolter des données sur des interactions de sillages, et notamment leur impact sur le chargement des pales et sur les performances des rotors.

Associées à cette campagne menée sur le banc spécifique INTRO (maquette de Dauphin 365N à l'échelle 1/7,7 et propulseur représentatif des dimensions de celui du prototype X3 d'Eurocopter), des simulations numériques ont été conduites avec différents niveaux de fidélité, grâce à la validation des modélisations et des pratiques calculatoires, ce qui permettra une meilleure optimisation des configurations. Les phénomènes générant du bruit sont également identifiés, ce qui permettra de mieux les maîtriser.

## Simulation d'effets plasmas Une expertise démontrée et reconnue

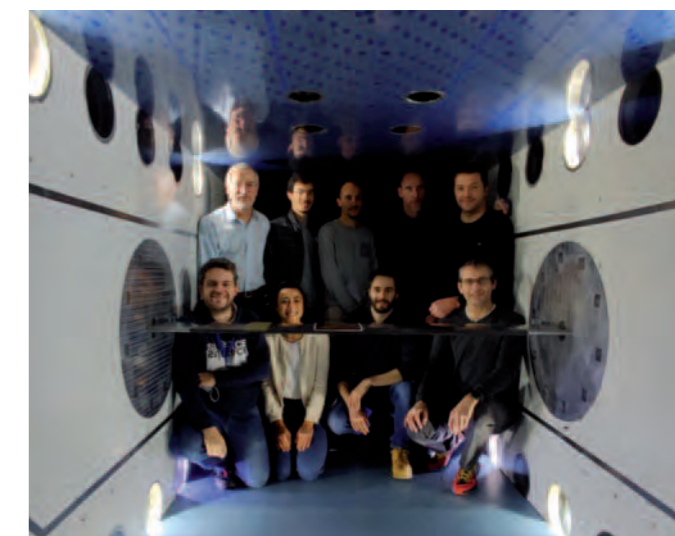


L'excellente capacité du code ONERA COPAIER (COde PlasmA Instationnaire pour l'aERodynamique) à simuler des décharges plasmas au sein d'écoulements et à comprendre les effets de la force électro-hydro-dynamique, a été démontrée dans le cadre d'une collaboration avec Airbus Central

Research and Technology sur la propulsion ionique. La simulation d'une décharge couronne sur un profil d'aile a parfaitement reproduit les effets observés en laboratoire, une avancée majeure. Des travaux réalisés dans le cadre du projet européen CTFF (*Control of the Turbulent Friction Force*). Ils ont permis d'expliquer l'inversion d'écoulement provoqué par un actionneur axisymétrique. Et une simulation d'une décharge plasma hors équilibre de type pointe dans un écoulement supersonique a, pour la première fois, démontré le couplage entre les effets de séparation de charge et l'écoulement porteur.

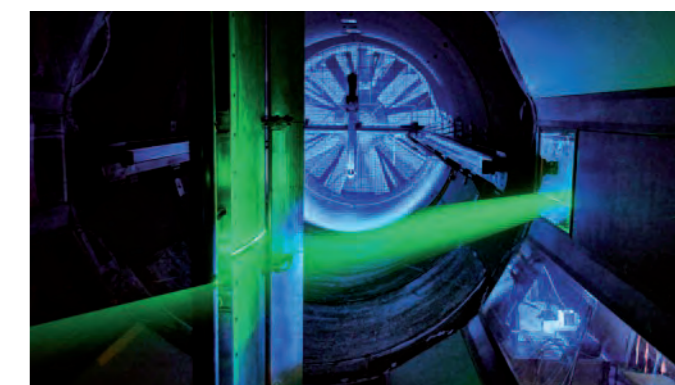
## Voilures laminaires Une base de données remarquable

Une base de données détaillée et de très grande qualité sur la physique de la transition laminaire-turbulent sur un profil transsonique a été produite expérimentalement dans la soufflerie S2MA de l'ONERA dans le cadre du projet NACOR. Pour ce projet, mené depuis 2015 au sein de la plateforme Airframe-ITD Clean Sky 2, l'ONERA assure l'animation dans le TechnoStream *Advanced laminarity*. Quatre départements scientifiques ONERA collaborent à cette campagne d'envergure, dénommée STUNTT (*Surface imperfecTion and UNsteady moTion impact on Transition onset*) et dédiée à l'investigation de plusieurs verrous scientifiques propres aux technologies de laminarité. La première partie des essais concernait l'évaluation des défauts de surface 2D sur la transition laminaire-turbulent des couches limites à haut Reynolds et en régime transsonique. La seconde partie était destinée à l'étude de l'impact du mouvement forcé du profil sur le mécanisme de transition laminaire-turbulent.



## Aérodynamique Mesures dans la soufflerie L1 d'un bec de type Krueger motorisé

Le projet européen UHURA (*Unsteady High-lift Aerodynamics – Unsteady RANS*) vise à développer et à valider les outils de calcul numérique nécessaires à la prédiction des performances des ailes équipées d'un dispositif de type Krueger. L'ONERA, partenaire important du projet, a utilisé ses moyens expérimentaux et son savoir-faire en mesure aérodynamique pour des essais sur une maquette équipée d'un bec Krueger motorisé, dans la soufflerie L1 du centre de Lille. L'objectif des essais : caractériser l'écoulement se développant à l'intrados de l'aile lors du déploiement et du repliement du dispositif, dans le but de valider les simulations numériques effectuées par l'ONERA ainsi que par d'autres partenaires. Ce système hypersustentateur est prometteur, pour assurer un maintien d'une zone d'écoulement laminaire étendue sur les ailes d'avions civils grâce à la suppression des fentes et des discontinuités dans la région du bord d'attaque, par rapport à un bec classique.

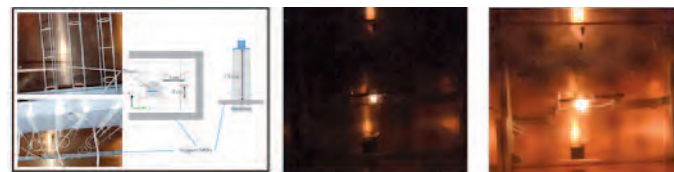


## Moteurs

### Une première mondiale : rallumage par retournement temporel micro-ondes

Le rallumage d'un foyer aéronautique aérobique est un élément clé dans la conception d'un moteur pour des raisons de sécurité et d'opérabilité. Le système actuel avec une bougie à arc présentant des inconvénients, de nouveaux concepts plus efficaces et plus durables sont étudiés.

Le laboratoire LAPLACE de l'université fédérale de Toulouse et l'ONERA proposent une solution originale par retournement temporel des micro-ondes. Il repose sur un dépôt d'énergie dans une chambre de combustion, piloté dans l'espace et le temps par la forme temporelle de l'énergie micro-onde injectée dans la chambre. La collaboration s'inscrit dans le projet JETRRIM soutenu par la fondation STAE (Sciences et technologies pour l'aéronautique et l'espace), et une thèse codirigée par les deux entités. Ces travaux ont montré, pour la première fois au niveau mondial, que les plasmas engendrés par des micro-ondes dans les gaps des anneaux résonants sont efficaces pour allumer un brouillard de kérosène. La capacité du retournement temporel à allumer sélectivement certains SRR laisse entrevoir la perspective d'un système agile de dépôt d'énergie permettant un allumage ou un contrôle de la combustion plus aisé.



## Rayonnement cosmique

### Quatrième mission sur la base Concordia, en Antarctique



Les rayons cosmiques peuvent altérer certaines informations ainsi que le fonctionnement des systèmes électroniques embarqués. L'ONERA travaille à mieux comprendre ce rayonnement afin d'anticiper ses effets sur les nouvelles technologies. Dans le cadre du projet polaire CHINSTRAP supporté par l'Institut polaire français Paul-Émile-Victor, un spectromètre neutron a été installé par l'ONERA en 2015 sur la base Concordia en Antarctique. Sa particularité : quantifier les neutrons tout en caractérisant leurs énergies. Un apport significatif en comparaison des instruments standards qui se limitent à la mesure des flux. Pour cette quatrième mission polaire de l'ONERA, outre la calibration de l'instrument, un nouveau système de contrôle et de traitement du signal a été installé. Il intègre un mode de redémarrage autonome, une configuration automatique et une transmission quotidienne des données. Ces travaux permettent désormais d'exploiter le spectromètre neutron de manière opérationnelle et d'opérer des observations à long-terme.

## Hélicoptères

### Amélioration de l'appontage sur les fréquences grâce au contrôle d'écoulement



L'appontage sur les fréquences est l'une des manœuvres les plus difficiles pour les pilotes. Les zones turbulentes dans le sillage des superstructures génèrent des perturbations sévères en direction comme en intensité au niveau du pont d'envol. Des essais ont été réalisés dans la soufflerie basse vitesse L2 de l'ONERA Lille dans le cadre d'une thèse, en collaboration avec Naval Group et le Laboratoire d'automatique, de mécanique et d'informatique industrielles et humaines (LAMIH). Objectif : identifier le comportement des écoulements sur le pont d'envol pour les différentes stratégies de contrôle d'écoulement par soufflage continu. Il s'agit d'analyser la nuisance aérodynamique à réduire. Autre élément clé à considérer : l'entrée du rotor dans la zone d'interaction avec le sillage du navire, ce qui impose de prendre en compte le rotor dans le dispositif expérimental. L'intégration de capteurs de pression en plusieurs zones de la maquette permet de valider les simulations numériques de Naval Group et d'étudier l'écoulement vu sur le pont d'envol. Les essais serviront à l'ONERA pour améliorer le simulateur d'appontage. Le couplage de ces outils (expérimental, numérique, simulateur) a pour but d'objectiver la charge de travail du pilote.

## Satellites

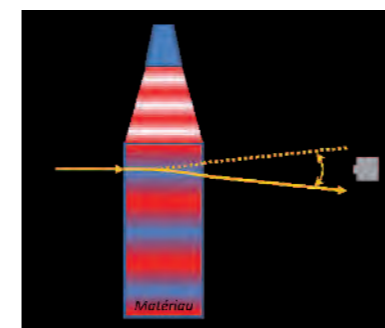
### Risque d'anomalie levé : Airbus salue l'expertise ONERA

L'environnement d'un satellite induit des différences de potentiel élevées sur différents éléments très proches, par exemple entre une cellule solaire et son verre de protection, entre l'isolant d'un câble et son âme conductrice ou entre un élément métallique de structure et une peinture isolante. Ces différences peuvent induire des décharges électrostatiques habituellement acceptées, mais pas sur la chaîne de puissance (cellules solaires, câbles, connecteurs...) : le phénomène peut la détruire et menacer la mission. Ces phénomènes sont étudiés à l'ONERA : des tests de qualification et de diminution des risques sont menés pour des agences et industriels du spatial. L'ONERA a mené, pour Airbus DS, des tests sur des éléments de cette chaîne de puissance, dans la chambre de simulation ionosphérique JONAS en générant, sur la surface des échantillons, des décharges électrostatiques représentatives des phénomènes observés en vol, et en analysant par des diagnostics électriques et optiques la formation éventuelle d'arcs électriques. Cette campagne a permis de lever un risque sur une anomalie observée au sol et d'éviter ainsi des retards sur les lancements de deux satellites de télécommunication. Airbus DS a salué l'excellente coopération avec l'ONERA, bâtie depuis plus de 30 ans.



## Matériaux transparents

### Développement d'un diffusimètre à effet mirage



Dans l'aérospatial, les hublots sont soumis à des températures élevées. La caractérisation complète est primordiale pour bien évaluer leur comportement. La conductivité thermique est un paramètre important : la méthode flash développée à l'ONERA, utilisée depuis plusieurs décennies, est fiable et robuste mais difficilement applicable à des matériaux transparents en bandes II et III de l'infrarouge. Pour ces matériaux, l'ONERA a développé un diffusimètre dans le cadre d'un programme d'études amont (PEA).

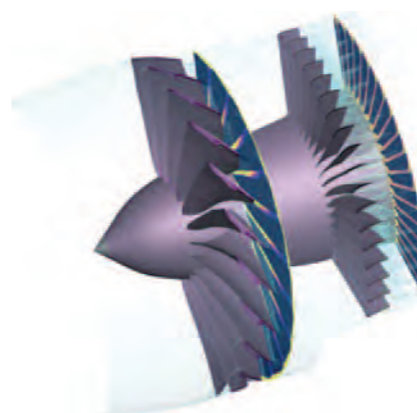
## Robotique terrestre

### Succès du premier jalon pour le projet EDA/ARTUS

L'ONERA participe au projet ARTUS (*Autonomous Rough-terrain Transport UGV Swarm*), démarré début 2021, parmi les projets sélectionnés par l'Agence européenne de défense (EDA) dans le cadre du PADR (*Preparatory Action on Defence Research* – phase préparatoire au Fonds européen de défense). L'objectif est de développer, sur deux ans, une flotte de robots terrestres autonomes permettant d'apporter un soutien logistique aux forces évoluant sur des terrains difficiles. En 2021, une première démonstration de navigation autonome mono-robot avec évitement d'obstacles a permis de valider avec succès une première version du système interfaçant le logiciel de gestion de combat développé par Diehl avec l'algorithme de navigation en flotte développé par l'ONERA, embarqué sur un robot mule de type Ziesel. En 2022, le système a permis la navigation coordonnée de trois robots terrestres en interaction avec un opérateur géolocalisé.

