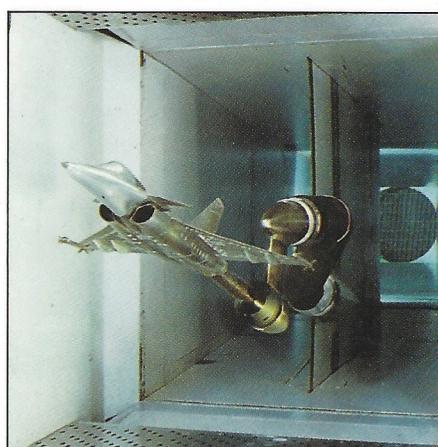
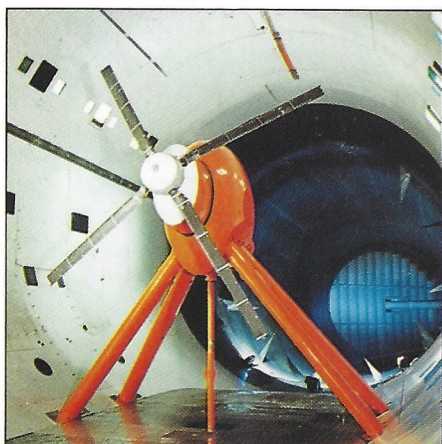
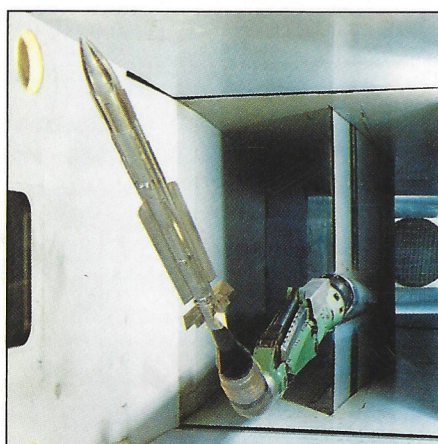


LES ESSAIS

Numéro spécial
hiver 93-94

POURQUOI DES ESSAIS EN SOUFFLERIES ?

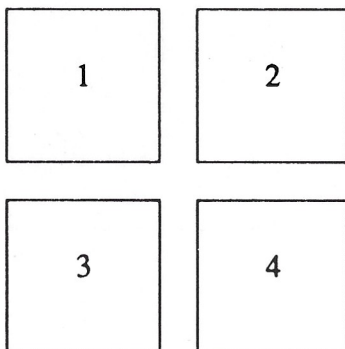


OFFICE NATIONAL D'ÉTUDES ET DE RECHERCHES AÉROSPATIALES

DIRECTION DES GRANDS MOYENS D'ESSAIS

CENTRE DE MODANE-AVRIEUX

Photos de couverture



- 1 : Maquette de AIRBUS A340 dans la soufflerie S1MA (ONERA M902360)
- 2 : Maquette du Rafale dans la veine supersonique de S2MA (ONERA M891688)
- 3 : Essais de rotor dans la soufflerie S1MA (ONERA M870080)
- 4 : Maquette du Mica dans la veine supersonique de S2MA (ONERA M902619)

EDITORIAL



M. G. Dorey, Directeur des
Grands Moyens d'Essais

"Les Essais", journal du centre de Modane-Avrieux, préparé sous la direction de Claude Armand, Chef du département Essais, est avec "Contacts", organe du Comité d'Etablissement, l'un des deux bulletins locaux d'information des personnels du CMA.

Articles sur les difficultés et les succès rencontrés en essais, sur les arrivées et les départs, sur des techniques nouvelles ou de nouveaux équipements concourent à l'information et à la cohésion, non seulement des personnels du centre, mais aussi de leurs collègues de la Direction des Grands Moyens d'Essais, au centre du Fauga-Mauzac et à Châtillon.

Aujourd'hui ce numéro spécial qui a choisi de répondre à la question "Pourquoi des essais en soufflerie ?" s'adresse à un public plus large et donne la parole à nos plus grands constructeurs aéronautiques.

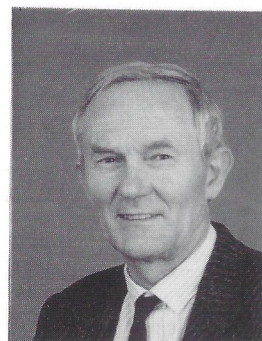
Mais dira-t-on, poser aujourd'hui la question "Pourquoi des essais en soufflerie ?" alors que les souffleries de Modane et du Fauga ont contribué au succès de grands programmes aéronautiques et spatiaux français et européens, les Airbus, ATR, Falcon, Mirage, Rafale, hélicoptères, missiles, Ariane n'est-ce pas le signe d'une crainte sourde pour l'avenir chez ceux dont les essais en soufflerie remplis-

sent la vie professionnelle et souvent, une bonne partie de la vie tout court ? Certes la crise actuelle, l'absence de nouveaux programmes, la baisse des plans de charge survenant après des années fastes, créent une inquiétude renforcée parfois par des commentaires entendus sur les conséquences que pourraient avoir, sur l'utilisation des souffleries, les formidables avancées du calcul.

Mais ce numéro spécial veut surtout manifester la confiance du CMA dans l'avenir, dans l'avenir de l'aéronautique et celui des souffleries qui, aujourd'hui encore semblent indissociables, et exprimer la conviction que, comme par le passé, essais en souffleries et calculs, avec de nécessaires adaptations, continueront de s'épauler pour faire face à une compétition toujours plus âpre.

La France, l'Allemagne, la Grande-Bretagne et les Pays-Bas ne partageaient-ils pas cette même conviction, sur le long terme, lorsqu'ils ont décidé, en 1988, d'unir leurs efforts pour créer la Soufflerie Transsonique Européenne ? Et les Etats-Unis songeraient-ils à investir un budget de plus de deux milliards de dollars dans la création de nouvelles très grandes souffleries s'ils n'étaient pas convaincus de leur nécessité pour le maintien de leur leadership ?

POURQUOI DES ESSAIS EN SOUFFLERIES ?



