Onera et les turbomachines innover pour la propulsion

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

retour sur innovation

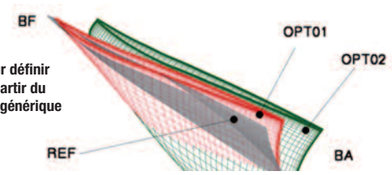
Le transport aérien est aujourd'hui confronté à des enjeux économiques et sociétaux majeurs. L'Onera met son excellence scientifique au service des motoristes pour les aider à relever ces défis. Ses travaux couvrent l'intégralité de la chaîne de l'innovation, de la compréhension des phénomènes physiques aux démonstrateurs, en passant par la modélisation, la simulation numérique et l'expérimentation. Son approche multidisciplinaire lui permet d'adresser les problématiques transverses que rencontrent les motoristes, à la recherche d'un compromis optimal entre compétitivité, développement durable, sécurité et innovation. Voici un aperçu des compétences proposées.

Améliorer la compétitivité à tous les niveaux

Sur un marché extrêmement compétitif, les industriels cherchent à gagner en productivité lors des phases de développement, à améliorer sans cesse les performances de leurs produits en opération et à en réduire les coûts de maintenance. L'Onera accompagne les motoristes à toutes les étapes du cycle de vie de leurs produits en leur apportant les innovations dont ils ont besoin pour se différencier.

Réduire les coûts de développement et les marges de conception

> développement d'outils de prévision de performances pour réduire le nombre de cycles de conception



Calcul d'optimisation pour définir une géométrie d'aube à partir du code elsA, sur une forme générique

OPTIM

Objectif : • mettre en place une plateforme d'optimisation multidisciplinaire (aérodynamique, aéromécanique, aéroacoustique) dédiée à l'étude des compresseurs et des turbines.
Actions de l'Onera : • développement d'une méthode analytique visant à minimiser la durée des optimisations, testée sur des cas de compresseurs et de turbine • mise en place de plateformes d'optimisation à l'aide de codes de calcul d'une grande précision (elsA, ZeBuLoN[1]).

[1] co-développé par l'Onera et l'Ecole des Mines

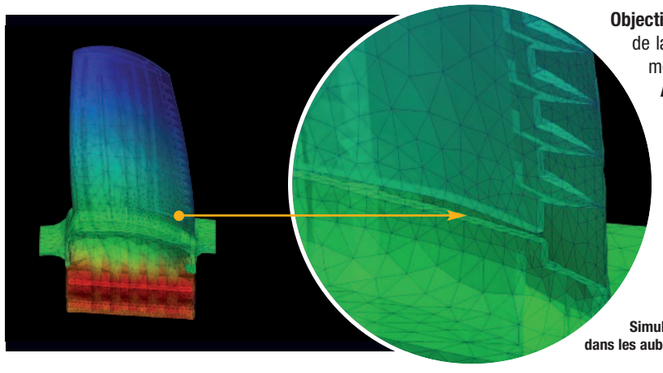
> études pour optimiser les performances des composants

UNE COLLABORATION D'AVENIR

L'Onera et Snecma se sont engagés début 2012 dans une collaboration sur la conception de modules propulsifs. L'objectif pour Snecma est de s'appuyer sur l'expertise de l'Onera en aérodynamique, aéroacoustique et aéroélasticité afin d'explorer de nouvelles pistes technologiques pour les futures soufflantes. Cette collaboration permettra aussi à l'Onera de mieux appréhender les besoins de ce partenaire historique en s'appropriant sa chaîne de calcul et ses outils de conception.

Réduire les coûts de maintenance

> études sur la durée de vie des matériaux



Simulation de la fissuration dans les aubes de turbine en bord de fuite

DURÉE DE VIE DES STRUCTURES CHAUDES

Objectif : • améliorer les compétences des industriels dans la prévision de la durée de vie des composants soumis à un environnement thermomécanique sévère.
Actions de l'Onera : • expérimentation mécanique : mise en place d'essais complexes, développement d'installations et de moyens de mesure dédiés • modélisation à haute température du comportement et de l'endommagement des matériaux monocristallins (aube de turbine) et polycristallins (chambre de combustion) • simulation numérique et développement de méthodologies innovantes pour le calcul de structures complexes et la prévision robuste de leur ruine.