## Aérodynamique

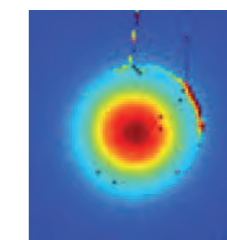
### Première : application de l'analyse par bilan d'exergie aux turbomachines



Cette méthode développée par l'ONERA a été étendue aux configurations en rotation, et appliquée pour la première fois à des écoulements complexes dans les turbomachines. C'est une méthode « champ lointain », basée sur un bilan d'exergie, quantité thermodynamique représentant le potentiel d'extraction de travail mécanique depuis le système fluide. Elle est implémentée dans le logiciel FFX (Far-Field eXergy, ONERA), qui a, jusqu'à présent, été utilisé pour les avions. La formulation du logiciel FFX a récemment été étendue aux configurations en rotation dans le cadre de la thèse d'Ilyès Berhouni (projet DGAC SUBLIME) et validée sur une configuration hélice et sur un rotor de compresseur. Dans le projet DGAC IDEFFIX mené en collaboration avec Safran Aircraft Engines et Airbus, les premières applications du bilan d'exergie ont été effectuées sur la configuration de soufflante moteur NASA SDT (calculs réalisés avec le logiciel elsA). Cela a permis de caractériser sa performance par des métriques innovantes : flux d'exergie mécanique et thermique à travers le moteur. Elle a également permis d'identifier les régions de pertes irréversibles d'exergie et de les décomposer, un élément clé pour les aviateurs et les motoristes.

## Contrôle santé

### Caractérisation de la durabilité de capteurs ultrasons

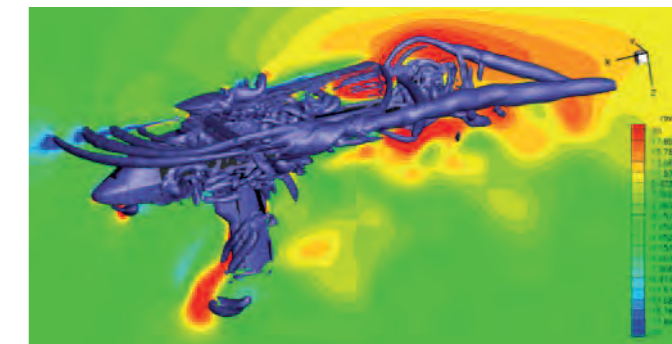


Le projet DGAC MIND (Maintenance conditionnelle INDividualisée), piloté par AIRBUS, vise à caractériser et à modéliser le vieillissement de capteurs ultrasons destinés à être embarqués sur des structures métalliques d'aéronefs civils en vue d'un suivi de leur santé structurale (SHM). Alors que des simulations avec le code CIVA (développé par le CEA) avaient révélé une perte de capacité des capteurs à détecter des fissures, l'ONERA a obtenu des résultats expérimentaux innovants identifiant l'effet du vieillissement sur l'impédance de capteurs ultrasons et sur le champ de propagation d'ondes. L'enjeu : proposer des protocoles expérimentaux et numériques pour prédire la dérive de la réponse de ces capteurs lorsqu'ils sont soumis à des cycles de température (entre -55 °C et +85 °C) pendant plusieurs milliers d'heures de vol, afin de ne pas déclencher des opérations de maintenance qui immobiliseraient inutilement les aéronefs.

## Hélicoptères

### Nouveaux outils de simulation pour accélérer la conception des hélicoptères

La clôture du projet DGAC CHARME, réalisé avec Airbus Helicopters et impliquant trois départements scientifiques de l'ONERA, a permis de valider l'amélioration des outils de simulation aérodynamique, aéromécanique, acoustique et aérothermique, particulièrement importants pour la réduction du temps et du coût de conception des hélicoptères. Les phénomènes physiques mis en jeu sur un hélicoptère sont plus complexes que sur un avion et donc, pour les outils de simulation actuels, plus difficiles à prévoir. Le projet CHARME était articulé autour de trois axes : sécurisation du design rotor, sécurisation des parties fixes sous interactions aérodynamiques, industrialisation des méthodes. Les équipes de l'ONERA et d'Airbus Helicopters ont travaillé conjointement à améliorer et à valider une large gamme d'outils de simulation allant de la basse à la haute-fidélité.

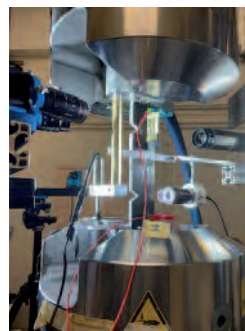


## Foudre

### Nouvelle méthode pour analyser ses effets directs sur les matériaux composites

L'ONERA améliore la compréhension de l'endommagement des panneaux composites à fibre de carbone et des rivets aéronautiques en confrontant les expérimentations avec les modèles numériques. Les travaux de la convention DGAC PHYLIGHT2 ont permis à l'ONERA d'évaluer le potentiel de l'imagerie par rayon X en contraste de phase combinée à la technique d'interférométrie à décalage multilatéral de l'ONERA, pour caractériser des plaquettes en composite foudroyées. Cela permet, en une seule image, d'être sensible à l'orientation spatiale du tissage, grâce aux images de gradient de phase, et donc de détecter les endommagements induits sur les différents plis du tissage. Cette analyse se fait en collaboration avec le CEA-List. Des radiographies en contraste d'absorption et en contraste de phase au bord d'un point d'injection de courant ont mis en évidence, pour la première fois, et dans le cadre d'une thèse commune CEA/ONERA, des endommagements de natures différentes.

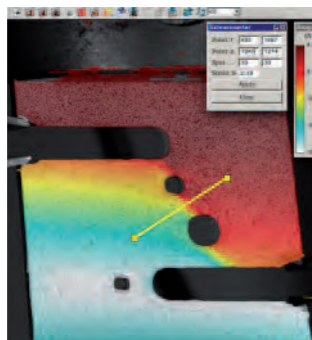
### Structures composites Nouvelles techniques d'analyse sur éprouvette technologique



Dans le cadre de l'étude « Évaluation des méthodes avancées de justification des structures composites » en partenariat avec Ariane Group, l'ONERA a mis en place une campagne d'essais afin de valider les modèles matériaux de comportement, d'endommagement et de rupture développés à l'ONERA. La définition de la structure testée sur une machine de traction reprend les singularités géométriques rencontrées dans les pièces industrielles. Au-delà de la définition de la géométrie, l'originalité de l'étude réside dans les techniques expérimentales (instrumentations et post-analyses) qui combinent le savoir-faire de l'ONERA permettant de confronter les essais aux simulations. Le suivi de l'endommagement a été assuré par deux capteurs d'émissions acoustiques et six caméras vidéo. Les mesures permettent de quantifier le comportement global du matériau testé ainsi que d'observer, à l'échelle du pli composite, l'apparition des premières fissures, et de suivre l'évolution de la fissuration, sous charge, jusqu'à rupture du spécimen.

### Mécanique du solide Escale, une plateforme logicielle ouverte, pour le dialogue essai-modèle-calcul

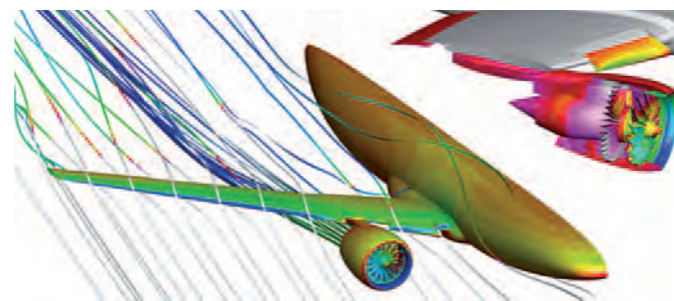
La plateforme logicielle Escale, développée à l'ONERA pour ses besoins en dialogue essai-modèle-calcul dans le domaine de la mécanique du solide, est disponible depuis février 2022. Développée pour répondre au besoin de capitalisation et de mutualisation des outils, Escale est une bibliothèque logicielle qui comprend des modules de traitement et d'analyse de données permettant la génération d'images de synthèse, la mesure de champs cinématiques, la détection de fissures, l'identification de paramètres de loi de comportement et la confrontation essais-calculs. En outre, des interfaces permettent le dialogue entre ces modules internes et des logiciels externes.



### Aérodynamique L'assimilation de données pour enrichir la métrologie des fluides

Une équipe pluridisciplinaire de l'ONERA a mis au point une méthode originale d'assimilation de données permettant la reconstruction de toutes les quantités physiques d'un champ fluide instantané, à partir d'un ensemble de mesures de vitesses ponctuelles. Cette approche, basée sur des techniques d'optimisation numérique, vise à déterminer l'accélération de l'écoulement, afin de minimiser l'écart entre le champ de vitesse mesuré et un champ de vitesse reconstruit. C'est une réelle avancée, les techniques de reconstruction existantes nécessitant plusieurs mesures de vitesses instantanées et donc du matériel plus complexe et coûteux. La performance de la méthode a été notamment démontrée sur une expérience de jet d'air cylindrique, à partir d'un champ de vecteurs vitesses éparés mesuré par *Particle Tracking Velocimetry* (suivi de particules entre deux instants). Ces travaux (article paru dans la revue *Measurement Science and Technology*) ouvrent la voie à des applications potentielles sur des écoulements plus complexes, notamment à haute vitesse, ou caractérisés à l'aide d'autres types de mesure, par exemple de pression ou de température.

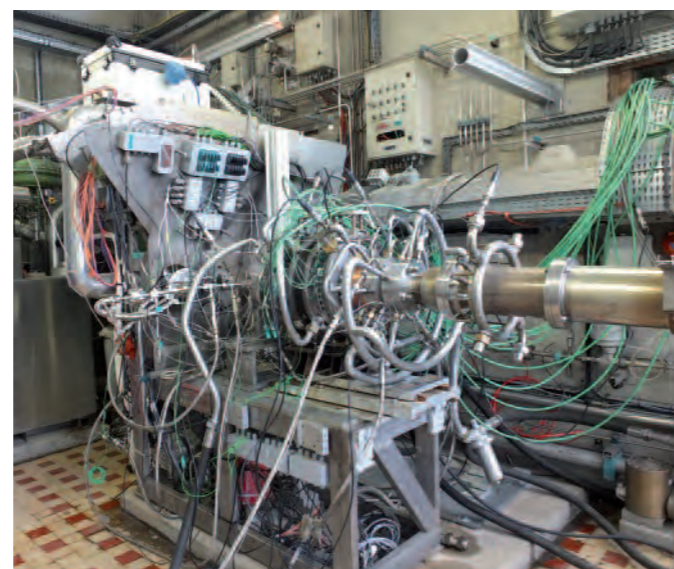
### Motorisation plus verte Calcul pionnier d'un avion complet motorisé avec fan tournant



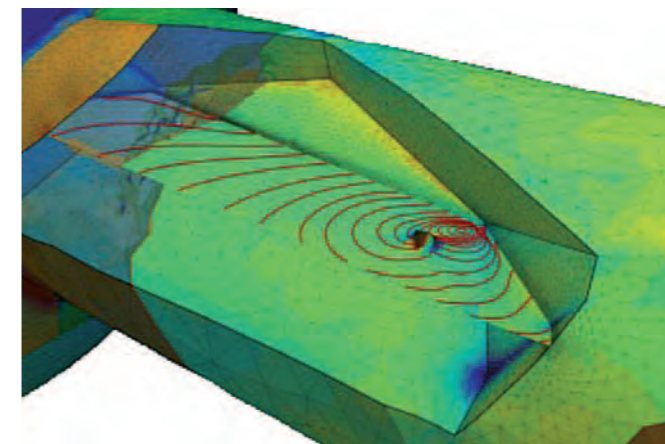
Dans le cadre du projet européen Clean Sky 2 ADEC, dans la plateforme LPA (*Large Passenger Aircraft*), des simulations numériques ont permis de reproduire l'écoulement autour d'un avion complet, en modélisant à la fois l'aérodynamique externe de la cellule et l'aérodynamique interne dans le flux secondaire du moteur. Ces calculs prennent en compte la plupart des éléments d'un avion de transport civil : la voilure, le fuselage, les becs et les volets en condition de décollage, le mât et la nacelle du moteur, ainsi que les composants à l'intérieur du flux secondaire du moteur UHBR, la *fan* tournant et les pales d'OGV (*Outlet Guide Vanes*). Ces calculs, stationnaires et instationnaires, ont pu se faire grâce aux nombreuses fonctionnalités du logiciel elsA, notamment une importante activité de maillage pour générer chaque élément. Le cas test, NOVASPIRE, est le résultat d'une collaboration entre de nombreux partenaires européens : il s'agit de la fusion entre une des configurations NOVA, le démonstrateur d'avion conçu par l'ONERA, avec le moteur ASPIRE, issu d'une collaboration précédente avec Airbus, le DLR (centre allemand pour l'aéronautique et l'astronautique) et le NLR (Pays-Bas).