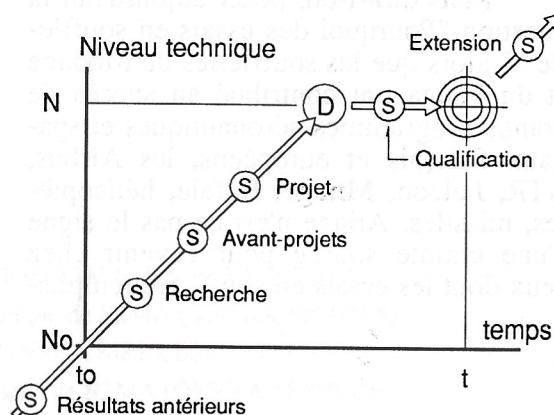
M. C. Armand, Chef du
Département Essais au
Centre de Modane-Avrieux

Pour répondre à la question "Pourquoi des essais en souffleries ?" il faut d'abord avoir présent à l'esprit que ces essais font partie du développement des grands projets aéronautiques et spatiaux. Ces projets sont développés dans un domaine d'adversité ou de concurrence dans lequel la réussite ne peut être considérée comme atteinte que si la réalisation du projet a donné un avantage déterminant à ceux qui l'ont conduit. S'il s'agit, par exemple, de créer un nouveau système de défense aérienne celui-ci devra pouvoir surclasser ceux des adversaires potentiels; s'il s'agit de capter 30 % du marché des gros porteurs ou 50 % des lancements spatiaux commerciaux, ces objectifs ne seront atteints que si les avions et les lanceurs produits sont meilleurs que ceux des concurrents. L'ampleur de ces projets, la durée de leur développement, l'importance de leurs conséquences font qu'on doit les considérer comme des projets d'intérêt stratégique dans les domaines civils et militaires. Leur réussite conditionne la sécurité du pays, le maintien de la France dans le groupe des nations techniquement compétentes, l'équilibre de la balance des paiements, l'emploi dans un secteur à forte technicité. Leur réussite est une nécessité économique et sociale. A titre d'exemple les ventes des Airbus ont rapporté 13 milliards de francs par an à la France au début des années 90.

Mais, pour obtenir un avantage déterminant, il faut que le produit de ce projet soit meilleur que tout ce qui existe au moment de sa production. Il faut donc inclure une part suffisante d'innovation et, de ce fait, il faut prendre des risques. Ces risques sont d'abord techniques, car il n'est pas sûr que tous les problèmes pourront être résolus, et ils sont aussi finan-

ciers, car les développements des techniques de pointe demandent des investissements importants. A titre d'exemple, le coût des études et de fabrication des prototypes pour un avion d'arme moderne est de l'ordre de 30 milliards de francs. Il faut donc prendre des risques mais il faut réussir et, dans cette situation, l'idéal serait de pouvoir disposer d'un moyen qui permettrait de mettre à l'épreuve le projet **avant** qu'il soit réalisé. Dans le domaine de l'aérodynamique, ce moyen existe : c'est la soufflerie.

Pour illustrer cette affirmation, le graphique ci dessous donne une représentation très simplifiée du développement d'un projet et de l'intervention des essais en souffleries. On a porté le temps en abscisse et le niveau technique en ordonnée. Au moment " t_0 " où le projet est lancé, le niveau N_0 est le meilleur niveau technique disponible et le projet vise un niveau N , au dessus de tout ce qui a été réalisé jusque là, qui devra être atteint dans un délai donné, au temps " t ". Sur la ligne qui représente le développement du projet au cours du temps, les lettres "S" marquent les interventions des essais en souffleries.



Pour commencer de nouvelles études, les constructeurs utilisent leurs bases de données qui contiennent les résultats des essais en souffleries antérieurs, corrélés avec les résultats des essais en vol. Les projets très novateurs peuvent conduire à effectuer des recherches de base sur les phénomènes qui ne sont pas assez bien connus car, bien que des avions volent depuis un siècle, il existe toujours des domaines dans lesquels la connaissance n'est pas assez solide pour servir d'appui à un projet industriel. Les essais sont ensuite utilisés pour comparer des solutions, choisir la meilleure, écarter les solutions inadaptées. C'est sur la base de ces résultats que seront prises les décisions et, surtout la décision essentielle, celle de lancer en fabrication. Des essais très systématiques sont alors effectués sur la solution retenue, pour en définir toutes les caractéristiques, avant que le futur appareil ait volé, en particulier les limites de vol. Il faut insister sur ce point : les appareils de transport civils sont vendus avec des consommations garanties avant que le premier appareil soit sorti du hangar; les équipages d'essais des avions à commandes électriques, civils et militaires, s'entraînent à piloter les appareils sur des simulateurs avant le premier vol. Dans les deux cas ce sont les données issues des essais en souffleries qui sont utilisées pour ces prévisions et ces simulations et l'on ne peut pas comprendre pourquoi les appareils modernes atteignent des performances très élevées dès leur premier vol si l'on ne sait pas que ces performances ont été préparées à partir des essais dans les souffleries. Enfin, après que les premiers avions aient été livrés, les essais peuvent continuer, essentiellement dans le cas des avions d'arme où les charges transportées évoluent en fonction des missions.

Mais, dira-t-on, si les essais en souffleries sont aussi importants, d'où vient qu'ils soient si peu connus ? Il y a à cela plusieurs raisons. Tout d'abord les essais sont réalisés sur des périodes très longues (voir encart) et, lorsque l'avion vole pour la première fois, ces essais sont terminés depuis longtemps. Une autre raison est que ces essais sont très volumineux, très minutieux et se prêtent mal à la communication spectaculaire. Enfin et surtout, comme les résultats des essais tirent à

conséquence, puisque c'est à partir d'eux qu'on définira les solutions du futur, ces résultats ne sont pas publics et ne sont pas publiés. Garder ces résultats confidentiels est d'ailleurs un élément de garantie du succès.

Mais, s'il fallait donner une indication globale sur le rôle des souffleries, on ferait remarquer qu'aujourd'hui, quand une nouvelle nation entre dans le groupe des pays aéronautiques, elle marque son appartenance à ce groupe en construisant une soufflerie ; c'est à la fois une manifestation politique et une nécessité technique.

Comme le lecteur pourrait juger cette présentation tendancieuse, puisque celui qui l'écrit met lui-même en œuvre des souffleries, il a semblé que, pour répondre à la question "Pourquoi des souffleries ?", le mieux était d'avoir les avis des constructeurs qui en sont les utilisateurs les plus réguliers. Ces témoignages constituent en fait l'essentiel de ce numéro spécial. Après l'éditorial de M. Dorey, Directeur des Grands Moyens d'Essais au sein de l'ONERA, on trouvera donc des exposés de responsables très qualifiés de l'Aérospatiale-Avions, l'Aérospatiale-Missiles, Dassault-Aviation et Matra-Défense (cet ordre est celui de l'alphabet). Enfin les Chefs des centres d'essais de l'ONERA, à Modane-Avrieux, en Savoie, et au Fauga-Mauzac, près de Toulouse, ont regroupé les caractéristiques essentielles des moyens dont ils ont la responsabilité et qu'ils mettent à la disposition des constructeurs pour répondre à leurs besoins.

