



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

Liberté  
Égalité  
Fraternité

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

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

Les plans France Relance, puis France 2030, apportent à l'ONERA des moyens indispensables à l'atteinte de l'objectif ambitieux de l'OACI « zéro émission nette de CO<sub>2</sub> en 2050 » pour le transport aérien : ils constituent une formidable accélération pour l'ONERA, déjà pleinement engagé sur le sujet. Modernisation des moyens expérimentaux en combustion et métrologie associée, amélioration des capacités des souffleries, recherches sur l'impact climatique de l'aviation, développement de nouvelles méthodes de modélisation pour les moteurs et aéronefs de demain : autant de domaines interdisciplinaires qui positionnent l'ONERA comme un acteur incontournable du virage environnemental de l'aviation.



Financé par  
l'Union européenne  
NextGenerationEU



## Carburants alternatifs : l'ONERA, acteur historique

Leader d'un des tout premiers projets européens sur les carburants d'aviation durables (CAD), l'ONERA apporte son soutien scientifique et technique pour étendre leur déploiement et tracer les perspectives d'utilisation des différentes filières énergétiques dans l'aviation. Ses compétences en physico-chimie des carburants et ses moyens d'analyse de leur compatibilité avec les systèmes avion sont aujourd'hui mis en œuvre pour permettre l'utilisation de CAD purs dans les avions\*, condition nécessaire à la décarbonation de l'aviation.

L'ONERA maintient par ailleurs une vision d'ensemble sur la problématique des carburants durables pour l'aviation. Il a ainsi piloté le projet ENERGIA avec Airbus, Safran et Dassault pour mieux cerner les perspectives de production, la durabilité et les aspects économiques des différentes filières de combustibles bas carbone (biocarburants, électrocarburants et hydrogène).



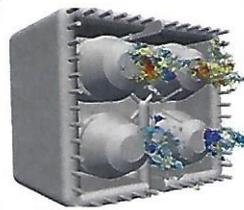
Essai en vol VOLCAN "100% CSD" – 29/10/2021 (crédit Airbus)

\*Aujourd'hui, ces carburants d'aviation durables ne peuvent être utilisés qu'avec un taux maximum d'incorporation de 50 % dans le kérosène.

## Hydrogène : l'ONERA creuse le sujet



Les avantages de l'hydrogène comme combustible sont nombreux : disponibilité de la ressource (production à partir de l'électrolyse de l'eau ou de l'oxydation de la biomasse), faible densité massique (réduction de la masse de carburant à embarquer), bilan carbone extrêmement faible... Mais il présente un certain nombre d'inconvénients, dont le principal est sa très faible densité énergétique volumique, qui implique une utilisation sous forme d'un liquide cryogénique (-252,85 °C). Cela entraîne de multiples défis à surmonter, le premier étant l'intégration de réservoirs quatre fois plus volumineux (à contenu énergétique constant), ce qui nécessite de revoir la conception des avions.



Un second défi réside dans la maîtrise d'une combustion stable à faible émission de NOx : sur ce sujet, l'ONERA a conçu, testé, validé et breveté, avec Safran dans le projet DGAC Hyperion, un système d'injection qui a permis d'obtenir en sortie de moteur des niveaux de NOx extrêmement faibles.

Autre challenge à relever : les interactions entre l'hydrogène et les matériaux (fragilisation, impact sur la durée de vie) et la problématique de l'oxydation des aubes de turbine soumises à des gaz riches en vapeur d'eau en sortie de combustion : autant de sujets sur lesquels l'expertise des équipes pluridisciplinaires de l'ONERA est reconnue.

## Propulsion hybride électrique : l'ONERA chef de file du projet européen IMOTHEP

En janvier 2020, la Commission européenne a sélectionné, dans le cadre d'Horizon 2020, le projet IMOTHEP sur la propulsion hybride électrique, coordonné par l'ONERA. Composé d'un consortium de 29 acteurs clés du secteur, il étudie les technologies électriques, en relation étroite avec la conception de configurations innovantes développant de nouvelles synergies entre cellule et propulsion. L'ONERA pilote en particulier les études de configurations innovantes d'aéronefs et contribue activement à l'intégration aéropropulsive des chaînes de propulsion hybride électrique.