### Satellites Matériaux à gradients de propriétés résistants en ambiances extrêmes

Des essais menés sur le banc de combustion MASCOTTE de l'ONERA ont permis de valider la résistance de matériaux à gradients de propriétés jusqu'à des températures de flamme de 3 200 K en présence de vapeur d'eau. Ces matériaux réfractaires, qui associent un métal structural et une céramique, sont développés et optimisés par l'ONERA dans le cadre du programme d'intérêt commun ONERA/CNES « Système Orbital-Propulsion à Monergol Vert ». Ils sont destinés à résister aux températures extrêmes des chambres de combustion des futurs propulseurs pour le repositionnement des satellites. Pour ces essais, la chambre de combustion, entièrement refroidie à l'eau, du banc MASCOTTE, a été adaptée pour installer les échantillons directement dans la flamme. Plusieurs configurations de gradients ont pu être éprouvées avec de très bons résultats.



### Matériaux et structures L'ONERA rapproche dynamique des dislocations et propagation des fissures



De nouvelles recherches, engendrées par la modélisation des phénomènes de fragilisation par l'hydrogène des prochaines générations de moteurs aéronautiques, ont fait apparaître des rapprochements entre dislocations et fissures (défauts inévitables des structures métalliques omniprésents aux basses échelles). Les analogies mises en évidence concernent l'analyse théorique de la dynamique des dislocations et la simulation 3D de la propagation de fissures par éléments finis adaptatifs. De nouveaux résultats marquants ont ainsi été publiés dans deux articles d'une revue de référence en mécanique des matériaux.

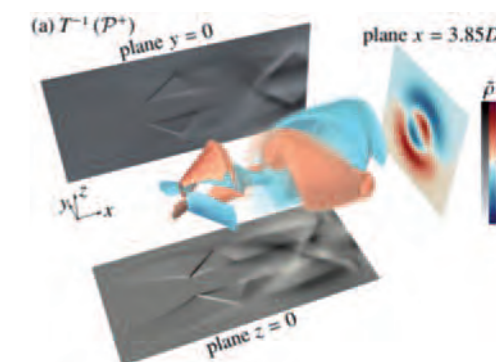
### Aéroélasticité Objectif stratosphère !



Une campagne GVT (*ground vibration testing*) exhaustive a été réalisée par l'ONERA à Meudon pour l'avion SolarStratos de la structure suisse SolarXplorers. Aux altitudes stratosphériques (visées par cet aéronef), le domaine de vol s'approche du « *coffin corner* », zone particulièrement dangereuse à la limite entre décrochage et flottement. Afin de s'assurer de l'absence d'instabilités aéroélastiques, il est indispensable de disposer au préalable du comportement dynamique structural de l'avion, le « modèle modal ». Plusieurs configurations d'essais ont été investiguées afin de fournir l'ensemble des données nécessaires aux calculs de flottement. Outre les analyses pour l'avion SolarStratos, ce GVT contribue à l'évaluation de nouveaux développements et outils méthodologiques visant à améliorer l'efficacité opérationnelle et la qualité des analyses : il a permis de se familiariser avec la géométrie d'un avion à fort allongement (envergure de 25 m) qui préfigure des programmes de recherche à venir sur de nouvelles configurations disruptives d'avions de transport.

### Jets supersoniques Trois disciplines pour dévoiler leur dynamique 3D

Les jets supersoniques sous-détendus, rencontrés dans diverses applications aéronautiques et spatiales, présentent des dynamiques instationnaires complexes. L'ONERA a mené une analyse sans équivalent donnant accès à la structure 3D du champ de masse volumique d'un tel jet. Des mesures obtenues au moyen d'une technique optique de pointe – l'interférométrie holographique – ont été ré-exploitées à l'aide d'une analyse mathématique avancée. À partir des observations instantanées de l'écoulement, il a été possible de restituer la dynamique cohérente principale du jet supersonique. Ce jet présente une instabilité hélicoïdale, dont la direction de rotation change de manière stochastique. Ces travaux résultent d'une forte collaboration entre plusieurs équipes de l'ONERA, ayant chacune apporté son expertise en turbulence, en optique et en traitement de l'image, donnant ainsi un nouvel éclairage sur les mécanismes régissant le comportement dynamique de tels jets. Ce travail fait l'objet d'une publication dans le *Journal of Fluid Mechanics*.



# Défense

Sipa Air - R. Nicolas-Nelson



**L**e 3 mars 2022, Florence Parly, ministre des Armées, et Bruno Sainjon, président-directeur général de l'ONERA, ont signé le contrat d'objectifs et de performance (COP) pour la période 2022-2026. Il structure les relations entre l'ONERA et l'État, reconnaissant son statut de partenaire clé du ministère et de l'industrie en matière de défense.

## Dissuasion

Sous l'égide de la DGA, l'ONERA est au cœur des évolutions de la composante nucléaire aéroportée, en accompagnant MBDA dans la préparation des générations successives de missiles à haute vitesse. Aujourd'hui, l'ONERA complète son accompagnement avec l'assistance à maîtrise d'ouvrage, ce qui fait de lui l'interlocuteur privilégié de la DGA sur tout le cycle de vie du programme.

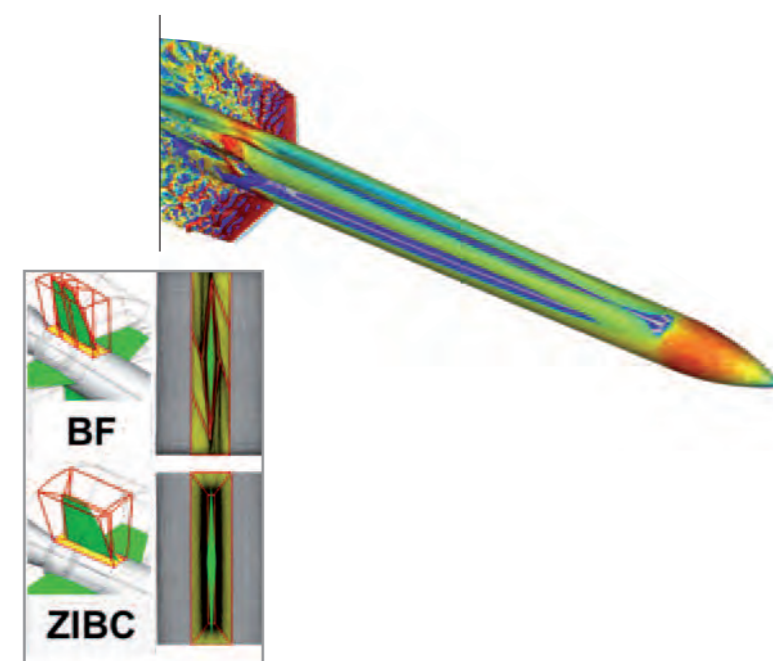
À titre d'exemple, en 2022, l'ONERA a assuré la responsabilité d'essais à feu en propulseur hybride, utilisant un nouveau moyen d'essais de propulseur en simulation d'altitude proposé par DGA Essais de missiles, dans le cadre des développements des missiles mer-sol balistiques stratégiques (MSBS). Objectif : répondre à l'ensemble des problématiques envisagées pour les éléments propulsifs des parties hautes du missile M51. La simulation d'altitude est réalisée grâce à un concept de veine ouverte, permettant une augmentation des capacités d'essais, et une simplification significative de l'architecture et du fonctionnement.

Cette architecture n'ayant jamais été testée en France, la DGA a décidé de financer la conception d'une maquette, afin de consolider son principe de fonctionnement, ce qui a conduit l'ONERA à réaliser des essais à feu en propulseur hybride en 2021 et en propulseur solide en 2022.

La prévision fine des performances aérodynamiques sur des géométries complexes représente un enjeu majeur dans ce domaine. L'ONERA a réalisé de réelles performances en termes de simulation numérique. À son actif : une simulation aérodynamique instationnaire d'un missile générique en vent de travers, au moyen d'une stratégie de simulation numérique avancée, la ZIBC (*Zonal Immersed Boundary Conditions*), qui allie rapidité et précision des résultats. Cette méthodologie *made in ONERA* permet de réduire significativement le temps de préparation des simulations sur des géométries réalistes, mais complexifie fortement le calcul. Un verrou technique levé par l'ONERA, grâce au développement d'un algorithme spécifique.



DGA Essais en vol





## Le SCAF : système de combat aérien du futur

Projet ambitieux, le SCAF constitue un défi dans de nombreux domaines, dans lesquels l'ONERA apporte ses compétences : propulsion, capteurs, guerre électronique, systèmes de systèmes ou encore « cloud de combat ». L'ONERA est à la fois expert étatique et sous-traitant de Dassault Aviation.

Dès 2021, les bases ont été posées avec la signature de la convention de partenariat ONERA-DGA, dans laquelle figure un accord spécifique sur le SCAF.

L'ONERA a travaillé pour Dassault Aviation sur les entrées d'air, car en régime supersonique, un décollement peut apparaître en aval des chocs. Pour améliorer à la fois leur rendement et leur marge au pompage, l'ONERA a exploré les bénéfices possibles apportés par une technologie basée sur des parois poreuses. En outre, Dassault Aviation a soutenu le développement et la validation de la technique de modélisation de turbulence ZDES (*Zonal Detached Eddy Simulation*) pour les prises d'air.

Début 2022, les premiers essais du SCAF ont été menés dans

les veines transsonique et supersonique de la soufflerie S2MA de Modane. La qualité des mesures, notamment à haute incidence, fait partie des qualités reconnues des souffleries de l'ONERA.

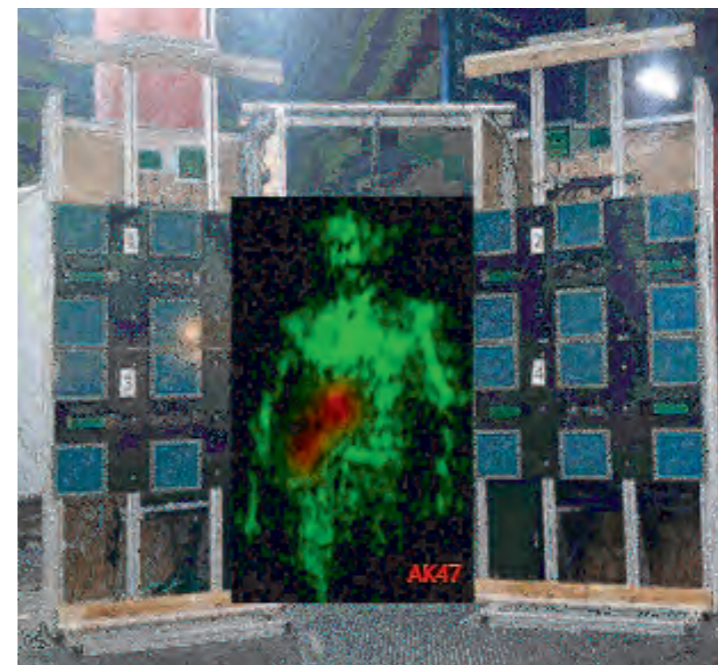
En parallèle, le projet de recherche amont, SUPERMAN, mené par l'ONERA sur fonds propres, a pour but d'étendre ses connaissances sur la manœuvrabilité des futurs concepts d'avion de combat. Une forme générique, qui pourrait être représentative du *New generation fighter (NGF)*, a été définie. Elle permet 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, la soufflerie basse vitesse de Lille est idéale, car elle fournit les informations nécessaires en imposant à la maquette des oscillations grâce à un dispositif dédié : le montage PQR (P : taux de roulis, Q : taux de tangage et R : taux de lacet), qui permet d'imposer des mouvements de rotation à la maquette dans plusieurs directions.



Par ailleurs, dans le cadre du projet ADAMANT (accélération du développement d'alliages et de systèmes multicouches pour application à de nouvelles turbines), soutenu par Safran et l'Agence de l'innovation de défense (AID), l'ONERA a testé avec succès une méthode basée sur l'intelligence artificielle, fournissant des prédictions de propriétés à chaud des matériaux, à partir de données partagées avec Safran, en vue de concevoir de nouveaux alliages. Des techniques récentes de *machine learning* ont ainsi été utilisées pour la conception des superalliages base nickel monocristallins destinés aux turbines haute pression des futures motorisations.