Durées de développement dans les souffleries du CMA.

Airbus A 340 : 5 ans.

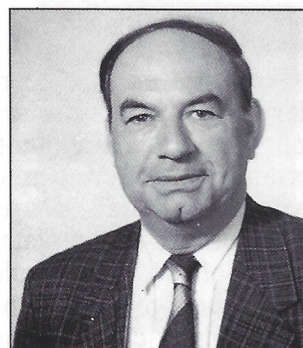
Rafale : 14 ans.

Volumes des essais.

Airbus A340 : 79 campagnes d'essais; 9000 cas d'expérience.

Rafale : 27 campagnes d'essais, 73 millions de cas d'essais, 4,5 milliards d'informations pour les entrées d'air, 4500 cas d'expérience pour définir les performances de la formule finale.

AEROSPATIALE AVIONS



M. Claude Pelagatti
Chef du département
Aérodynamique et Qualités de vol

LE RÔLE DES SOUFFLERIES DANS LA CONCEPTION DES AVIONS FUTURS

Si l'on se tourne vers le passé, on ne peut que constater l'évolution considérable des moyens à la disposition du concepteur.

D'abord basées sur un certain empirisme fondé sur l'expérimentation en vol, les capacités d'optimisation des configurations des aéroplanes ont pu progresser grâce à l'apparition de souffleries de plus en plus performantes : il est devenu possible d'établir des modèles prévisionnels et de réaliser des études paramétriques à moindre coût et sans danger...

Une évolution plus récente est liée à l'explosion des moyens de calcul, qui rend aujourd'hui possible la résolution numérique de systèmes d'équations d'une taille assez impressionnante.

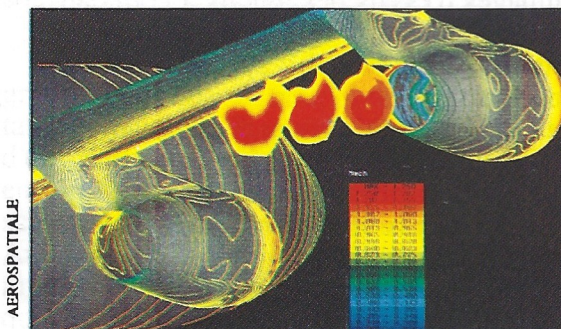
Ces progrès considérables, ont toutefois mis en lumière la difficulté à modéliser de façon fine certains phénomènes physiques complexes, comme on en rencontre dans le domaine de la mécanique des fluides. Ce constat, qui peut s'appliquer aujourd'hui, je crois, à un grand nombre de domaines, ne peut qu'inciter l'expert à une certaine prudence.

La soufflerie demeure donc aujourd'hui un moyen de simulation, dont la finesse, notamment en matière de traînée, l'emporte encore généralement sur la simulation par calcul dans le cas d'écoulements ou de configurations très complexes : tels ceux, par exemple, aux bornes du domaine d'utilisation de l'avion, ou ceux de configurations motori-

sées allant à la fois complexité des formes et complexité des écoulements (zones de mélanges dues aux jets moteurs).

On peut alors se poser les deux questions suivantes :

1) Ne peut-on imaginer que, dans la lignée des progrès déjà réalisés, il deviendra bientôt possible d'atteindre la même qualité de simulation par le calcul que par la soufflerie ?



Sillage d'une nacelle. Résultats de calcul

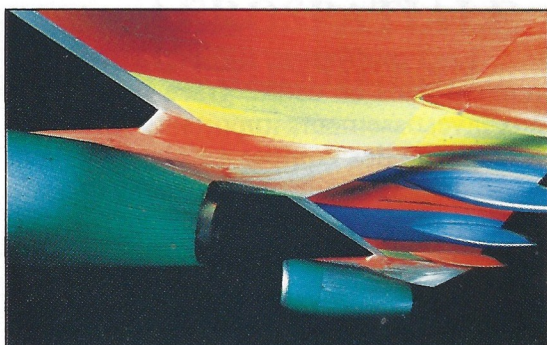
Je crois qu'il y aura encore des progrès très significatifs qui seront accomplis dans ce domaine, mais qu'il convient de s'interroger sur les axes à privilégier et leurs échéances :

- l'amélioration des codes actuels pour les rendre capables de traiter de façon satisfaisante et complète (calcul de la traînée notamment) les problèmes complexes évoqués ci-dessus, au prix de difficultés et de coûts de mise en œuvre vraisemblablement accrus : l'échéance possible pour un tel objectif ne paraît pas très proche en tout état de cause, et le prix à payer n'est pas évident non plus.

Il me semble donc aujourd'hui plutôt préférable de privilégier le second axe, en s'appuyant sur la synergie évoquée ci-dessus, au moins pour le court et moyen terme.

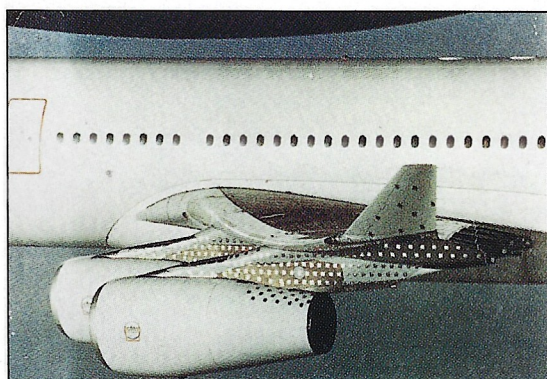
2) Le meilleur moyen de validation des codes numériques et de mise au point n'est-il pas l'essai en vol ?

ONERA M 8907/05/17



Visualisation dans la soufflerie S1MA de l'écoulement sur l'aile et les nacelles de l'A340

AEROSPATIALE



Vérification de la similarité des écoulements entre le vol et la soufflerie par la technique des "fils de laine"

Des progrès considérables ont été réalisés tant en ce qui concerne le nombre et la finesse des mesures, que le traitement de ces dernières (mise sur pied, par exemple, de moyens de télémessure très performants).

Toutefois, outre le coût, il convient de rappeler les difficultés fondamentales que l'on rencontre lors de ces essais, pour :

- obtenir des évaluations précises de certaines grandeurs aérodynamiques, faute d'une mesure directe,
- maîtriser parfaitement les conditions et la configuration de l'essai.