> développement d'outils de contrôle non destructif optiques/thermiques pour identifier l'endommagement des aubes

Réduire la consommation de carburant

> voir page suivante « Vers un transport aérien durable »

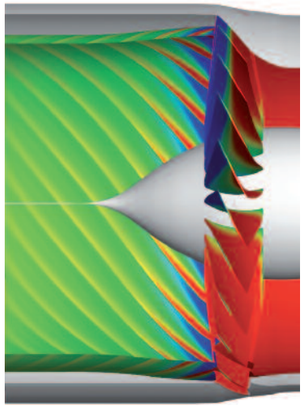
Vers un transport aérien durable

Pour inscrire le transport aérien dans une perspective de développement durable à long terme, le conseil consultatif pour la recherche aéronautique en Europe (ACARE[1]) a fixé à l'industrie aéronautique des objectifs ambitieux à l'horizon 2020[2] en termes d'émissions de CO_2 (- 50 %), d'émissions polluantes (- 80 % de NO_x) et de bruit (- 50% de bruit perçu). L'Onera soutient les motoristes dans ces défis.

[1] Advisory Council for Aeronautics Research in Europe [2] Par rapport à 2000.

Concevoir des soufflantes plus silencieuses et plus légères

> études sur l'aéroacoustique des soufflantes à haut taux de dilution



Champ de pression instantanée et ondes de chocs en amont d'un rotor en régime transsonique (calcul elsA)

AITEC

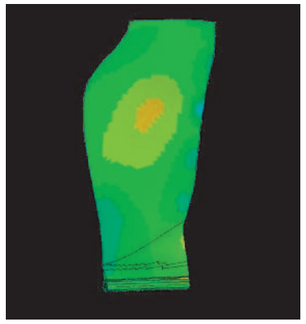
Objectifs : • développer et améliorer des outils fondamentaux de prévision aérodynamique pour la modélisation des effets technologiques • améliorer la précision des calculs aérodynamiques pour la prévision du bruit de soufflante (raies et large bande) • développer des modèles de sources, de propagation, et de rayonnement acoustique.
Actions de l'Onera : • développement d'une méthodologie de pré-traitement Chimère (ensemble de recherche Cassiopée) • développement d'une méthodologie (intégrée au code ZEPPELIN[3]) permettant d'estimer la puissance acoustique des moteurs à différents régimes de fonctionnement (subsonique, transsonique) • démonstration de l'efficacité du code elsA en instationnaire pour la prévision du bruit de raies d'interaction rotor-stator • développement d'un code de simulation de sources de bruit équivalentes permettant un chaînage CFD-CAA (Computational Fluid Dynamics – Computational Aeroacoustics).

[3] Outils de post-traitement de simulations elsA

> caractérisation et modélisation mécanique des aubes de soufflante en composite

COMPOSITES

Objectif : • modéliser la durabilité des composites tissés interlocks à matrice organique ou céramique et les procédés de fabrication.
Actions de l'Onera : • modélisations fines du comportement, de l'endommagement et de la rupture des composites tissés interlocks • accompagnement des industriels dans une démarche d'industrialisation des résultats des recherches.



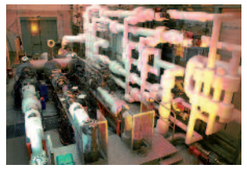
Simulation numérique d'un essai technologique sur une aube fan

Concevoir des chambres de combustion plus silencieuses

> compréhension des mécanismes du bruit de combustion

Concevoir des chambres de combustion peu polluantes

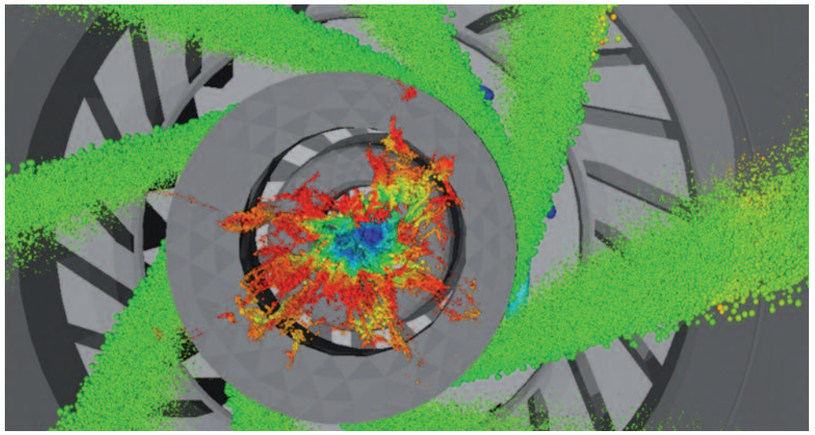
> réalisation d'essais sur des chambres de combustion ou des secteurs de chambre dans des configurations représentatives du fonctionnement des foyers aéronautiques.