Enfin, dans le cadre du projet BECAR-Occitanie (bancs d'essais pour la combustion dans les futurs foyers aéronautiques en Occitanie), financé par la DGAC, le Feder (Fonds européen de développement régional) et la Région Occitanie, l'ONERA opère une mise à niveau de ses bancs de combustion (pression, températures, et débit), pour atteindre les performances nécessaires à la préparation de la motorisation du futur (projets civils comme militaires). Par exemple, BECAR s'attache à doter l'ONERA d'un nouveau banc d'essai en altitude, HARP (rallumage en altitude).

## Sécurité : le radar imageur MIC détecte avec succès les explosifs et armes à feu dans la foule



Une démonstration technologique de détection d'explosifs et d'armes à feu en temps réel et dans un flux continu de personnes a été menée par l'ONERA et ses partenaires, fin mai 2022, en Italie, dans le cadre du programme OTAN-SPS DEXTER (*Detection of Explosives and firearms to counter TERRORISM*). Cette démonstration, durant laquelle journalistes, experts techniques et cobayes ont testé à l'aveugle le système dans le métro romain, est venue clore avec succès une campagne d'essais d'un mois. Avec un taux de succès de 95 %, le démonstrateur radar MIC (*Microwave Imaging Curtain*) du système DEXTER a montré des performances uniques.

L'OTAN et le SGDSN (Secrétariat général de la défense et de la sécurité nationale) ont chargé l'ONERA de piloter, depuis 2018, un consortium constitué d'universités ukrainiennes et sud-coréennes, en partenariat avec les chercheurs allemands du Fraunhofer-FHR, pour mettre en œuvre et tester un démonstrateur radar de détection d'armes à feu cachées sous les vêtements de piétons.

## Robotique défense : l'ONERA démontre la valeur de ses algorithmes



Le *Battle Lab Terre*, soutenu par l'AID et le ministère des Armées, a organisé, en mai 2022, le challenge CoHoMa (coopération homme-machine), concours destiné à alimenter la réflexion sur les nouvelles capacités de combat en s'appuyant sur des systèmes automatisés, terrestres et aériens.

L'ONERA était chargé de la partie robots terrestres et coordination (en collaboration avec l'ENAC et l'ISAE-SUPAERO). Il a pu ainsi mettre à l'épreuve son savoir-faire en matière de contrôle et commande pour la robotique autonome, et a été honoré par les organisateurs avec deux prix : « expérimentation » et « contrôle commande ». Les chercheurs en robotique de l'ONERA sont à l'origine d'innovations remarquées au nombre desquelles : les architectures logicielles pour l'autonomie décisionnelle (mono et multi-robots) ; la navigation référencée vision (mono et multi-robots) ; le télé-pilotage et la télé-opération des engins (terrestres et aériens) à autonomie ajustable.



# Aéronautique

## Décarbonation : l'ONERA sur tous les fronts

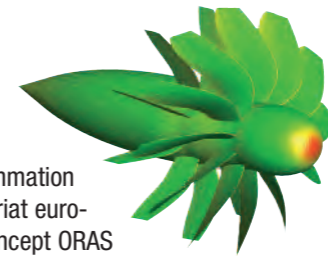
Les objectifs européens et internationaux de neutralité climatique de l'aviation commerciale à l'horizon 2050 sont au cœur de la stratégie de l'ONERA, qui s'investit fortement au côté des industriels sur les technologies de rupture dans les programmes nationaux et européens, et travaille activement à l'adaptation du socle de connaissances et des outils nécessaires à leur maturation pour la nouvelle génération d'aéronef. Les projets du plan de relance aéronautique de 2020 nourrissent la même ambition.

Ces objectifs environnementaux sont ceux visés par l'axe n° 2 de la feuille de route de l'ONERA.

### MOTORISATION DES AÉRONEFS

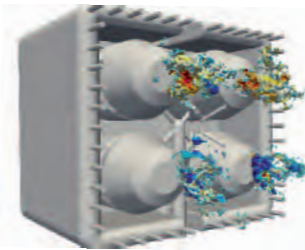
#### Sobriété énergétique

L'augmentation du taux de dilution accessible grâce à l'*open rotor* (USF) permet d'augmenter l'efficacité propulsive des moteurs, donc de réduire la consommation de carburant. Dans le cadre du partenariat européen Clean Sky 2, l'ONERA étudie le concept ORAS (*Open Rotor and Stator*), précurseur de l'USF.



#### Réduction des émissions de CO<sub>2</sub>

Avec l'*open-rotor*, l'hydrogène constitue la deuxième rupture technologique qui pourrait voir le jour, à la condition de revoir la conception de la chambre de combustion et de l'injection. Grâce au plan de relance gouvernemental, l'ONERA adapte, avec le projet BECAR, ses moyens d'essais en combustion. En 2022, l'installation de bancs de diagnostics optiques avancés a permis d'améliorer les techniques de mesure et d'étendre leurs capacités vers les pressions et températures élevées.



L'ONERA a en particulier réalisé avec succès, en 2022, les essais d'un injecteur low NOx de sa conception dans le cadre du projet DGAC HYPERION.

#### Hydrogène : compétences multiples pour une question transverse

En plus des travaux menés sur les configurations d'aéronefs les plus à même d'utiliser une propulsion par hydrogène, deux axes de recherche mobilisent nos équipes : la combustion et les interactions hydrogène-matériaux.

Sur le volet combustion, en plus des points évoqués ci-contre, l'ONERA développe des méthodologies et des outils de conception d'injecteurs, dans la convention DGAC PHYDROGÈNE notifiée fin 2022 (en collaboration avec le CERFACS pour les approches numériques).

Sur le volet matériaux, des travaux sur l'impact de l'hydrogène débiteront en 2023 pour étudier la fragilisation des alliages en ambiance hydrogène et l'oxydation des matériaux constitutifs des aubes de turbine en sortie de chambre de combustion. L'ONERA est par ailleurs partenaire du projet DGAC STOHC en apportant son expertise sur la conception de réservoirs de stockage cryogénique basé sur des matériaux composites. Les projets HYDEA et CONCERTO de Clean Aviation permettront en outre d'aborder la problématique de la maîtrise des risques liés au feu.

Enfin, le projet Cirrus H2, piloté par l'ONERA et conduit avec Airbus, Safran, Dassault Aviation et l'IPSL, étudie l'impact de l'utilisation de l'hydrogène comme combustible dans les turboréacteurs sur la formation et les propriétés initiales des traînées de condensation.

#### Carburants de synthèse durables (CSD)

Les CSD (ou SAF : *sustainable aviation fuels*) constituent un pilier incontournable de la décarbonation. Leur caractère purement paraffinique est étudié dans le projet DGAC VOLCAN avec Airbus, Safran et Dassault Aviation. L'ONERA conduit par ailleurs des évaluations sur leur impact sur la formation de traînées de condensation et sur les systèmes de carburant.

#### Matériaux pour la propulsion

Soutenue par l'Agence de l'innovation de défense (AID) et Safran, la chaire ADAMANT étudie les nouveaux superalliages base nickel, pour les programmes de moteurs futurs. Par ailleurs, la problématique des couplages entre diffusion, oxydation et mécanique dans les alliages de titane fait l'objet de la convention DGAC PHYDOM, qui étudie les températures d'utilisation plus basses.

Enfin, le projet DGAC ATLAAS, piloté par Safran, porte sur les techniques de dimensionnement des grandes structures aéronautiques, en particulier sur les corrélations calcul-essais à l'aide d'instrumentations avancées.



## CELLULE AVION INTÉGRATION MOTRICE

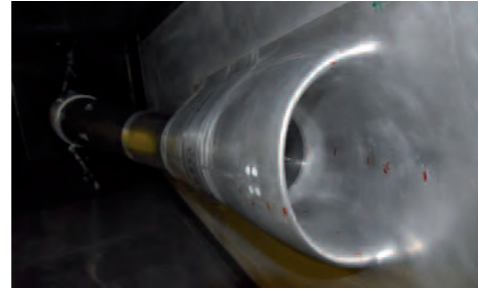
### Améliorer l'efficacité aérodynamique : ailes de grand allongement

L'ONERA travaille sur l'optimisation aérodynamique et sur les performances globales d'un avion avec des ailes à fort allongement, en s'appuyant sur sa capacité à simuler numériquement grâce à la performance de ses codes de calcul. L'ONERA explore en particulier la question de l'aéroélasticité et du contrôle des charges (développement de lois de contrôle).

Concernant les voilures à hauban, l'ONERA explore le concept au niveau de l'avion complet (processus de dimensionnement multidisciplinaire) afin d'en identifier les bénéfices. La voilure haubanée avec un allongement de 19 a été définie comme référence. La conception de forme aérodynamique détaillée se base en partie sur un processus d'optimisation.

### Vers des intégrations motrices plus performantes

Sur la question de l'ingestion de la couche limite, dans le cadre de la convention DGAC SUBLIME, l'ONERA a notamment mené des essais en soufflerie pour analyser l'impact de motorisations plus enterrées sur le moteur : essais de distorsion amont dans l'entrée d'air, de caractérisation de la marge au pompage et de l'aéroélasticité du fan.



## IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET CLIMATIQUE

L'ONERA œuvre à une meilleure compréhension des impacts atmosphériques et climatiques de l'aviation. L'enjeu : mieux appréhender les effets non CO<sub>2</sub> (NOx et traînées de condensation) et la perturbation radiative induite par les traînées de condensation et les cirrus générés. L'objectif est de réduire les incertitudes relatives à l'impact de l'aviation sur le réchauffement climatique.

Les recherches sont en premier lieu conduites dans le cadre de la convention Climaviation (2021-2026), avec l'Institut Pierre-Simon-Laplace et avec le soutien de la DGAC.

Des recherches sont également conduites dans le projet OCTAVIE (Région Occitanie) sur l'estimation de l'impact climatique d'une trajectoire tenant compte des effets non CO<sub>2</sub> et sur le développement d'algorithmes d'optimisation de trajectoires.

Afin de mieux caractériser les propriétés radiatives des traînées, l'ONERA étudie par exemple le développement d'un micro-lidar embarqué.

Dans le domaine de la réduction des émissions polluantes en environnement aéroportuaire, l'ONERA a poursuivi le développement des codes de simulations pour caractériser la dispersion des polluants sur un aéroport avec une haute résolution spatiotemporelle et contribue ainsi à la caractérisation des émissions des moteurs. L'ONERA est notamment partenaire du projet européen AVIATOR.



### L'ONERA, un acteur de référence pour la DGAC

Une quinzaine de conventions ont été notifiées à l'ONERA par la DGAC pour développer la connaissance sur les multiples phénomènes physiques qui opèrent dans l'aéronautique. Sécurité environnement, nouvelles mobilités, autant de thèmes complexes que l'ONERA peut creuser grâce à sa multidisciplinarité et à l'antériorité de ses travaux. Grâce au soutien de la DGAC, l'ONERA prépare le ciel de demain.

PHYDOM : étude des couplages entre diffusion, oxydation, et mécanique dans les alliages de titane

SUBLIME : étude de l'ingestion de la couche limite sur des avions de transport civils

PHYDIAS 2 : étude sur la maîtrise des risques liés aux drones

PHYDEFECT : étude de l'acceptabilité de défauts dans la fabrication de pièces composites

GIS 2 : étude de l'impact des drones sur les personnes

GVT NEXT : méthodologies avancées pour la réalisation d'essais de vibration-sol (GVT)

PHYCIEL : étude des contraintes d'intégration électrique

PHYDROGÈNE : étude de la compréhension du mécanisme de combustion pour les motorisations hydrogène

PHYLOG 2 : étude de la certificabilité des architectures logiciel-matériel

PHYSAFE 2 : étude du crash et de la survivabilité des structures aéronautiques

PHYLIGHT 2 : étude des risques liés au foudroiement des aéronefs

CLIMAVIATION : étude des impacts climatiques des émissions autres que le CO<sub>2</sub>

BECAR : nouvelles techniques de mesure pour les études en combustion

PHYFIRE 2 : études sur le risque lié au feu



## D'AUTRES EXEMPLES DE TRAVAUX ONERA POUR RENDRE L'AVIATION... PLUS « VERTE »

### Environnement aéroportuaire : des campagnes de mesures pour mieux comprendre les émissions

Sur un A340 de la compagnie Iberia équipé de moteurs Rolls-Royce, l'ONERA et ses partenaires ont réussi à détailler de manière très précise la nature des émissions suivant le type de carburant, et à identifier l'influence des conditions atmosphériques sur l'évolution du panache et l'impact sur la qualité de l'air en zone aéroportuaire. L'ONERA développe son expertise depuis plusieurs années : instrumentation, modélisation et caractérisation des émissions suivant le type de carburant, le régime de la combustion, ainsi que les facteurs externes. Les campagnes ont été menées dans le cadre du projet européen AVIATOR dirigé par l'INTA – Instituto nacional de técnica aeroespacial –, agence spatiale et aéronautique espagnole.