Pour illustrer le premier point, je citerai les efforts aérodynamiques globaux, notamment la traînée, qui peuvent être mesurés directement en soufflerie et auxquels on n'a accès en vol qu'au travers de mesures locales ou indirectes, et de méthodologies délicates à mettre en œuvre et contrôler.

Pour illustrer le deuxième point, je citerai par exemple :

- les conditions atmosphériques : un vent ascendant de quelques cm/s, indétectable avec nos moyens actuels, peut par exemple venir perturber significativement la performance mesurée de l'avion ;
- la configuration de l'avion lui-même : les déformations des structures en vol sont plus difficiles à apprécier que celles des maquettes en soufflerie, ces dernières étant généralement beaucoup plus rigides. De même le bon fonctionnement de l'ensemble des joints qui équipent les différents éléments structuraux et qui conditionne la qualité des écoulements, reste difficile à contrôler.

On peut donc concevoir que le recours à des versions prototypes, et la mise au point en vol "ab initio" des solutions retenues pour l'avion de série apparaissent aujourd'hui comme un processus archaïque au plan des coûts, des délais et de la qualité, sans oublier évidemment la sécurité des vols, car :

- l'interprétation des résultats obtenus en vol est parfois délicate, faute d'une connaissance suffisamment précise des conditions et configuration de l'essai ;
- l'analyse fine de certains phénomènes peut donc conduire à des campagnes d'essais particulièrement longues et coûteuses, a fortiori s'il s'agit de rechercher les palliatifs appropriés ;
- des optimisations très poussées en vol sont exclues dans certains domaines, compte-tenu de la précision insuffisante des mesures : seul le contrôle en vol d'une amélioration ou d'un ensemble d'améliorations, dont on escompte un gain significatif, est généralement pratiqué.

En conclusion, la soufflerie demeure aujourd'hui un outil particulièrement efficace pour la validation des résultats du calcul et l'optimisation de configurations, la prévision des modèles, ainsi que l'aide à l'interprétation des résultats du vol : les programmes récents développés dans le cadre Airbus le confirment.

Compte-tenu des perspectives d'évolution des différentes technologies dans les prochaines décennies, on peut juger que se maintiendra l'intérêt économique de souffleries performantes, c'est-à-dire permettant :

- de s'approcher au mieux des caractéristiques du vol (similitude aéro-

dynamique, taille des maquettes, effets de la motorisation, etc.),

- d'analyser finement les phénomènes rencontrés grâce à des moyens de mesures appropriés,
- de conserver des coûts de mise en œuvre raisonnables.

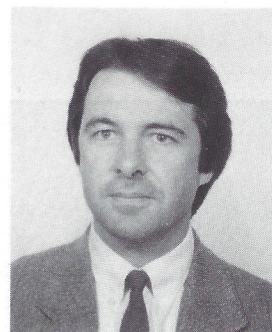
Les souffleries de l'ONERA, qui rentrent dans ce cadre, grâce notamment aux investissements importants réalisés et à la qualité des équipes en place, doivent donc demeurer un atout capital dans la participation de la France à la maîtrise des futurs projets aéronautiques.



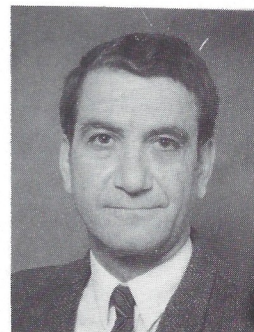
ONERA M 860035

Etude dans la soufflerie S1MA de l'A320 en phase de décollage et d'atterrissage

AEROSPATIALE MISSILES



M. Michel Robert
Adjoint au Chef du Département
Etudes - Conception - Simulations
Activités Système



M. Léon Boyadjian
Chef du Service Aérodynamique
Division Engins Tactiques

DES ESSAIS EN SOUFFLERIE

Le rôle et l'avenir des essais en soufflerie suscitent de nombreuses interrogations depuis une décennie : quelle est leur place entre calculs numériques, dont l'avènement s'annonçait à cette époque, et essais en vol ?

Les calculs numériques ? D'autres diront mieux que nous les besoins qu'ils ont eux-mêmes créés en bases de données expérimentales pour leur validation ! D'un strict point de vue industriel, si l'on se réfère à nos récentes expériences, ils interviennent effectivement de plus en plus dans nos développements : notamment, et

c'en furent les premières applications, lors de la définition des structures de nos missiles, définition qui nécessite des données aérodynamiques fines (répartitions d'efforts par exemple) dont l'obtention en soufflerie serait très coûteuse. Cependant, l'expérimentation reste souvent nécessaire lorsque l'optimisation de la cellule la rend très sensible à ces aspects (conséquences de déformations, risques de couplages aéroélastiques divergents, ...). Citons entre autres la mise au point des phases accélérées de nos anti-missiles ASTER 15 et 30, qui nécessita une étude complète en soufflerie pour en assurer à la fois la rigidité pendant le formage de la trajectoire et la séparation naturelle de l'accélérateur en fin de poussée.



Composite ASTER 30 à S2MA



Développement exploratoire DVF

Les codes de calcul interviennent maintenant dès la phase de conception, lors des premiers dimensionnements de nos missiles, du moins dans le cas de configurations classiques pour lesquelles ils commencent à être validés. Mais les besoins croissants d'efficacité de nos systèmes d'armes conduisent souvent à des technologies ou à des configurations nouvelles, pour lesquelles la soufflerie reste le seul recours fiable dans des délais industriellement acceptables. Ainsi les missiles furtifs, à formes très peu conventionnelles, qui ne doivent leur pilotabilité qu'à leur mise au point expérimentale. Ainsi aussi, le pilotage en force de l'ASTER (pilotage du véhicule terminal par jets latéraux au centre de gravité, dénommé PIF, couplé au PAF, pilotage aérodynamique classique par gouvernes arrière) qui ne trouva son plein rendement que grâce à une optimisation en soufflerie de sa configuration aérodynamique.

Les essais en vol ? La maîtrise des coûts de développement en limite le nombre. Dans ce contexte, la soufflerie

s'impose aussi comme outil de modélisation, face à un double souci : le premier, celui de disposer de modèles aérodynamiques précis et crédibles permettant la définition d'algorithmes de vol sur des bases fiables. Ainsi le pilotage PIF-PAF évoqué ci-dessus, après une identification complète en plusieurs campagnes de soufflerie (gaz froids, gaz réels de poudre) put-il être validé en deux tirs expérimentaux seulement.

D'autres applications du pilotage en force ont également fait l'objet d'essais en soufflerie, dans le cadre des développements du missile antichar courte portée ERYX, aujourd'hui en productions série, et du TRIGAT-MP, antichar moyenne portée.