BANC M1

Objectifs : • optimiser les architectures de chambre et déterminer leurs performances en termes d'émissions polluantes (NO_x, CO, suies,...), d'opérabilité et de stabilité • obtenir des bases de données pour la validation des modèles numériques et des codes de simulation.

CLEANER



Objectifs : • renforcer la capacité de simulation du code CEDRE pour l'énergétique et en particulier la formation des polluants • mettre en œuvre de nouvelles mesures afin de compléter les bases de données expérimentales existantes.
Actions de l'Onera : • implantation dans le code CEDRE d'un premier modèle simulant la production de NO_x • réalisation de simulations stationnaires sur deux chambres de combustion dotées d'injecteurs tourbillonnaires complexes.

Simulation numérique d'un jet d'injection de kérosène dans une chambre de combustion réalisée avec le code CEDRE

> mesures de NO_x et de suies dans les chambres de combustion

> diagnostic avancé pour la caractérisation des gaz de combustion par laser

> études de différents systèmes d'injection assurant une atomisation optimale du carburant

> études sur la coséfaction du carburant à l'injection

> études sur la température des parois de la chambre de combustion

> caractérisation des émissions polluantes

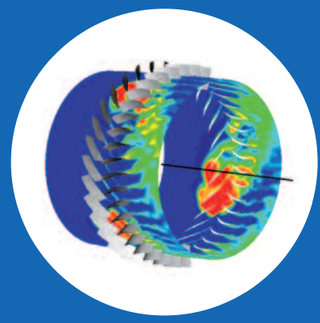
Concevoir des compresseurs à fort taux de compression, à haut rendement et plus légers

> études sur l'aérodynamique des étages du compresseur

> mise au point de nouveaux matériaux résistant à l'augmentation de température pour les étages haute pression

ONERA ELSA

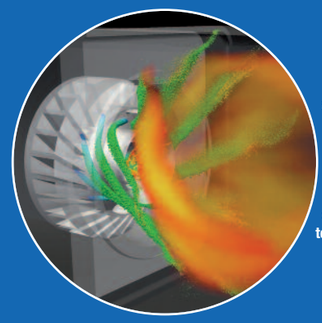
elsA est un code développé par l'Onera pour des simulations numériques aérodynamiques prenant en compte les effets d'aéroélasticité ainsi que les couplages aérothermiques et aéroacoustiques. Capable de simuler des écoulements complexes internes et externes, elsA s'adresse à un champ d'applications très vaste : avions, hélicoptères, turbomachines, missiles, lanceurs, entrées d'air, tuyères, jets propulsifs, etc.



Simulation numérique du décollement tournant dans un compresseur axial

ONERA CEDRE

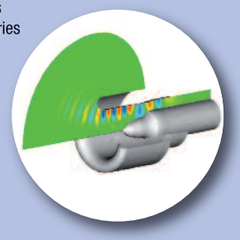
Le code CEDRE développé à l'Onera permet de simuler des phénomènes multiphysiques au sein des écoulements complexes du domaine énergétique et propulsion (combustion, gaz réels, aérothermique, prise en compte de gouttes et de films liquides, rayonnement, plasma, ...) et couplés (aéroacoustique, aéromécanique, ...).
CEDRE propose des pré- et post-traitements adaptés et admet des maillages non-structurés polyédriques généraux, mobiles/déformables. CEDRE est entièrement parallélisé. Parmi ses applications : turbomachines, statoréacteurs, moteurs à onde de détonation, moteurs-fusées à propulsion solide ou liquide, etc.