### Un allumage par laser au meilleur niveau mondial

Pour développer de nouveaux concepts plus efficaces et plus durables, l'ONERA travaille sur un système d'allumage laser, testé avec succès. Il permet de recréer des conditions d'altitude représentatives du rallumage d'un foyer aéronautique aérobie. L'allumeur laser a atteint un TRL de 5, ce qui en fait une référence au niveau mondial.

Ces travaux sont menés dans le cadre d'une collaboration entre le LOMA (Laboratoire ondes et matière d'Aquitaine), l'ONERA et la société Fibercryst (financements DGA).

## ... PLUS SÉCURISÉE

### Sécuriser l'intégration des drones dans le trafic aérien

Une démonstration de déconfliction de trajectoires de drones en situation d'urgence a été réalisée avec succès en juillet 2022. Il s'agit d'une des démonstrations finales du projet EU-SESAR TINDAIR, qui vise à démontrer la déconfliction tactique entre drones, eVTOLs et aéronefs habités dans un espace aérien contrôlé en environnement urbain.

Pour un scénario de détection de futur conflit et d'atterrissage d'urgence autonome, l'ONERA a fait un travail d'intégration du système USSP à bord, et a développé un planificateur qui re-planifie, en permanence pendant la mission, des chemins de secours.

### Commandes de vol : des mini-manches à retour haptique pour améliorer la sécurité

Cette technologie améliore la conscience de la situation, la coordination de l'équipage et réduit la charge de travail des pilotes, comme l'a démontré le projet EFAICTS mené sur le banc de simulation PycsHel de l'ONERA en 2022. Ce projet européen Clean Sky 2 porté par l'ONERA, piloté par Safran E&D, et la DGA-EV (essais en vol) en sous-traitance, avait pour objectif d'améliorer les interactions pilote/copilote et entre l'équipage et les systèmes de bord. Un simulateur de recherche de voilures tournantes en configuration bi-pilote intégrant désormais un grand nombre de systèmes et de fonctionnalités sur les commandes de vol a vu le jour.

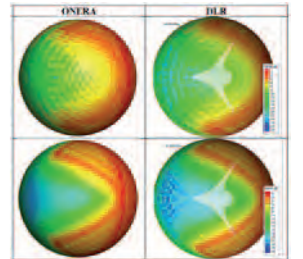
### Hélicoptères : comprendre les mécanismes de fissuration dans les boîtes de transmission

Des essais sous chargement multiaxial ont permis de développer des modèles plus précis des phénomènes de fissuration des boîtes de transmission. Ces boîtes sont soumises à des sollicitations mécaniques extrêmes : leur dimensionnement et la prévision de leur durée de vie sont essentiels pour la sécurité de fonctionnement de l'appareil, ces pièces étant des éléments critiques dans la transmission de puissance. Avec Airbus Helicopters, l'ONERA cherche à mieux comprendre la fissuration dans les engrenages satellites. Les travaux réalisés dans le cadre d'une thèse CIFRE (Conventions industrielles de formation par la recherche) ont permis de comprendre et de modéliser ces phénomènes.

## ... MOINS BRUYANTE

### Réduction du bruit de 13 dBA pour un avion long-courrier de type aile volante

L'ONERA et le DLR ont démontré l'efficacité de technologies innovantes de réduction du bruit basées sur les méta-matériaux et les profils hypersustentés, installées sur des configurations d'avion de type aile volante. Dans le cadre du projet européen H2020 ARTEM (*Aircraft noise Reduction Technologies and related Environmental iM*), l'ONERA a réalisé une évaluation de l'empreinte acoustique au sol d'un concept BWB long-courrier, au décollage et à l'atterrissage, grâce à son code CARMEN (codes acoustiques par rayons pour la modélisation et l'estimation de nuisances).



### Constitution d'une base de référence acoustique VTOL (Vertical Take-off and Landing)

Le bruit est un enjeu majeur du déploiement des taxis volants. L'ONERA a participé à une campagne de mesure acoustique du VoloCity VC 2X en mars 2022.

Objectif : mesurer le bruit et enregistrer les signaux acoustiques dans les différentes phases de vol. Ces mesures, associées à celles effectuées par les autres partenaires du projet (DGAC, RATP, BruitParif), permettent de disposer d'une base partagée de référence. Elle sera exploitée par l'ONERA pour améliorer les outils de prévision de bruit et réaliser des premiers tests perceptifs afin d'identifier des critères d'acceptabilité.



# ESPACE

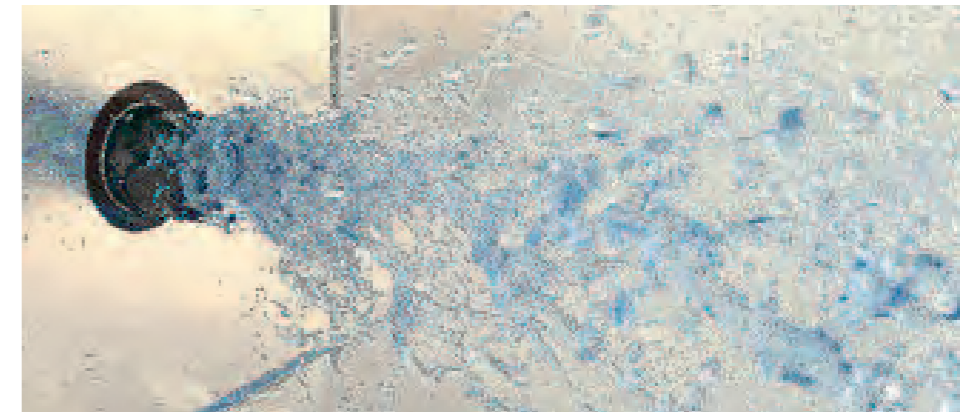


**E**n 2022, la place de l'ONERA dans l'écosystème spatial s'est étoffée : succès dans les appels à projets nationaux et européens, contrats avec les grands industriels et les *start-up* du *New Space*, poursuite de la collaboration avec le CNES, etc. L'ONERA est un acteur majeur de cet écosystème grâce à la palette variée de ses compétences, qui lui permet de tenir un rôle central dans les groupements d'influence comme le COSPACE, comité de concertation entre l'État et l'industrie dans le domaine spatial, au niveau national, ou dans la préparation des futurs programmes de travail européens du domaine spatial.

## ACCÈS À L'ESPACE

### Propulsion des lanceurs spatiaux

Dans le cadre du second volet du programme d'intérêt commun (PIC) ONERA-CNES C3PO (Combustion Cryotechnique CH<sub>4</sub> plus Oxygène), signé avec le CNES en 2022, sur la modélisation de la combustion du couple oxygène-méthane du futur moteur Prometheus de l'ESA (Agence spatiale européenne), l'ONERA a réalisé un calcul inédit : une simulation d'une précision inégalée de l'atomisation d'un jet liquide. Elle illustre tout son travail sur la maîtrise des instabilités de combustion dans un moteur-fusée à ergols liquides. Ce calcul a été récompensé par la première place du Prix Atos – Joseph Fourier (voir pages Prix).



### Systèmes

Dans le cadre du projet Themis Initial Phase, l'ONERA a piloté la définition et la validation d'un système SHM (*Structural Health Monitoring*), dédié au suivi de l'état de santé d'un réservoir. L'ONERA a notamment travaillé sur l'implantation de capteurs sur l'étage du lanceur, en prévision des essais qui se dérouleront en Suède (validation technologique en ambiance cryogénique).

### Lanceurs réutilisables

En partenariat avec le CNES, dans le cadre du programme d'intérêt commun (PIC) RLV (*Reusable Launch Vehicles*) et d'une thèse associée, l'ONERA développe des approches expérimentales et numériques visant à dimensionner et à qualifier un système de capteurs SHM permettant d'assurer le suivi de l'état de santé structural des lanceurs, et de valider leur réutilisation. L'un des enjeux majeurs consiste à modéliser la durabilité de ces capteurs, en conditions représentatives des environnements lanceurs. Ces activités se poursuivent dans le projet Horizon Europe SALTO démarré fin 2022.

Pour le projet Horizon Europe ENLIGHTEN, lancé fin 2022 et piloté par ArianeGroup, l'ONERA met à profit ses compétences en intelligence artificielle pour concevoir une solution de surveillance santé pour les systèmes électriques du moteur Prometheus des lanceurs réutilisables de nouvelle génération. L'ONERA utilisera notamment ses nouveaux algorithmes pour faire du diagnostic sur les composants électriques. Embarqués, ils permettront de détecter plus facilement les défaillances et faciliteront la prise de décision dans les phases opérationnelles, ce qui améliorera sécurité et fiabilité des systèmes.

## ACCÉLÉROMÉTRIE ULTRA-SENSIBLE : L'ONERA PARTENAIRE DES MISSIONS SPATIALES

### Précision record pour les résultats finaux de la mission Microscope

La mission confirme le principe d'équivalence (PE) avec une précision inégalée de  $10^{-15}$  et démontre que les corps tombent dans le vide avec la même accélération, indépendamment de leur composition ou de leur masse. En 2017 déjà, les premiers résultats du satellite Microscope du CNES, équipé des accéléromètres ONERA, ont permis d'améliorer la précision du test du PE à un niveau qui l'avait placé en référence mondiale. Depuis, 15 fois plus de mesures ont été accumulées jusqu'à la désorbitation du satellite, puis analysées : l'équipe scientifique a repoussé encore les limites du test, en faisant 10 fois mieux qu'en 2017. En comparant les accélérations de chute libre de deux corps de compositions différentes, elles démontrent que leur écart relatif est inférieur à quelques  $10^{-15}$ .



En 2022, Manuel Rodrigues, après le succès total de la mission Microscope, dont il était chef de projet ONERA, a été élu *chairman* du comité « physique fondamentale dans l'espace » au *Committee on Space Research (COSPAR)*, pour une durée de quatre ans.

### Les accéléromètres de l'ONERA pour des missions internationales

L'expertise en accélérométrie ultra-sensible de l'ONERA est telle qu'elle place l'Office comme référent pour plusieurs autres missions internationales : la mission NGGM (*Next Generation Gravity Mission*) de l'ESA, la mission MCM (*Mass Change Mission*) de la NASA, et une potentielle future mission de navigation ultra-précise.

## LIAISONS SOL-SATELLITE : L'ONERA À LA POINTE DE LA RECHERCHE AU NIVEAU INTERNATIONAL

### Communication radar

En 2022, l'ONERA a réalisé une première mondiale : la caractérisation du canal de propagation, simultanément en bandes Ku, Ka et Q. Cette expérimentation a été réalisée dans le cadre du PIC ONERA-CNES PERF (propagation électromagnétique radio-fréquence).



### Communication optique

Dès 2019, avec le projet FEDELIO (*Optical feeder-link for next generation telecommunication satellites*), mené pour l'ESA, l'ONERA a démontré l'apport de l'optique adaptative avec la pré-compensation des effets de la turbulence atmosphérique. En 2022, pour le projet européen VERTIGO, un nouveau record de transmission de données par une liaison laser sol-sol à très haut débit à travers l'atmosphère a été atteint : 1 Téraoctet/s sur une seule longueur d'onde, et une distance de 53 km et 2° d'élévation.

L'ONERA s'est d'ailleurs doté de moyens de pointe : il a développé le démonstrateur FEELINGS (*FEEDER LINKS Ground Station*) dans le cadre de son programme d'investissement, pour établir des liens bidirectionnels sol-satellites géostationnaires dits « liens *GEO feeder* ». Il vise à développer et à valider de nouveaux concepts scientifiques pour une performance accrue de ces liens, afin de développer des stations industrielles qui composeront les futurs réseaux optiques sol-espace. L'objectif : réaliser un lien *GEO feeder* avec un satellite géostationnaire avant fin 2023 et tester un lien descendant avec un satellite LEO en 2024.