Grâce aux conventions de recherche financées par la DGAC, l'ONERA étudie également un thème connexe, la maîtrise des risques liés aux fortes intensités et tensions électriques mises en jeu, et notamment les phénomènes de compatibilité électromagnétique et d'échauffement des câbles.



### **Intégration motrice : tester en soufflerie reste indispensable**

Le projet E2IM – étude de concepts innovants pour l'intégration motrice – consiste à tester un concept d'avion avec un positionnement des moteurs différent par rapport au reste de la structure. L'idée : mieux intégrer le moteur dans les ailes ou dans le fuselage. Quel sera l'écoulement de l'air autour de l'aéronef ? Les entrées d'air seront-elles adaptées pour un bon fonctionnement du moteur ? Quelle sera la réduction de traînée en résultant ? Pour répondre à ces questions, l'expérimentation est indispensable. En 2020, la grande soufflerie de Modane accueillait une première série d'expérimentations, qui seront poursuivies en 2023 et 2024.

Le projet DGAC SUBLIME traite, quant à lui, de la technologie d'ingestion de couche limite, qui permet d'améliorer le rendement propulsif des avions de transport civils en rapprochant le moteur du fuselage. Quatre grandes thématiques sont abordées : évaluation des performances en régime transsonique, marge au pompage du fan du réacteur, prévision de la distorsion vue par le fan, comportement aéroélastique des aubes de fan. L'expérimentation, notamment en soufflerie est, là aussi, indispensable pour mieux comprendre ces phénomènes physiques.



### **Convention Aviation & climat : l'ONERA actif sur la compréhension de l'impact de l'aviation sur le climat**

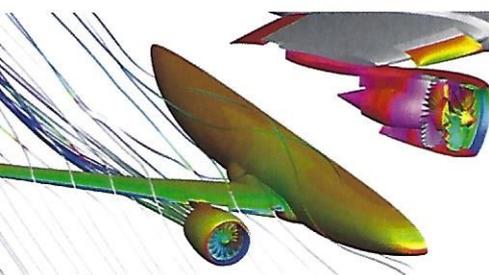
Les travaux sur l'impact climatique de l'aviation ont montré l'importance des effets dits « non-CO2 » engendrés par l'émission dans la haute atmosphère de particules, d'oxydes d'azote, de vapeur d'eau ou d'aérosols secondaires (aérosols soufrés notamment). L'ONERA conduit en particulier des recherches sur les traînées de condensation générées aux altitudes de croisière par la condensation et la congélation de la vapeur d'eau, et dont la formation est favorisée par les émissions de particules des moteurs. Ces traînées engendrent ainsi une perturbation climatique. L'incertitude sur l'impact effectif des effets non-CO2 reste aujourd'hui très forte et des recherches sont nécessaires pour préciser leur importance. C'est pourquoi l'Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL) et l'ONERA ont uni leurs compétences dès 2020, avec le soutien de la DGAC, dans le cadre de la convention de recherche Aviation & climat sur la modélisation et la prévision de cet impact.

# Expérimental et numérique : des moyens complémentaires pour accélérer la R&T



## Expérimentations : tests grandeur nature

Pour apporter des réponses aux besoins des motoristes et mieux comprendre la combustion dans les foyers aéronautiques, l'ONERA dispose de moyens très spécifiques et de techniques de mesure extrêmement pointues : bancs M1 et MICADO en Île-de-France pour les essais d'injecteurs et de secteur de chambre, et bancs MERCATO et LACOM en Occitanie pour les essais d'allumage et d'atomisation. L'ONERA est également reconnu pour ses 12 souffleries aéronautiques « industrielles ». Couvrant une gamme de vitesse de Mach 0,1 à Mach 20, ce parc représente 60 % des grandes installations européennes. À titre d'exemple, trois grandes souffleries couvrent une large gamme de vitesse : sur le centre du Fauga-Mauzac, F1 pour la basse vitesse pressurisée, à Modane-Avrieux, S1MA, la très grande soufflerie transsonique atmosphérique, et S2MA, une soufflerie pressurisée transsonique et supersonique. Elles sont indispensables pour tester les concepts de rupture.