Simulation numérique d'une chambre de combustion à injection tourbillonnaire. Champ de suies et gouttes de kérosène colorées par leur température de surface

SABRINA

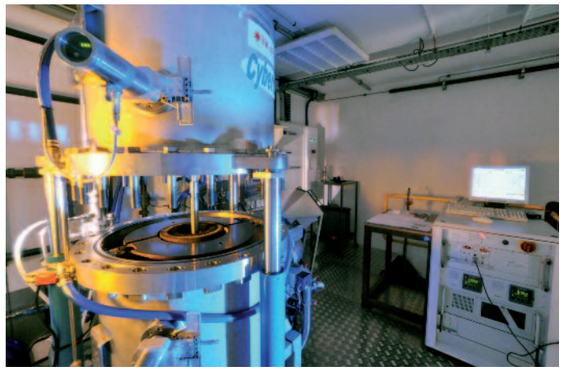
sAbrinA est un code CAA (Computational Aero-Acoustic) développé par l'Onera pour simuler la propagation et le rayonnement de sources acoustiques prenant en compte des géométries et des écoulements. complexes.



Propagation et rayonnement amont d'un mode d'interaction généré par une soufflante contra-rotative (projet VITAL)

Améliorer le rendement des turbines en augmentant les températures d'entrée et la pression

> mise au point de nouveaux matériaux céramiques s'affranchissant des systèmes de refroidissement, de barrières thermiques pour moteurs d'hélicoptères et d'alliages métalliques de faible densité



FOUR BRIDGMAN

Fonctionnalités : • fabrication de cristaux de grande taille • étude des céramiques eutectiques obtenues par fusion et solidification dirigée pour remplacer les aubes métalliques base nickel et des céramiques base nitrures pour les turbomachines.

> développement d'outils de simulation pour prévoir les niveaux de température sur les aubes de turbine

ERICKA

Objectifs : • améliorer les systèmes de refroidissement des aubes de turbines • réduire le débit prélevé nécessaire au refroidissement • améliorer l'efficacité du refroidissement pour augmenter la température d'entrée turbine.
Actions de l'Onera : • simulation numérique sur les écoulements aérothermiques • réalisation d'essais sur le banc BATHIRE qui permet d'étudier en rotation le circuit de refroidissement d'une aube.

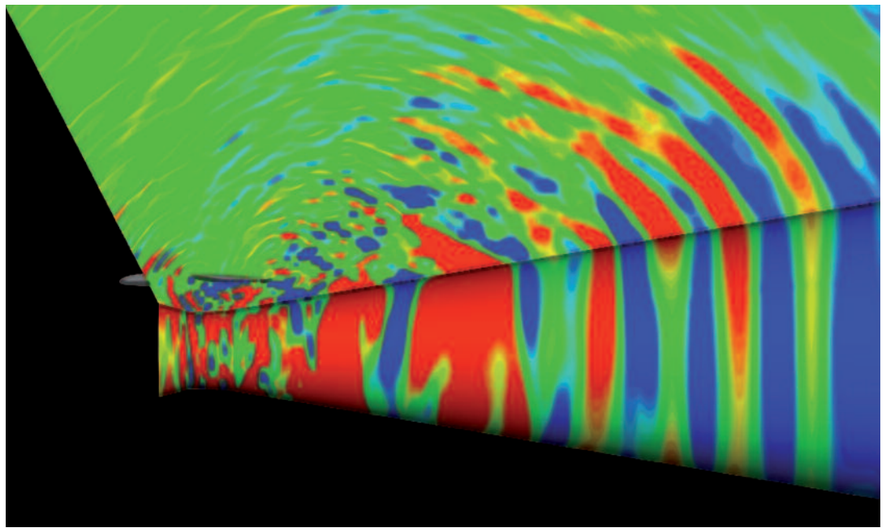
Banc BATHIRE (Banc AéroTHermique d'Investigation en Rotation des Ecoulements) : banc en rotation pour l'étude des transferts thermiques dans les aubes de turbomachines