## New Space

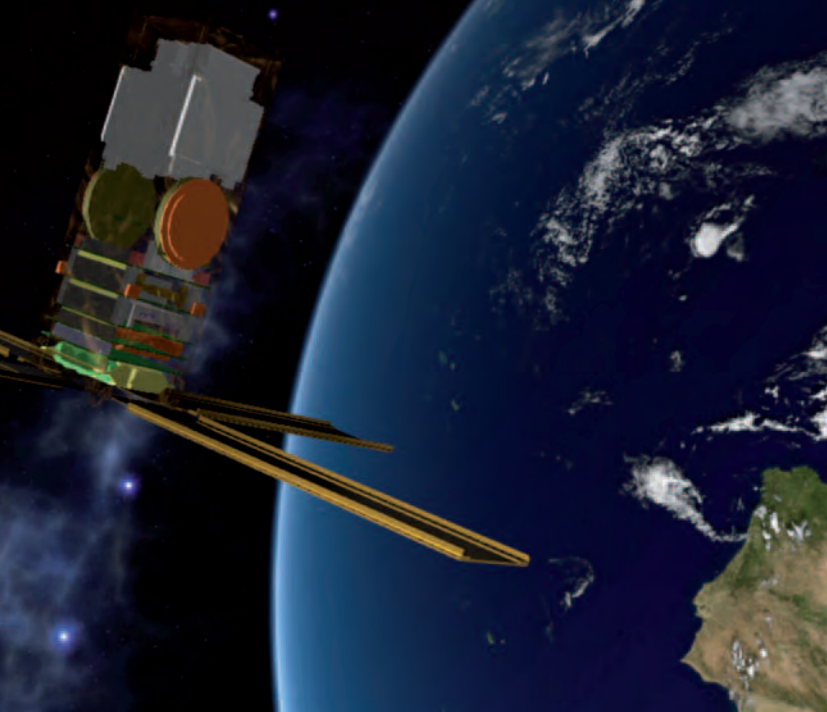
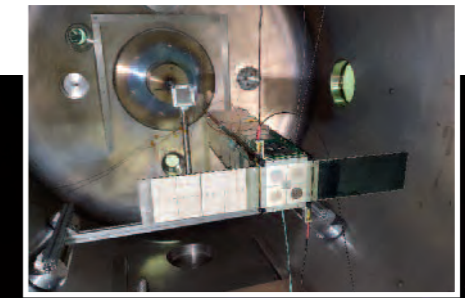
Les nanosatellites sont au cœur de l'approche *New Space*, et facilitent l'accès à la réalisation d'expériences scientifiques dans l'espace. La multidisciplinarité de l'ONERA est un atout majeur.

CU-IONO, la première charge utile *New Space* développée à l'ONERA, sera déployée en 2023 à bord de la mission INSPIRE-SAT7 du LATMOS (Laboratoire Atmosphères, Observations spatiales). Elle mesurera la densité électronique de l'ionosphère afin d'établir la mesure du bilan radiatif terrestre.

CROCUS (*Charging On CUbeSat*), projet en partenariat avec le Centre spatial de l'École polytechnique (CSEP) a comme buts d'étudier les décharges électrostatiques dans les satellites, 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.

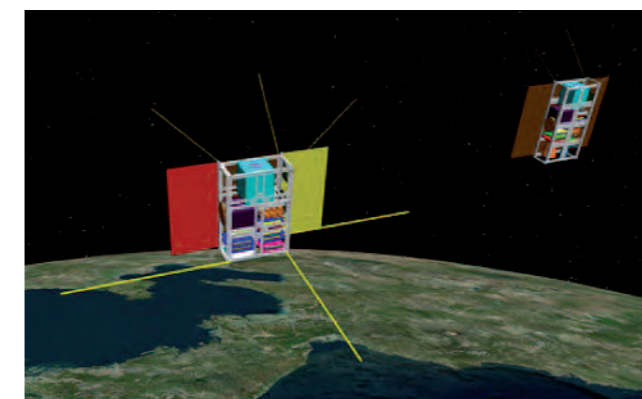
Le projet CREME (*Cubesat Radiation Environment Monitoring Experiment*), financé partiellement par la région Occitanie et destiné à la météorologie de l'espace, en partenariat avec l'ISAE-SUPAERO, la société U-SPACE, les PME EREMS, TRAD et 3D-PLUS, vise à développer un moniteur à empreinte réduite pour l'étude des ceintures de radiation.

Depuis le lancement du programme BLAST en 2020, rattaché à l'accélérateur Starburst, l'ONERA soutient plusieurs *startup New Space*.



### Un laboratoire volant pour des expérimentations multi-domaines : la mission FlyLab

FlyLab est une mission comprenant deux nanosatellites, volant en tandem en orbite basse héliosynchrone. L'ONERA disposera ainsi d'un « laboratoire volant » de démonstration en orbite, permettant de mener des missions dans le domaine optique, radar, ou systèmes.



Les satellites emporteront deux charges utiles optiques pour l'observation de la Terre et du satellite compagnon dans le visible et l'infrarouge thermique. Ils emporteront également un récepteur radiofréquence pour l'étude de l'impact de l'ionosphère sur les signaux HF, un transpondeur en bande L, pour mettre en œuvre une capacité de réception et de réémission. Il mettra également en œuvre des briques algorithmiques pour l'agilité et l'autonomie de satellites dans le cadre de manœuvres de vol relatif. Le FlyLab servira par ailleurs, en interaction avec d'autres projets, à évaluer les performances de systèmes de surveillance, à enrichir les bases de données de signatures optiques et radars, et à valider des modèles de propagation. L'ONERA travaille avec des PME pour la fourniture de matériels.

### Foudre et compatibilité électromagnétique (CEM)

Depuis 25 ans, l'ONERA travaille avec le CNES sur la protection foudre des sites de lancement : définition des systèmes d'une part, et évaluation expérimentale d'autre part. C'est cette seconde expertise qui a mené l'ONERA à Kourou en 2022. Objectif : tester le comportement du système de protection foudre du pas de tir d'Ariane 6, en injectant des courants impulsionnels dans les pylônes (paratonnerre). Par ailleurs, l'ONERA conduit d'autres analyses expérimentales et numériques sur la susceptibilité à une agression foudre des liaisons pyrotechniques sol.

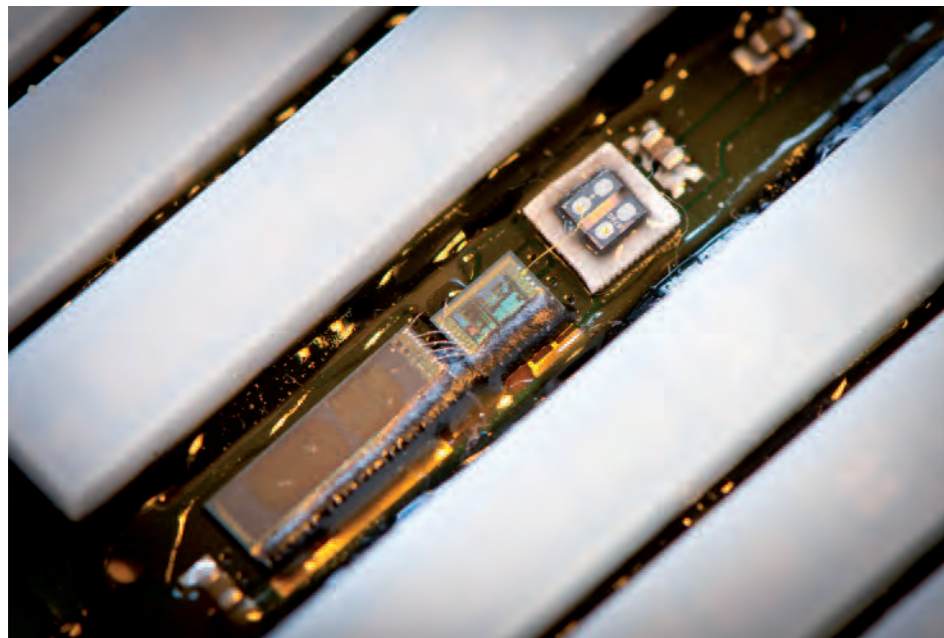
# Les grandes souffleries de l'ONERA au service de l'innovation aéronautique et de la défense

## 2022, une année encore riche en commandes

L'année 2022 confirme la tendance observée en 2021 : un excellent niveau de prises de commandes associé à une activité d'essais soutenue, notamment sur les souffleries haute vitesse de Modane, et à d'importants travaux de développement qui se poursuivent dans le cadre du programme d'investissement ATP et des conventions DGAC. Avec près de 30 M€ de prises de commandes, la direction des souffleries enregistre son meilleur niveau depuis 2009, avec, toujours, une grande variété de clients.

## La DGAC soutient les innovations de la direction des souffleries : le projet SCAMPIS

En juin 2022, la DGAC notifiait un contrat de subvention destiné à financer les travaux du projet SCAMPIS, développé par la direction des souffleries dans le cadre d'un partenariat. Cette subvention permettra de poursuivre le projet appelé à remplacer des équipements de mesure de pression « encombrants » sur les maquettes par des systèmes miniaturisés. Dotés d'une électronique performante au plus près de la mesure, de tels systèmes pourront atteindre des performances de mesure inégalées, notamment en termes de bande passante. SCAMPIS va conduire à un changement de paradigme : la miniaturisation extrême de son électronique et des capteurs de pression va permettre d'installer ces derniers directement à la surface de la maquette, là où on veut faire la mesure ; l'acquisition et la numérisation du signal au plus près du capteur permettront ainsi de transmettre un signal numérique en s'affranchissant du problème de bruit et en supprimant la complexité des connexions pneumatiques.



## La direction des souffleries prépare les développements au profit de l'aviation décarbonée

Dans le cadre de la réduction de l'empreinte environnementale de l'aviation, la direction des souffleries prépare les essais de nouvelles motorisations et intégrations motrices dans la grande soufflerie S1MA. À cet effet, les équipes du Fauga-Mauzac ont réalisé en 2022 la maintenance des turbines destinées au banc d'essai qui permettra l'étude en soufflerie de la prochaine génération de moteurs pour les avions court-moyen courrier. À partir de 2023 et pour plusieurs années, S1MA accueillera plusieurs concepts de motorisations. La réalisation de ces essais est précédée de travaux d'adaptation de l'installation réalisés par le bureau d'études et l'atelier maquettes de la direction des souffleries.

## La modernisation des grandes souffleries se poursuit

Grâce au financement de la Banque européenne d'investissement et aux subventions de la DGAC en complément de ses financements propres, la Direction des souffleries de l'ONERA s'est engagée dans un vaste programme d'investissement destiné à pérenniser les installations et à les moderniser. En 2022, la Direction des souffleries a notamment réalisé un vaste chantier de peinture du tube de S1MA, dont l'état menaçait l'exploitation même de la soufflerie.



La salle de conduite de S2MA a, quant à elle, été modernisée pour une meilleure ergonomie en conduite d'essais et pour préparer la rénovation de la chaîne de mesures.

S3MA s'est dotée d'un nouveau système de régulation de la tuyère à Mach variable permettant non seulement de mieux réguler le Mach mais aussi de gagner en productivité en essais.



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.



**Boeing, la NASA et Airbus assistent aux premiers essais de la maquette de référence hypersustentée**

En avril 2022, la grande soufflerie basse vitesse F1 accueillait Boeing, la NASA et Airbus pour les premiers essais de la maquette de référence hypersustentée appelée LRM-HL pour *Large Reference Model -High Lift*. Cette maquette de grande échelle est la « petite dernière » des grandes maquettes de référence conçues et fabriquées par l'atelier maquettes de la direction des souffleries. Elle complète les

maquettes de référence (voilure lisse) pour les trois grandes souffleries stratégiques de l'ONERA : S1MA, S2MA et F1 et s'inscrit dans l'« écosystème CRM-HL » (*Common Research Model-High Lift*), une initiative internationale qui vise à fédérer les efforts de la communauté aérodynamique sur les problématiques de modélisation des écoulements autour d'une géométrie d'avion équipée de dispositifs hypersustentateurs très réalistes pour les conditions de vol de décollage et d'atterrissage. S'agissant de la première maquette de référence hypersustentée (avion complet) et du premier essai de ce type à nombres de Reynolds élevés, la campagne réalisée au Fauga Mauzac a suscité un grand intérêt international autour de la soufflerie F1.

D'autres campagnes d'essais ont suivi, permettant notamment de caractériser très finement le sillage derrière la maquette par la technique de vélocimétrie laser. Ces données permettront de valider de nouveaux codes de calcul développés à l'ONERA et de nouvelles méthodes d'analyse phénoménologique de la trainée à partir du champ de vitesse.

**L'ONERA se distingue dans la réalisation d'essais très pointus sur le flottement**

En 2022, S2MA accueillait des essais *flutter* dans le cadre du projet européen Clean Sky 2. Ces essais sont destinés à l'investigation de la stabilité aéroélastique d'une nouvelle configuration d'arrière-corps d'avions d'affaires. Pour cela, une maquette fortement instrumentée est placée en veine sur un montage permettant son départ en flottement : il s'agit d'un couplage entre les efforts aérodynamiques et la réponse élastique de la structure pouvant provoquer de fortes vibrations qui s'amplifient très rapidement parfois jusqu'à la destruction de l'ensemble. Les essais de *flutter* dans la soufflerie S2MA ont permis de reproduire avec fidélité les conditions d'apparition de ce phénomène sur plusieurs configurations de maquette, dans le but d'améliorer les méthodes de prédictions numériques aérodynamiques et aéroélastiques. Une meilleure compréhension du flottement permettra d'améliorer la sécurité en vol, mais également le dimensionnement des structures d'avion (réduction de poids, coûts, consommations...).



**La grande soufflerie S1MA reçoit le prestigieux prix ICARE de l'Association des journalistes professionnels**

L'Association des journalistes professionnels de l'aéronautique et de l'espace (AJPPE) a décerné le prix ICARE 2022 à la grande soufflerie S1MA. Ce prix était destiné à récompenser la contribution de cet outil industriel et des personnels de l'ONERA à la recherche et aux développements de l'industrie aéronautique et aérospatiale. En particulier, il récompensait les efforts consentis pour sauver la soufflerie menacée par l'enfoncement de ses sols et pour la moderniser dans le cadre de l'important programme d'investissements ATP soutenu par la Banque européenne d'investissement.