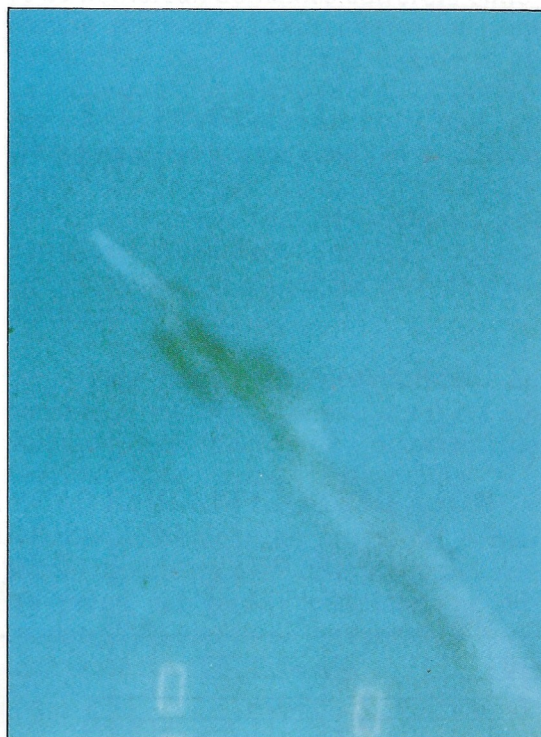
Second souci de la modélisation, qui devient également primordial, celui de crédibiliser les simulations numériques de nos systèmes d'armes aux yeux de nos clients, et par là-même l'estimation de leurs performances.

ONERA M 910444



Pif-Paf ASTER Echelle 0,56 dans la soufflerie S2MA avec simulation des jets

AEROSPATIALE 32981



Développement exploratoire PAM
Observation en vol du pilotage par jets

Les essais en soufflerie restent donc, complémentaires aux calculs numériques, un outil puissant et indispensable de mise au point de tout nouveau projet industriel. Ils s'imposent également comme moyen de modélisation, ne serait-ce que pour la minimisation des coûts de développement face aux essais en vol. Le besoin semble même aller aujourd'hui, au-delà de la simple modélisation, jusqu'à de véritables "essais de synthèse", c'est-à-dire

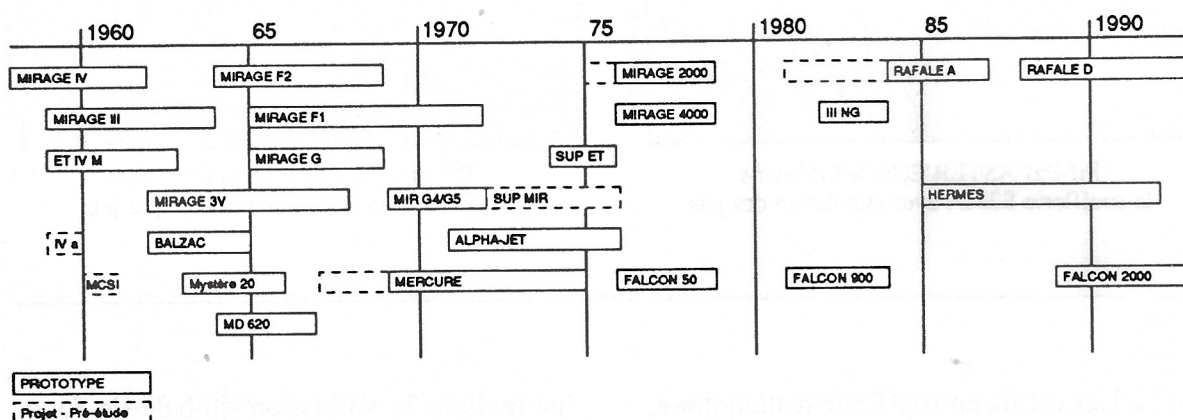
permettant la validation globale de fonctions d'un missile dans des conditions les plus proches du vol (validation d'organes ou de principes de pilotage en "dynamique", de moyens de réduction de signature infrarouge, etc.) ; autant de missions qui nécessiteront non seulement un "maintien en configuration opérationnelle" de moyens et de compétences, mais encore leur développement.

DASSAULT AVIATION



M. Marcel Doulbeau
Chef de Département
Conduite des Essais
Technologiques

ROLE DES SOUFFLERIES DANS LE DEVELOPPEMENT DES AVIONS DE LA SOCIETE DASSAULT



Depuis 1955, les souffleries ont largement été utilisées pour nos projets, nos avions expérimentaux, nos avions d'affaires et plus récemment pour le projet d'avion spatial.

L'élaboration d'une nouvelle configuration aérodynamique ou le développement d'une formule déjà éprouvée se conduit toujours en s'appuyant alternativement sur une base théorique et sur des essais en soufflerie.

Suivant la nature de l'aéronef à étudier les proportions entre l'une et l'autre peuvent varier mais on retrouve toujours les trois phases suivantes :

1) Phase de faisabilité où l'on se contente d'essais sur les points jugés les plus critiques et où l'on balaye assez largement les paramètres qui définissent la future configuration jusqu'à obtenir une première définition. Dans cette phase la

confrontation expérience - calcul est permanente.

2) La phase de définition et d'identification avant le premier vol consiste d'abord à figer définitivement les formes puis à se constituer une base de données qui sera nécessaire d'une part à l'élaboration des logiciels de pilotage des commandes de vol électriques (pour les avions militaires) et d'autre part à la connaissance des charges aérodynamiques pour le dimensionnement des structures.

Cette fois la part expérimentale devient prépondérante compte-tenu du domaine de vol très étendu et des multiples fonctions imposées aux commandes de vol.

A titre indicatif, pour le programme RAFALE D, cette phase a consommé 7600 heures d'essais réparties dans 9 souffleries dont 5 à l'ONERA, entre 1988 et 1993.



Rafale en vol

3) Au-delà de ces deux phases (et surtout pour les avions militaires) une période d'évolution et de modernisation peut s'étendre sur de très longues durées (plus de 15 ans pour le MIRAGE 2000 dont le premier vol a eu lieu en 1978 et dont la dernière version 2000-5 est en cours de développement). Cette phase génère de nombreuses études avec une forte proportion expérimentale. En moyenne les évolutions et modernisations demandent autant d'essais que la phase de définition et d'identification.