Réduire le bruit de jet

> étude de formes de tuyères et de dispositifs de contrôle du bruit

EXEJET

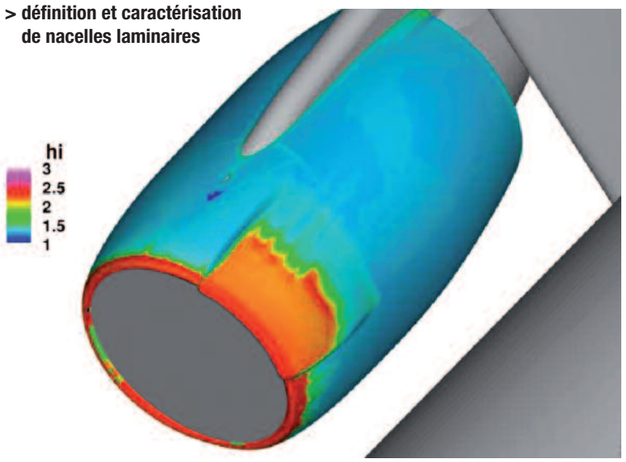
Objectifs : • définir des configurations moteur HBPR (High By-Pass Ratio) installé sous voilure, optimisées pour le bruit de jet • mettre à disposition des outils de simulation de tuyères silencieuses installées sous voilure en vue de l'application sur les prochains court- et long-courriers.
Actions de l'Onera : • évaluation de la capacité des codes numériques aéroacoustiques avancés de l'Onera à prédire le bruit d'une tuyère dans différentes configurations • validation par une large campagne d'essais menée sur la soufflerie aéroacoustique CEPRA 19 : champ lointain, antennerie champ proche, PIV (Particle Image Velocimetry).



Masquage du bruit de jet sur le champ de pression par la présence de la voilure (codes CEDRE et KIM)

Concevoir des nacelles à traînée réduite et absorbant le bruit

> définition et caractérisation de nacelles laminaires



EFAPS2-FLOWMAPI2

Objectif : • mettre à disposition des industriels des moyens de prévision de la transition et des effets de rugosités leur permettant de définir des nacelles laminaires pour réduire la traînée visqueuse.
Actions de l'Onera : • élaboration d'une base de données en soufflerie de recherche pour établir des critères de conception vis-à-vis des défauts de surface • réalisation d'une simulation elsA avec critère de transition • calcul de couche limite et de stabilité sur une nacelle avec manchon laminaire.

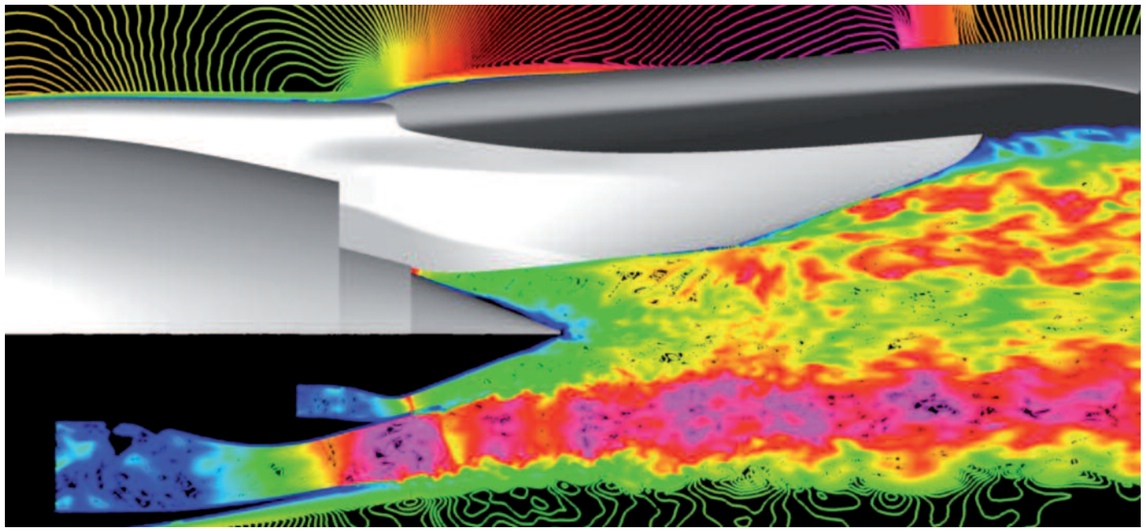
Détermination de l'étendue de l'écoulement laminaire sur une nacelle munie d'un manchon

Prévoir les effets d'installation des moteurs sur l'avion

> étude d'architectures d'installations motrices permettant de réduire la traînée et le bruit