Afin de célébrer l'événement, la remise du prix a été organisée en duplex entre la grande soufflerie S1MA de Modane (depuis la chambre de tranquillisation) et l'Aéroclub de France.

**Une cérémonie pour célébrer la contribution de la Direction des souffleries au programme KF21**

La direction des souffleries de l'ONERA était invitée à la célébration officielle du premier vol de l'avion de chasse KF-21, développé par KAI. Lors d'un événement réunissant différents prestataires d'essais en souffleries, l'ONERA s'est vu remercié pour sa contribution à la validation aérodynamique de la conception du KF-21, à Modane. L'expertise et la capacité de l'ONERA à répondre aux exigences du client ont permis de franchir cette étape majeure du projet KAI dans un délai très court.

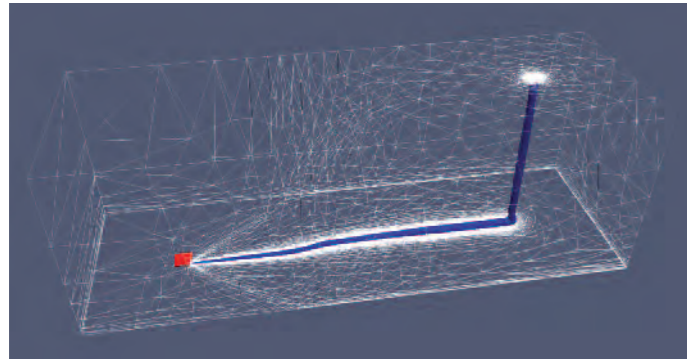


**KAI KOREA AEROSPACE INDUSTRIES, LTD.**

# Simulation numérique : des logiciels de plus en plus performants

## Accords et signatures

Airbus, le DLR (centre allemand pour l'aéronautique et l'astronautique) et l'ONERA ont renouvelé, fin 2022, leur engagement pour cinq nouvelles années du développement collaboratif du code de nouvelle génération CODA. Cet accord fait suite au premier signé en 2107. L'objectif : étendre les capacités du code aux projets actuels et futurs d'Airbus. Il pourrait également aider à étudier des concepts encore plus radicaux, tels que l'aile volante, avec un degré de rapidité et de précision inégalé. En 2022, les développements réalisés ont permis d'améliorer notablement la robustesse et la précision.



Vue 3D d'un arc continu de 400 A soufflé par un écoulement à Mach 3 sur une distance de 2 m et attaché à son pied par un matériau conducteur (carré rouge)

Par ailleurs, un accord-cadre a été signé avec l'INRIA (Institut national de recherche en informatique et en automatique) sur l'adaptation de maillage, dans le but de construire une équipe commune focalisée sur le sujet. L'ONERA utilise, dans ce domaine, le code Taranis, un code 2D/3D parallèle non structuré, qui résout les équations de la « magnéto-hydro-dynamique » résistive couplées à un modèle de fluide compressible, afin de mieux comprendre l'interaction complexe entre un arc de foudre et différents types de matériaux métalliques et composites.

Par ailleurs, un accord-cadre a été signé avec l'INRIA (Institut national de recherche en informatique et en automatique) sur l'adaptation de maillage, dans le but de construire une équipe commune focalisée sur le sujet. L'ONERA utilise, dans ce domaine, le code Taranis, un code 2D/3D parallèle non structuré, qui résout les équations de la « magnéto-hydro-dynamique » résistive couplées à un modèle de fluide compressible, afin de mieux comprendre l'interaction complexe entre un arc de foudre et différents types de matériaux métalliques et composites.

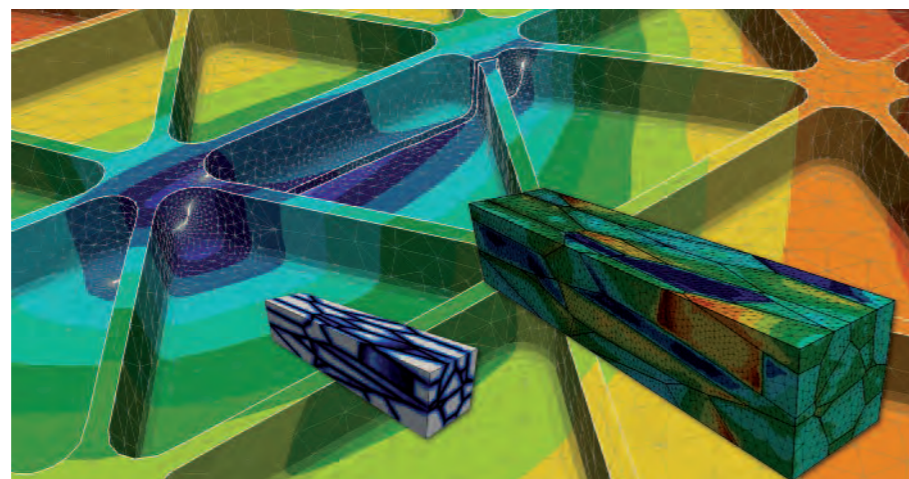
### LA DÉMARCHE ONERA : UNE PLATEFORME MULTI-DISCIPLINES

L'ONERA poursuit une démarche d'harmonisation de ses solveurs de la physique et de leurs interfaces logicielles. Cette dynamique de « plateforme mutualisée » (l'un des objectifs des feuilles de route qui structurent la stratégie scientifique de l'ONERA) permettra une efficacité accrue dans le développement des solveurs des différentes physiques de l'ONERA et une meilleure prise en compte des besoins en simulation numérique multi-physique haute performance de l'ONERA et de ses partenaires grâce à l'interopérabilité de ces solveurs.

## Beaux calculs tous azimuts

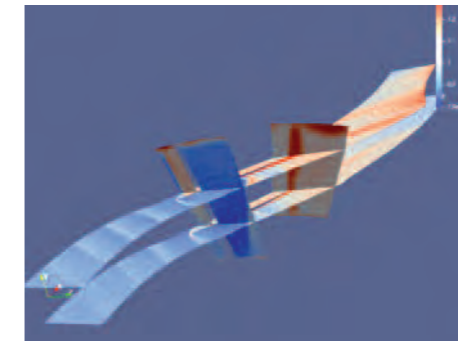
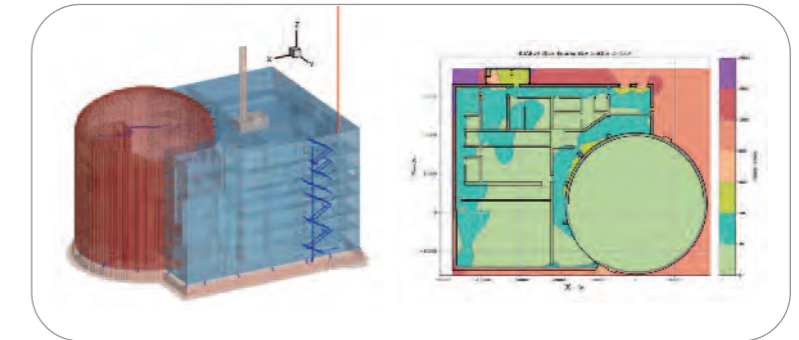
### MATÉRIAUX ET STRUCTURES

L'ONERA travaille depuis de nombreuses années sur la mise en œuvre d'outils de simulation numérique des matériaux et structures comme le code Z-set (en partenariat avec l'École des mines). Ce type d'outil 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. Au sein du projet ARIZE, soutenu par la DGAC, l'ONERA développe, avec des partenaires académiques et industriels, le code de nouvelle génération A-set, adapté aux architectures de calcul hybrides actuelles, visant notamment à intégrer des modèles multi-échelles complexes, plus physiques et plus précis, à même d'accélérer significativement le déploiement de technologies de rupture décarbonées en toute sécurité.



### ÉLECTROMAGNÉTISME

L'ONERA développe également depuis de nombreuses années le code ALICE FDTD, qui résout les équations de Maxwell par un schéma « différences finies » dans le domaine temporel. Ce code traite de grandes scènes de calcul électromagnétique. En 2022, pour le CEA et TechnicAtome, l'ONERA a évalué numériquement les environnements électromagnétiques induits par un foudroiement sur le réacteur nucléaire Jules Horowitz de Cadarache en cours de construction. Les dimensions du bâtiment et la complexité de sa topologie interne ont nécessité d'implémenter un modèle comportant plus de 2 millions de fils élémentaires et près de 251 millions de mailles. Le modèle électromagnétique a été validé par des mesures sur site. Des cartographies de champs magnétiques dans les différentes pièces du bâtiment, exploitables par le CEA et TechnicAtome, ont ainsi été obtenues.

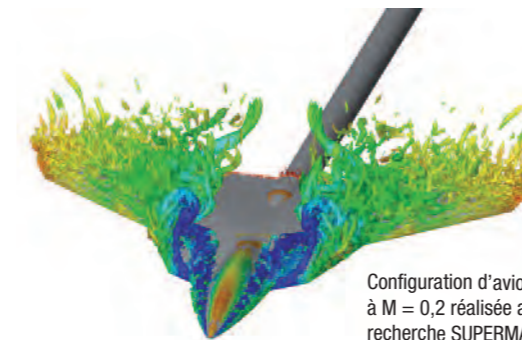


Calcul implicite en mode parallèle distribué du Rotor 37 avec SoNICS. Comparaison avec la simulation elsA réalisée en parallèle partitionné (projet DGAC SONICE)

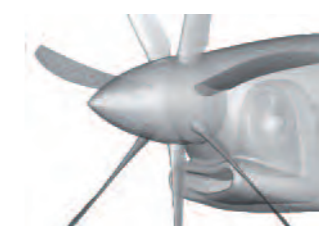
### AÉRODYNAMIQUE

Le logiciel de nouvelle génération SoNICS a franchi des étapes importantes en 2022. Des simulations tridimensionnelles ont montré un gain de temps de calcul significatif et ont démontré la capacité du code à tirer profit de la technologie GPU (*Graphics Processing Unit*). Des premières applications sur turbomachine, puis des calculs avec adaptation de maillage ont été réalisés avec succès. SoNICS bénéficiera à terme de fonctionnalités étendues par rapport à elsA comme la prise en compte des écoulements multi-espèces. Il permettra de réaliser des simulations nettement plus rapides et pourra s'exécuter efficacement sur les futures architectures de calculateurs hybrides.

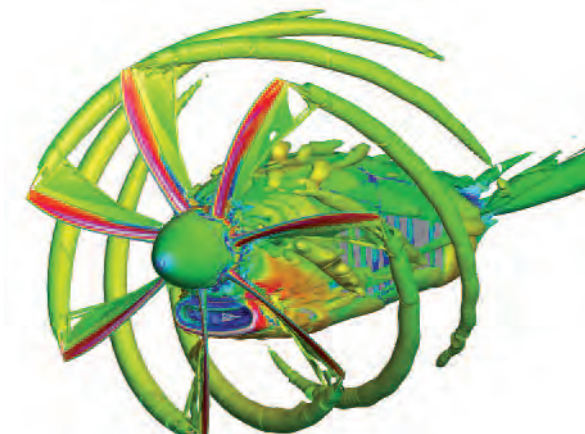
Parallèlement, le logiciel elsA continue de s'enrichir pour répondre aux besoins toujours plus importants des utilisateurs, en particulier en termes de complexité des simulations, aussi bien dans le domaine aéronautique que dans le domaine de la défense. Les exemples de telles simulations se sont multipliés en 2022.



Configuration d'avion de combat générique à  $M = 0,2$  réalisée avec elsA (projet de recherche SUPERMAN)



Interactions aérodynamiques stationnaires entre l'hélice, la nacelle, l'entrée d'air et le compresseur centrifuge d'un turbopropulseur (TechTP de Safran Helicopter Engines) réalisées avec elsA (projet EU Clean Sky 2 ANTARES)



### Advanced computing : premier prix pour l'ONERA

Le 6 juillet 2022, l'ONERA a décroché la première place du prix Joseph-Fourier, prix international qui récompense l'excellence scientifique dans le domaine de l'*advanced computing* et de l'intelligence artificielle. La simulation effectuée est, à la connaissance de l'ONERA, la représentation existante la plus précise de l'atomisation assistée d'un jet coaxial diphasique. La résolution est suffisante pour représenter toutes les structures d'intérêt dans l'atomisation en régime fibre.

Elle s'inscrit dans le cadre d'un projet qui vise à comprendre et à maîtriser les instabilités de combustion dans un moteur-fusée à ergols liquides. Pour cela, la simulation des grandes structures de la turbulence (SGS, ou en anglais LES pour *Large Eddy Simulation*) implique des modèles qui doivent être calibrés sur des résultats de référence que l'expérience ne parvient pas à fournir dans ces conditions extrêmes.