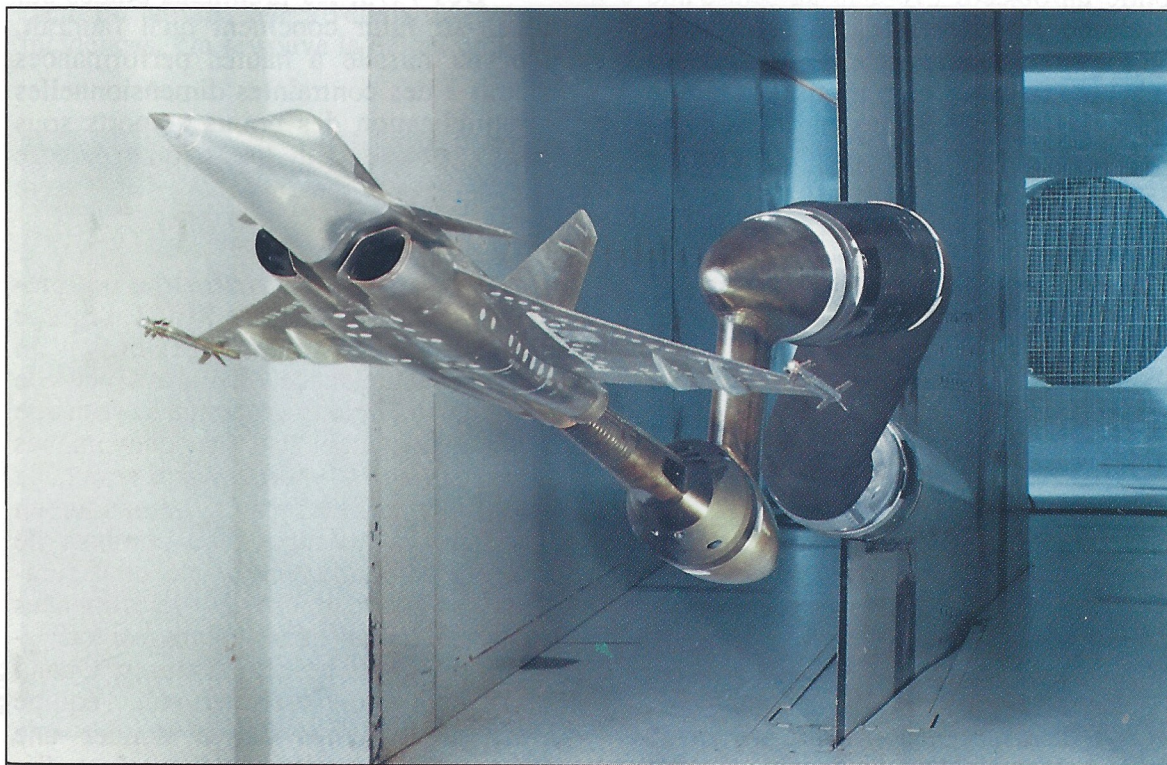
Ces dernières années, les moyens de calcul ont considérablement progressé

et de nombreux domaines autrefois entièrement réservés à l'expérimentation sont aujourd'hui accessibles à la théorie et au calcul numérique. Néanmoins, les performances de plus en plus étendues que l'on attend d'un avion de combat moderne multirôle, ainsi que les exigences de sûreté de fonctionnement des systèmes très complexes conduisent à multiplier les expériences pour diminuer les marges d'incertitudes.

Tant pour nos programmes en cours que pour les avions futurs il est absolument nécessaire de disposer de moyens expérimentaux performants.

L'espacement des programmes majeurs (supérieurs à 10 ans) risque si l'on n'y prend pas garde d'entraîner une dégradation du niveau de performance et de technicité des souffleries.

Pour éviter le morcellement des équipes et la dispersion du savoir, il faudra profiter de la période de sous activité "industrielle" pour mettre en œuvre de nouveaux moyens d'investigations qui seront nécessaires aux futurs démonstrateurs de technologie, étape indispensable à la genèse de nouveaux avions.



Rafale dans la veine supersonique de S2MA

MATRA DEFENSE

Au cours de l'été 1993, un communiqué de la DGA paraît dans la presse nationale ; il signale la nouvelle "capacité multi-cibles" que la France vient d'acquies en réussissant un tir de missile air-air contre un objectif évoluant au sein d'une patrouille manœuvrante. La DGA souligne que ce tir témoigne de l'excellence technique des équipes françaises et fait de la France le premier pays européen capable de réaliser un système d'arme air-air multi-cibles.

Ce qui donne à MICA cette capacité et le distingue de ses prédécesseurs air-air, c'est son autodirecteur et le calculateur de traitement des informations plus à l'aval. Ce qui le distingue encore, ce sont ses progrès dans l'ensemble des disciplines du missile à maîtriser pour atteindre l'excellence.

L'Equipe Aérodynamique de la Société a été étroitement associée au développement qu'elle avait préparé très en amont.

Jusqu'aux années 70, le domaine de vol en incidence des missiles air-air se limite à une vingtaine de degrés ; c'est le domaine à l'intérieur duquel le couple de caractéristiques "aérodynamique-pilote"



M. Albert Lupieri
Chef de Département
Aérodynamique et Thermique



M. Eric Ribadeau Dumas
Chef de Service
Aérodynamique Appliquée

permet un contrôle permanent du missile et l'obtention des performances nécessaires à la réussite d'une interception de cible manœuvrante.

Dès 1975, les premières études sur un air-air futur concluent qu'il faudrait, pour un missile à hautes performances soumis à des contraintes dimensionnelles - multiplication des points emports sous avion - dépasser cette limitation et étendre le domaine d'incidence à 45°, voire davantage.

Pendant les dix années qui ont précédé le développement de MICA, l'équipe Aérodynamique a préparé l'extension du domaine d'incidence. En l'absence de résultats antérieurs couvrant le domaine de connaissances sur des phénomènes aérodynamiques vraiment nouveaux, le travail s'est fait de façon systématique en soufflerie en testant à tous nombres de Mach une grande variété de configurations aérodynamiques, sélectionnées progressivement quand leurs caractéristiques se révélaient prometteuses. Quand le développement est intervenu, l'équipe avait eu le temps de se donner une compétence "grandes incidences" et disposait de suffisamment d'informations pour éviter les tâtonnements.