EFAPS2-JEDI2

Objectifs : • étudier les interactions jet/mât/voilure d'un avion de transport civil • prévoir le développement des couches de mélange entre les jets primaire et secondaire d'une part et entre le jet secondaire et l'écoulement externe d'autre part • étudier les effets thermiques sur le mât.
Actions de l'Onera : • réalisation d'une base de données détaillée dans la soufflerie S3Ch de Meudon avec mesures thermiques sur le mât et caractérisation du jet à l'aide de mesures optiques de type LDV (Laser Doppler Velocimetry) et PIV (Particle Image Velocimetry) • réalisation d'une simulation numérique instationnaire avec génération de turbulence amont cohérente avec les mesures de la base de données.



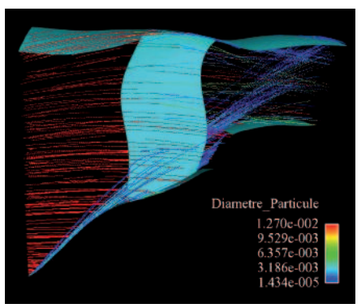
Simulation ZDES de l'interaction installation motrice voilure avec génération de turbulence amont dans le jet (réalisée avec le code elsA)

La sécurité une exigence incontournable

La volonté de garantir le plus haut niveau de sécurité dans le transport aérien et le durcissement des réglementations mobilisent les motoristes autour d'un enjeu : réduire toujours davantage les risques d'accidents. L'Onera contribue par ses recherches à relever ce défi, l'objectif étant d'assurer l'opérabilité du moteur dans tout son domaine de vol.

Concevoir des moteurs prenant en compte les contraintes de l'environnement de vol

> études sur l'ingestion (grêle, eau, cendres, volatiles) et le givrage



Vitesse/granulométrie de grêle sur une aube fan

SIMICE

Objectif : • développer un modèle statistique capable par l'étude expérimentale de simuler l'impact de particules de grêle sur une paroi solide (critère de fragmentation, taille et vitesse moyenne des fragments...).
Actions de l'Onera : • développement du modèle • intégration dans le code CEDRE pour le calcul de l'ingestion de grêle dans le circuit primaire d'un turboréacteur.

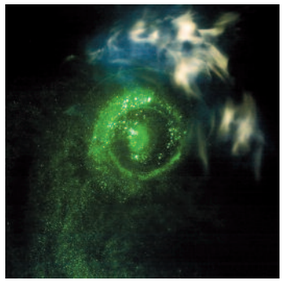
GIVRAGE

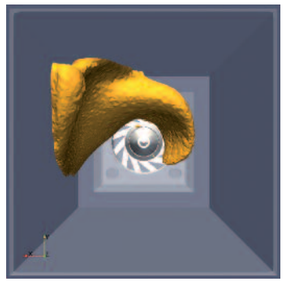
Fort de son expérience et avec le soutien des industriels, l'Onera a l'ambition de devenir le référent sur la problématique du givrage, tant au niveau national qu'européen. Pour cela, un réseau regroupant la plupart des acteurs majeurs du secteur aéronautique en France a été créé fin 2011, au sein duquel l'Onera pilote les questions relatives à la modélisation et aux outils numériques pour le givrage.

> études numériques sur l'impact de la foudre, recommandations pour la protection contre l'effet des courants induits

Assurer le rallumage du moteur en vol à haute altitude

> études numériques et expérimentales sur le rallumage





ÉTUDES SUR UN FOYER DE TURBOMACHINE

Objectif : • développer des outils permettant de prévoir de la façon la plus fiable possible les performances d'allumage d'un prototype de turboréacteur.
Actions de l'Onera : • constitution d'une base de données expérimentales • validation d'une stratégie de test d'allumage d'une chambre complète à partir d'essais sur un secteur de chambre multi-injecteurs sur le banc Mercato • mise en place et validation d'un outil de prévision de la probabilité d'allumage • réalisation de simulations instationnaires tridimensionnelles à l'aide du code CEDRE.