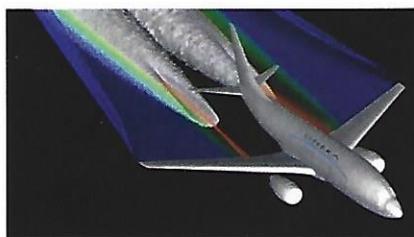
## Numérique : un dialogue permanent avec les essais

La combinaison de simulations numériques et de résultats d'expériences physiques est un élément important pour se doter de capacités de prédiction augmentées dans le domaine de la mécanique des fluides (aérodynamique, aéroélasticité, acoustique, énergétique) et des solides (matériaux et structures).

### Logiciels pour l'aérodynamique

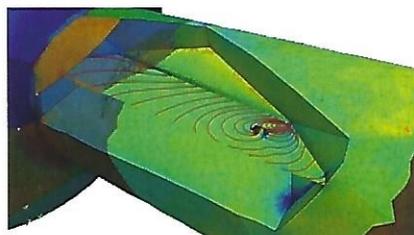
L'ONERA a créé son propre logiciel d'aérodynamique elsA (en partenariat avec Airbus et Safran), dont le successeur, SoNICS est en cours de développement. Avec une architecture extrêmement novatrice, ce code de calcul permettra d'offrir des performances significativement supérieures.

Le développement de SoNICS est financé par la DGAC dans le cadre du projet de relance aéronautique SONICE, mené en collaboration avec Safran Aircraft E., Safran Helicopter E. et piloté par Safran Tech. L'ONERA développe également avec Airbus et le DLR le code CODA dont la principale cible est le calcul de configurations d'avions et d'hélicoptères. Le développement de CODA à l'ONERA est principalement soutenu par le projet DGAC LAMA.



### CEDRE, logiciel pour l'énergétique

Le logiciel CEDRE (calcul d'écoulements diphasiques réactifs pour l'énergétique) est la plateforme de simulation numérique pour l'énergétique de l'ONERA. Utilisé par des industriels majeurs du secteur, il traite les écoulements complexes rencontrés dans le domaine de l'énergétique et de la propulsion, en prenant en compte une grande variété de phénomènes physico-chimiques et les mécanismes de couplage associés. Entre autres, il permet de simuler l'écoulement diphasique réactif dans une chambre de combustion aéronautique, les effets de gaz réels à très haute pression dans les moteurs de fusée, la traînée de condensation qui se forme dans le sillage d'un avion, et l'accrétion de givre sur les ailes ou dans les aubes de turboréacteurs.



### Logiciels pour les matériaux et les structures

Certaines pièces de moteurs sont très sollicitées, à des températures très élevées : il importe au constructeur d'avoir une bonne idée de la durée de vie de ces pièces critiques. Fruit d'une collaboration de plus de 30 ans avec l'École des Mines, Zset-Zebulon est l'outil pour cette prédiction. Il peut être couplé aux logiciels de mécanique des fluides (elsA, Cedre) dans une démarche globale, multi-physique. Commercialisée, les clients historiques de la suite Zset sont du secteur aérospatial (Safran), des industries automobiles (Renault, PSA, GM...), de l'énergie (CEA, EDF, Areva), des matériaux (Saint-Gobain, 3M, ArcelorMittal).

Le projet ARIZE, lancé en 2021, avec le soutien de la DGAC, porte le développement du code A-set, successeur de Z-set pour les matériaux et structures.