Etait-il possible de procéder différemment et choisirions-nous aujourd'hui une autre approche ? Nous ne le pensons pas. Il est nécessaire d'avoir une grande somme de résultats pour identifier correctement la nature des difficultés à résoudre qui sont propres à l'aérodynamique des "grandes incidences". Il faut ensuite atteindre la "capacité prédictive" : être en mesure de proposer une configuration pour un besoin donné avec une prédiction correcte de ses principales caractéristiques. Les essais en vol ne sont pas assez riches en retombées aérodynamiques pour répondre au besoin. Ils sont de plus onéreux et donc limités en nombre. La puissance des moyens informatiques utilisés pour la simulation numérique doit encore gagner quelques ordres de grandeur avant de pouvoir mettre en œuvre systématiquement la "Soufflerie Numérique". La soufflerie reste l'outil de base pour l'étude aérodynamique des missiles.

Nous insisterons sur le fait que pour réussir un tir pendant l'été 93, dès 1975 étaient engagées des études aérodynamiques fondamentales dans différentes souffleries françaises.

Cet exemple illustre la forte participation des souffleries dans le développement du MICA, liée à l'étude des hautes incidences. On retrouve la même implica-

tion dans la préparation des développements des autres missiles MATRA, comme le MISTRAL ou APACHE. L'optimisation aérodynamique est alors centrée sur d'autres thèmes liés à la mission propre de chaque missile.



ONERA M 902619

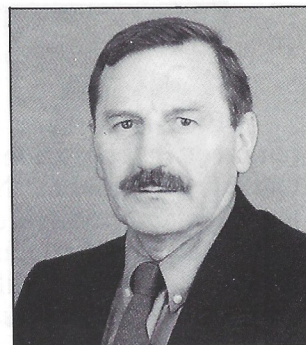
Mica dans la veine supersonique de S2MA



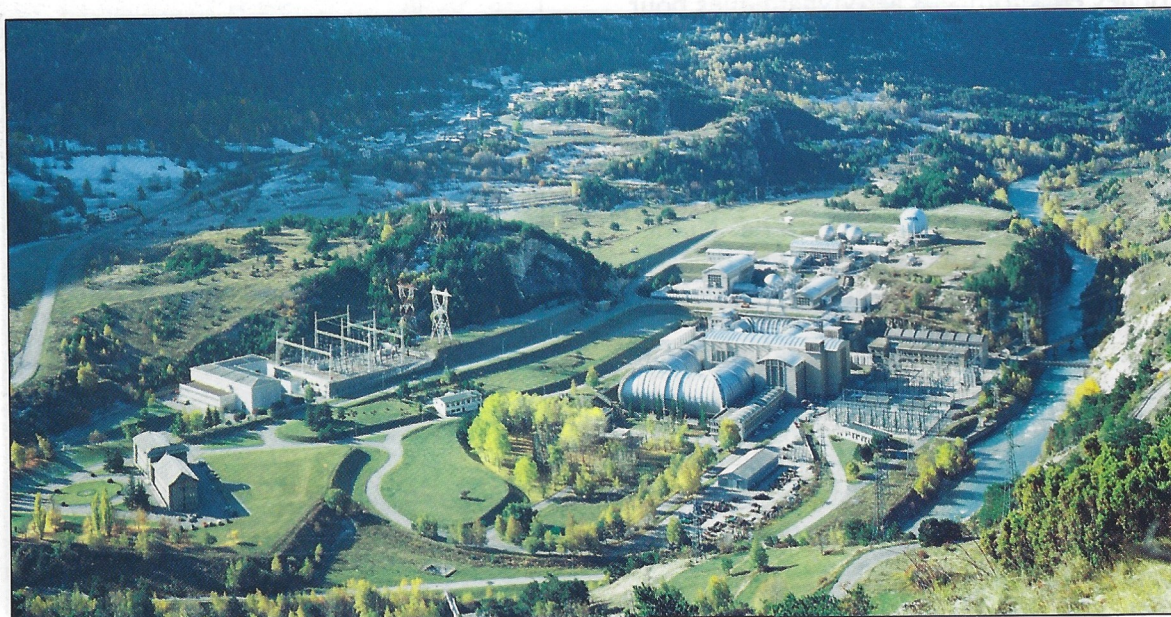
MATRA

Tir en vol du MICA

LE CENTRE DE MODANE-AVRIEUX



M. J. Laverrière, Chef du Centre
de Modane-Avrieux



ONERA M 930668

Le Centre de Modane-Avrieux

L'Office National d'Etudes et de Recherches Aérospatiales (O.N.E.R.A.) est un établissement public à caractère industriel et commercial doté de l'autonomie financière. Il regroupe 2 300 personnes environ. La direction des Grands Moyens d'Essais (GME) est une des huit directions opérationnelles de l'Office ; sa mission consiste à mettre en œuvre les moyens d'essais et à développer les méthodes expérimentales, de façon à répondre aux demandes d'expérimentation nécessaires aux industriels et aux équipes de recherche du domaine aérospatial. Cette direction dispose pour cela du centre du Fauga-Mauzac (CFM) et du centre de Modane-Avrieux (CMA).

Le site d'Avrieux a été choisi pour l'énorme potentiel d'énergie hydraulique disponible ; les conduites d'eau gérées par EDF drainent autour du centre une puissance considérable de 500 000 kW. Dès sa conception le centre a été relié à une

conduite forcée délivrant 15 m³/s avec 800 m de dénivellation, alimentant directement des turbines hydrauliques (la soufflerie S1MA à plein régime exige 90 000 kW). Cette disposition s'est révélée extrêmement judicieuse car procurant une totale disponibilité et une grande souplesse d'utilisation.

La soufflerie continue S1MA, construite de 1948 à 1952, est encore aujourd'hui la plus grande soufflerie sonique du monde, offrant une veine d'essai de 8 mètres de diamètre. C'est là un atout très important car l'utilisation de maquettes de grandes dimensions, outre qu'elle entraîne une meilleure satisfaction de la condition de Reynolds, permet la mise en place de nombreux équipements de mesures : une maquette peut ainsi être l'objet de mesures simultanées d'efforts sur plusieurs éléments (effort global, pesée de dérive, volets, nacelles) de mesures de nombreuses pressions (jusqu'à 1000 prises

de pression sur une voilure), de détection de nature de couche limite par films chauds, de mesures de déformation, etc. Certaines expérimentations ne sont d'ailleurs possibles qu'avec des maquettes de grandes dimensions comme par exemple les essais d'hélices transsoniques ou le relevé de signature infra-rouge de missiles qui doivent être alors essayés à échelle grandeur avec fonctionnement du moteur réel.