Comparaison d'une visualisation d'allumage au banc Mercato (tomographie laser) et d'une simulation RANS (code CEDRE)

Limiter l'impact de flamme sur la structure du moteur

> études sur la résistance des pièces du moteur exposées à un incendie

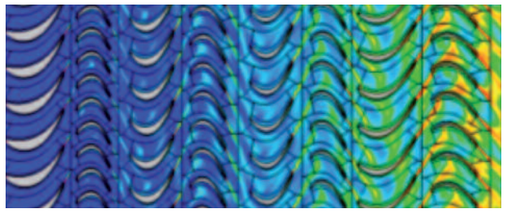
Maîtriser et limiter le comportement vibratoire et aéroélastique des parties tournantes du moteur

> modélisation d'effets technologiques pour l'aéroélasticité des turbomachines et essais de vibrations

AEROVISTA

Objectifs : • améliorer la prédiction en vibration des roues aubagées (fan, hélice, rouet, compresseur et turbine multi-étages) • consolider les bases de données expérimentales • acquérir des éléments de compréhension sur les phénomènes de vibration non synchrone.
Actions de l'Onera : • modélisation des effets technologiques de l'aéroélasticité des turbomachines • développement d'une méthode d'étude pour l'aéroélasticité en couplage • développement d'un modèle numérique pour étudier la dynamique des structures soumises à de grands déplacements.

Champ de pression multi-chorochronique en multi-étages sur configuration CFM56 (réalisé avec le code elsA)



Développer aujourd'hui les technologies de demain

Une amélioration des technologies actuelles ne suffira pas pour réduire de façon significative la consommation de carburant des moteurs. Il est donc nécessaire d'envisager des ruptures technologiques. L'Onera s'engage dans cette démarche aux côtés des industriels.

S'affranchir des matériaux rares

> études pour la mise au point de matériaux alternatifs respectant notamment la réglementation environnementale

Anticiper la diminution des ressources naturelles disponibles (carburants)

> études de caractérisation et comportement physico-chimique des carburants de synthèse (mélange à base de kérosène)

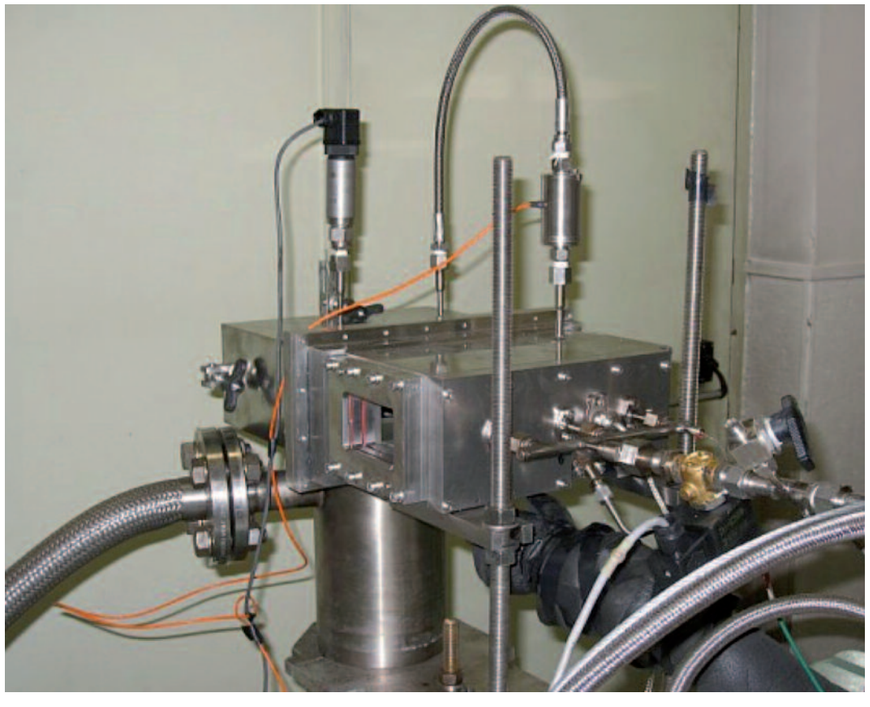
SWAFEA

Objectif : • déterminer la faisabilité du déploiement de carburants alternatifs (dont biocarburants) et leur impact pour le secteur aéronautique, tant sous l'aspect technique qu'environnemental et économique.
Actions de l'Onera : • coordination de ce projet européen • caractérisation du comportement des carburants (compatibilité avec les métaux, stabilité à l'oxydation, etc.) • mesure au banc M1 des émissions générées par les carburants alternatifs • contribution à l'étude de l'impact atmosphérique des carburants alternatifs • analyse des impacts environnementaux (en particulier : critères de durabilité et analyse des ressources).