## Programme BLAST : l'ONERA poursuit l'accompagnement de *start-up*

L'ONERA poursuit l'accompagnement scientifique et technique des projets sélectionnés dans le programme BLAST – premier programme français d'incubation dédié aux entreprises *Deep Tech* du secteur aérospatial. Le *New space*, l'aviation décarbonée, la mobilité aérienne avancée figurent à nouveau au cœur des enjeux de cette édition, qui réunit dix *start-up* et trois chercheurs.

Projets accompagnés par l'ONERA :

**Sylphaero** : moteurs à réaction électriques à base de plasma

**Constellation Technologies** : constellation de satellites de communication en orbite très basse

**Windlair** : drone pour transport de charges lourdes – Longue élévation

**Disaitek** : observation de la Terre et IA pour lutter contre les crimes environnementaux

**Aerix Systems** : drone à propulsion omnidirectionnelle pour applications civiles et militaires

**Spacelocker** : plateforme satellite mutualisée et multi-usages

**Arkane** : réseaux de capteurs intelligents sans fil pour l'aéronautique et le spatial

**Meoss** : estimation des émissions et segmentation de flux de carbone locaux à partir de données spatiales

**Spacebloccs** : solution Saas permettant aux utilisateurs de prototyper et de tester des systèmes spatiaux

**Neamine** : exploitation des ressources métalliques rares présentes sur les astéroïdes géocroiseurs

**Static Engines** : nouvelle définition du moteur statique fonctionnant à faible puissance

**Matrix Gravity Waves** : contrôle des ondes gravitationnelles

**ColibrITD** : modélisation de la combustion à base d'algorithme quantique

### Indicateurs PI 2022

16 nouvelles demandes de brevet

11 nouvelles déclarations d'invention

54 nouveaux logiciels enregistrés

88 contrats de licence en cours

11 nouvelles enveloppes Soleau

## La suite logicielle NumWorks prend son envol

En décembre 2022, l'ONERA et la *start-up* Numworks Technologies ont signé un contrat de licence pour co-développer et exploiter la plateforme numérique NumWorks.

Afin d'améliorer la modularité des outils de simulation, un chercheur de l'ONERA a entrepris, il y a une vingtaine d'années, la création de l'atelier logiciel NumWorks, sur la base de son expertise en électromagnétisme. Cet outil de productivité, aujourd'hui arrivé à maturité, capitalise un grand nombre de méthodes utiles en calcul scientifique, et affiche des performances en rupture complète avec l'état de l'art.

C'est ainsi que le code Maxwell3D de l'ONERA, construit à l'aide des « briques numériques » fournies par NumWorks, permet de résoudre les équations de Maxwell environ 10 fois plus vite que les outils commerciaux leaders du marché.

Aujourd'hui, pour entrer sur le marché des logiciels de simulation pour la physique, la société NumWorks Technologies se positionne en tant que fournisseur de composants algorithmiques haute performance auprès des éditeurs de codes de calcul scientifique ou des industriels qui souhaiteraient développer leurs propres applications métier dans l'environnement NumWorks.



## Un transfert de technologie qui va faire grand bruit



Fin 2022, l'ONERA et SKYTED ont signé un contrat de concession de licence de brevet pour développer un masque silencieux permettant de passer des appels en toute discrétion.

Basée à Toulouse, SKYTED est une *start-up* qui conçoit un nouveau masque, offrant une « bulle de silence » permettant de passer des appels confidentiels et de manière silencieuse dans les avions, les transports, les espaces ouverts et dans le monde virtuel comme les métavers et les jeux en ligne.

Le contrat de concession de licence prévoit l'intégration de technologies de pointe permettant d'absorber les sons produits par la voix humaine : ces technologies et ce savoir-faire ont été développés à l'ONERA pour des applications aéronautiques, notamment dans les réacteurs d'avion de nouvelle génération. Elles trouvent ici une nouvelle application particulièrement originale.

« L'ONERA excelle dans la recherche scientifique et technologique appliquée aux secteurs de l'aéronautique, de la défense et de l'espace. Ces domaines pointus de recherche débouchent sur des avancées technologiques qui intéressent d'autres secteurs d'application. Ce transfert vers SKYTED en est une parfaite illustration », explique le directeur de la valorisation et de la propriété intellectuelle, Nicolas Guérineau.

« Les contraintes liées à la réduction de la voix sont très proches des problématiques aéronautiques en aérologie et en acoustique. L'ONERA est donc un partenaire naturel pour Skyted », commente Stéphane Hersen, PDG de SKYTED.

La société SKYTED est soutenue par Airbus Dev, l'accélérateur de l'Agence spatiale européenne et BPI Deep tech.

## L'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 de proposer des nouveaux leviers de valorisation de l'offre ONERA en lien avec ses missions (COP 2022-2026). Plusieurs éléments sont à l'origine de cette offre.

- L'ONERA se doit de valoriser des compétences reconnues en réponse aux enjeux sociétaux actuels de son secteur : avion décarboné, hydrogène, gestion de la donnée spatiale, contraintes matériaux dans l'aéronautique et simulation numérique...

- L'ONERA Academy® favorisera ainsi le transfert de technologies vers d'autres secteurs.

- La culture de la formation n'est pas nouvelle à l'ONERA, un terreau idéal pour une telle initiative (environ 10 000 heures de cours sont données par les chercheurs tous les ans). Certains départements ont déjà monté des formations à destination d'un public d'entreprises ou d'administrations (sur l'utilisation de logiciels, notamment).

En miroir, l'ONERA Academy® sera bénéfique pour les chercheurs, car elle leur permettra d'enrichir leurs activités. Pour l'ONERA, cela renforcera les liens, voire en créera de nouveaux, avec les partenaires.

Pour amorcer la dynamique, le choix de l'ONERA a d'abord été de privilégier le développement de formations sur l'utilisation des logiciels ONERA, puisqu'il dispose d'un véritable gisement de plus de 550 codes développés par les départements scientifiques.

En 2022, le projet ONERA Academy® a été construit en interne d'un point de vue juridique, organisationnel et financier. Des contrats de partenariat avec des partenaires potentiels (ANDHEO, École de l'air et de l'espace, INRIA...) ont également été lancés. Enfin deux formations tests ont été retenues pour 2023 : les codes CASSIOPÉE et MATISSE.



## Collaborations intenses avec Singapour

Les nombreuses visites de personnalités politiques et du monde de la recherche organisées à l'ONERA ont souligné l'intensification des coopérations avec Singapour. Depuis la création du laboratoire sur les radars SONDRRA il y a 24 ans, l'ONERA et Singapour entretiennent en effet d'excellents rapports.

En juin 2022, plusieurs délégations françaises et singapouriennes se sont réunies pour discuter des coopérations dans le cadre du laboratoire SONDRRA. En marge de la 5<sup>e</sup> édition du séminaire SONDRRA à Avignon, des réunions spécifiques ont été organisées à l'ONERA.

Puis, l'ambassadrice Teow Lee Foo est venue en visite à l'ONERA en juillet 2022, seulement un an après son arrivée à Paris. Elle était accompagnée de Mme Yihui Chia, première secrétaire chargée des affaires politiques et de William Peh, conseiller pour les affaires d'armement et de défense.



Le général NG Chad-Son, directeur de l'innovation de défense de la République de Singapour, *Ministry of Defence Deputy Secretary (Technology)* et *Future Systems and Technology Architect*, a lui aussi visité l'ONERA en novembre 2022. Pour son premier déplacement en France depuis sa prise de fonction, le général s'est intéressé à l'ONERA et au laboratoire SONDRRA, avec l'objectif d'avoir une meilleure vision du paysage de défense et d'innovation français, et bien entendu des collaborations menées avec Singapour.

## Japon : la relation ONERA-JAXA au plus haut

Pour la première fois, le président de la JAXA, Dr Hiroshi Yamakawa, s'est rendu à l'ONERA. L'occasion pour Bruno Sainjon, PDG de l'ONERA, de signer un nouvel accord bilatéral avec son homologue japonais, afin de renforcer leurs coopérations dans le domaine aéronautique et surtout spatial.



## Coopération tous azimuts avec les USA



Les différentes visites d'instances américaines soulignent le rayonnement international des travaux de l'ONERA. Le 15 septembre 2022, le *National Space Council*, l'instance la plus élevée du domaine spatial américain, s'est rendu sur le site ONERA de Palaiseau. Le *National Space Council* est un organe du bureau exécutif du président des États-Unis. Basé à la Maison-Blanche, son secrétaire exécutif, M. Chirag Parik, rapporte directement à Mme Kamala Harris. Le NSpC adresse des questions de politiques civile, commerciale, de sécurité nationale et spatiale internationale.

En octobre 2022, les 50 ans de la coopération sur les hélicoptères entre l'*US Army* et l'ONERA étaient célébrés sur le centre de Palaiseau. La DGA et l'ONERA ont reçu une délégation de l'*US Army* dans le cadre de la coopération *AHFIR Rotary Wing Aeromechanics and Human Factors Integration Research* sur les hélicoptères. Cette coopération concerne six axes de recherche : rotors avancés et rotors grande vitesse ; design et configuration hybride ; assistance au pilotage et facteur humain ; étude des incertitudes pour l'analyse aérostructurale des pales, méthodes numériques pour les simulations hélicoptère.



## Coopération ONERA-NASA : une nouvelle success story !

Un groupe de travail ONERA-NASA s'est vu décerner la *NASA Group Achievement Award*. Cette récompense, de très haut niveau, habituellement interne NASA, distingue une équipe commune NASA-ONERA pour le projet SUNSET 2, qui impliquait une quinzaine d'ingénieurs de l'ONERA des départements scientifiques d'énergétique, d'aérodynamique, et des souffleries. Le projet SUNSET 2 portait sur l'étude des effets du givre sur des ailes en flèche, et a permis de constituer plusieurs bases de données uniques sur la caractérisation des effets du givre sur les performances aérodynamiques d'un aéronef. Ce projet qui s'inscrit dans le cadre d'une coopération au long cours, commencé en 2007 avec le volet SUNSET 1, devrait se poursuivre avec SUNSET 3 qui visera à étudier les effets du givre sur

les ailes en flèche hypersustentées. Par ailleurs, la signature d'un accord-cadre, en avril 2022, à l'occasion de la réunion OACI (Organisation de l'aviation civile internationale) a marqué la proximité des deux établissements. Il permettra de faciliter le lancement de nouvelles coopérations scientifiques. Bruno Sainjon et Robert Pearce, administrateur de la NASA, se sont félicités de la continuité et du succès des coopérations dans plusieurs domaines comme le givrage et l'acoustique des aéronefs. Cette coopération est appelée à s'étendre pour couvrir le nouveau domaine des drones.



# EUROPE

## L'ONERA au *Governing Board* de Clean Aviation

L'ONERA est un acteur important du partenariat européen Clean Aviation (dont il est membre fondateur) et s'est vu confier le rôle de représentant (avec le DLR) des centres de recherche membres du partenariat au *Governing Board*, à son lancement fin 2021, et durant toute l'année 2022.



## Le bureau bruxellois de l'ONERA au sein de la Maison Irène et Frédéric Joliot-Curie

Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2022, la MIFJC succède au CLORA (Club des organismes de recherche associés). Elle rassemble les organismes de recherche publics français à Bruxelles, dans le but de renforcer leur coopération avec des institutions et acteurs politiques européens. Objectif : améliorer la participation française dans les différents programmes de l'Union européenne, notamment Horizon Europe. La MIFJC est également un espace d'accueil et d'échange, qui permet aux équipes de l'ONERA de disposer d'un lieu adapté à Bruxelles, pour accueillir partenaires et membres de la Commission.



## ODAS 2022 : l'ONERA récompensé



Du 1<sup>er</sup> au 3 juin 2022, lors du 22<sup>e</sup> symposium ONERA-DLR, un récipiendaire ONERA a été récompensé : Samir Beneddine (département aérodynamique, aéroélastique et aéroélasticité), pour sa présentation « *Physical modeling using Deep Learning: mutual information maximization to find optimal input features* », décrivant une méthode d'optimisation de l'utilisation de la connaissance physique pour améliorer l'efficacité du *Deep learning*.

## WorkSpace à l'ONERA

L'ONERA a assuré, jusqu'à la fin juin 2022, la présidence de l'ESRE : le 3 juin 2022, à son initiative, il réunissait des membres importants de la DG DEFIS (Direction générale des industries de défense et de l'espace) de la Commission européenne pour un *workshop* consacré aux « défis spatiaux pour l'Union européenne ». Ce *workshop* comptait parmi ses participants Mme Catherine Kavvada, la Commission européenne, la directrice de la direction B (*Innovation & Outreach*) de la DG DEFIS, cette dernière représentant le directeur général Timo Pesonen.





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



6 CHEMIN DE LA VAUVE AUX GRANGES – 91120 PALAISEAU – FRANCE – TÉL. : +33 1 80 38 60 60

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