> études sur la compatibilité des carburants de synthèse avec les systèmes d'injection actuels et futurs

ALPHA-BIRD

Objectifs : • développer l'usage de carburants alternatifs pour l'aéronautique et identifier les bons candidats • évaluer leurs performances environnementales et économiques • ouvrir la voie vers un usage industriel du carburant retenu.
Actions de l'Onera : • réalisation d'essais de stabilité thermique, de vieillissement et de compatibilité matériaux pour différents carburants alternatifs • essais et simulations pour étudier l'atomisation et l'évaporation des carburants dans des conditions proches d'un foyer aéronautique et leur réallumage en conditions critiques.



Banc Mercato dédié à l'étude de l'allumage de brouillards de kérosène ou de carburants

Concevoir les architectures moteurs du futur

> études sur le CROR (Contra-Rotative Open-Rotor) pour les aspects aérodynamiques, aéroélastiques et aéroacoustiques

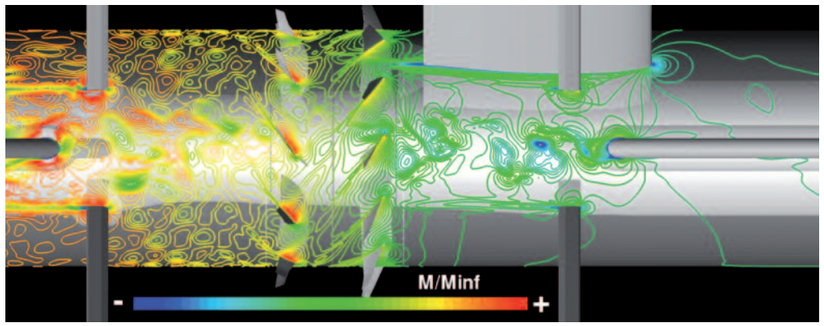
HERA

HERA est un banc d'essais de performances aérodynamiques et acoustiques conçu avec Snecma entre 2009 et 2011. Il est destiné aux applications CROR et est utilisé à la soufflerie S1 de Modane.

DREAM

Objectif : • concevoir, intégrer et valider de nouveaux concepts de propulsion sur la base d'une architecture CROR afin de réduire la consommation en carburant et les émissions de CO_2 de 7 % au-delà des objectifs fixés par l'ACARE 2020 • réduire les émissions sonores.

Actions de l'Onera : • mise en œuvre de méthodes de calcul aérodynamique, acoustique et dynamique pour les CROR • réalisation de simulations numériques pour la finalité aéro-acoustique du CROR installé sur un banc basse vitesse (Tsagi, Russie).



Interactions des hélices avec les multiples sillages instationnaires (réalisé avec le code elsA)

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Toujours avec une longueur d'avance scientifique et technique, l'ONERA investit dans la recherche exploratoire et crée l'innovation. Il prépare les technologies de défense qui anticiperont et provoqueront la surprise stratégique et tactique. Il est acteur des technologies clés pour l'aviation civile de demain : moins de kérosène, moins de bruit, plus de sécurité.

L'ONERA rassemble les talents de 2000 personnes associant les métiers en énergétique, aérodynamique, matériaux et structures, électromagnétisme, optique, physique de l'instrumentation, environnement atmosphérique et spatial, systèmes complexes et embarqués, traitement de l'information et prospective.

L'ONERA est le premier pôle de compétences en Europe pour les souffleries aéronautiques.

Orienté résultats, l'ONERA conduit ses recherches en mode projet avec rigueur, excellence scientifique, expertise impartiale et confidentialité. 2/3 sont sur contrats commerciaux avec des contraintes de délais et de concurrence. Son budget est de 244 millions d'euros, dont 26 millions sont investis pour maintenir ses infrastructures au meilleur niveau.

L'ONERA est le partenaire des agences publiques et de l'industrie.

Contact

Direction Commerciale et Valorisation

Tél. : +33 1 80 38 67 51

contact@onera.fr

www.onera.fr

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

retour sur innovation

ONERA - Direction de la Communication • Décembre 2012 • Crédits images : ONERA, Snecma, Turbomeca