La soufflerie continue S2MA, opérationnelle depuis 1961, possède deux veines d'essais interchangeables (1,8x1,8 m² environ) l'une couvrant le domaine de Mach de 0,15 à 1,3, l'autre le domaine de 1,5 à 3,1. Elle est très utilisée pour les évaluations de projets d'avion. Elle est bien adaptée pour les essais d'entrée d'air pour lesquels un système d'acquisition de pressions instationnaires (jusqu'à 56 voies scrutées à 17 kHz) permet le relevé des distorsions de l'écoulement interne. Un dispositif automatique de simulation des trajectoires des charges larguées ou tirées depuis un avion est en service depuis plusieurs années (un dispositif analogue, mais à la taille de la soufflerie, sera mis en service à S1MA courant 1994).

La soufflerie S3MA (1959) a plusieurs veines d'essais interchangeables (0,8x0,8 m² environ) couvrant un domaine de Mach jusqu'à $M = 5,5$. La pression génératrice peut atteindre 7 bar. Une de ces veines est déformable et couvre la totalité du domaine de $M = 1,65$ à $M = 3,8$. Cette soufflerie est bien adaptée pour les essais d'engins et missiles. Des essais particuliers peuvent y être effectués : largages, érosion de radomes par la pluie, etc.

La soufflerie à rafales S4MA (1970) possède trois tuyères : Mach 6 (section de sortie 0,6 m) 10 et 12 (section de sortie : 1 m). La pression génératrice peut atteindre 150 bar et la température génératrice 1850 K. C'est la soufflerie hypersonique la plus importante d'Europe ; elle a été choisie comme soufflerie de référence par un comité d'experts européens, au démarrage du programme HERMES.

A côté de ces grandes installations, 3 bancs d'essais plus spécifiques furent construits :

- le caisson d'altitude S4B en 1964,
- les bancs de dynalpie BD1, en 1967 et BD2, en 1975, pour l'étude des jets des réacteurs et la mesure de leur poussée,
- la soufflerie de grille d'aubes (R4-3), en 1977, pour l'étude des aubes de compresseur.

Au fil des années, ces diverses installations ont été l'objet d'améliorations ; le grand nombre de mesures effectuées à grande cadence nécessite la mise en place des chaînes de mesures performantes prolongées par un système informatique puissant (35 millions d'instructions par seconde). La mise en place de cette puissance de calcul a été guidée par le souci de fournir en temps réel au client les résultats nécessaires à la qualification d'un essai. A titre d'exemple, dans une campagne d'identification du RAFALE, 1600 courbes de résultats étaient produites chaque jour, dont 500 étaient tracées sur écran immédiatement après l'acquisition des points de mesure ; l'ingénieur responsable pouvait ainsi prendre immédiatement les décisions adéquates quant à la suite à donner aux essais.

Tous ces éléments font du Centre de Modane-Avrieux, un établissement mondialement connu, tant par l'importance de ses installations que par le haut niveau technique de ses procédures d'essais.

Bien entendu, le Centre a dû s'adapter aux diverses demandes de la clientèle. Des dispositifs d'essais particuliers ont été progressivement mis en place pour offrir une large gamme d'expérimentation. Certains essais ont pu être supplantés par le calcul, mais les précisions toujours plus grandes dont la clientèle a besoin, rendent toujours nécessaires, et pour longtemps encore, le passage en soufflerie et singulièrement dans les souffleries de grandes dimensions comme celles du Centre, capables des précisions demandées. Pouvoir optimiser les formes, déduire des essais les lois de pilotage, réaliser dès le premier vol une très large ouverture du domaine comme c'est maintenant le cas, sont des atouts pour faire face à la formidable concurrence qui règne dans l'aéronautique. Le Centre de Modane concourt à la réalisation de ces objectifs ; tous les grands projets aéronautiques français et européens ont été essayés au centre de Modane, étape ultime avant le vol du prototype.

LE CENTRE DU FAUGA-MAUZAC



M. Carrara, Chef du Centre
du Fauga-Mauzac

L'installation de l'ONERA dans la région toulousaine s'est faite au début des années 1970, dans le cadre d'une restructuration du secteur aérospace français donnant à Toulouse les atouts pour jouer les premiers rôles au plan européen.

Le Centre du Fauga-Mauzac dispose d'une réserve foncière importante (165 hectares) remarquablement située à 35 km au sud de Toulouse avec accès direct à l'autoroute A64 Toulouse-Bayonne. Il est ainsi appelé à recevoir de nouveaux grands moyens d'essais et à prendre une part croissante aux recherches de l'ONERA notamment dans les domaines de l'Aérodynamique et de la Propulsion.

Il comprend actuellement deux pôles d'activité, les moyens d'essais aérodynamiques (souffleries F1, F2 et F4) et le laboratoire d'étude de la propulsion.

La grande soufflerie subsonique pressurisée F1 construite dès l'origine du Centre est destinée à l'étude des caractéristiques aérodynamiques des avions dans les phases d'envol et d'atterrissage. Elle est entrée en service à la fin de 1977. Cette installation bénéficie d'une parfaite synergie avec la grande soufflerie sonique S1MA. Les mêmes maquettes sont en effet utilisées dans ces deux installations offrant chacune dans leur domaine les meilleures conditions d'essais du marché.

La conception moderne de F1, synthèse de la réflexion de l'ONERA sur les besoins et les caractéristiques d'une soufflerie à vocation industrielle, en fait un outil particulièrement performant, connu et reconnu par l'ensemble de la collectivité aéronautique mondiale. Elle a été classée "tête de série" par la NASA dans sa catégorie.

La soufflerie F2 est un peu plus récente, elle fonctionne depuis juillet 1983. Cette installation a été réalisée pour satisfaire les besoins de recherche expérimentale de l'Office dans le domaine de l'Aérodynamique.

Son activité se partage entre les demandes de la Direction de l'Aérodynamique (OA) et celles du département d'aérodynamique du CERT (Centre d'Etudes et de Recherches de Toulouse). Cette soufflerie est mondialement réputée pour le parfait équilibre de sa conception intégrant les exigences des moyens d'investigation de l'écoulement, notamment l'intégration réussie d'un vélocimètre laser tridimensionnel à la veine d'expérience.

La soufflerie à très grande vitesse F4, hypersonique et hyperenthalpique, est très récente. Elle a connu ses premiers essais industriels en février 1993. Il s'agit d'une installation proposée et réalisée dans le cadre du projet HERMES, véhicule spatial revenant sur terre par un vol plané piloté. La rentrée dans l'atmosphère d'un avion spatial pose des problèmes complexes et toujours mal connus. La taille relativement réduite de la navette HERMES augmente de plusieurs degrés les difficultés à résoudre :

- stabilité de l'appareil et manoeuvrabilité,
- flux de chaleur intenses autour du nez et des bords d'attaque des ailes.

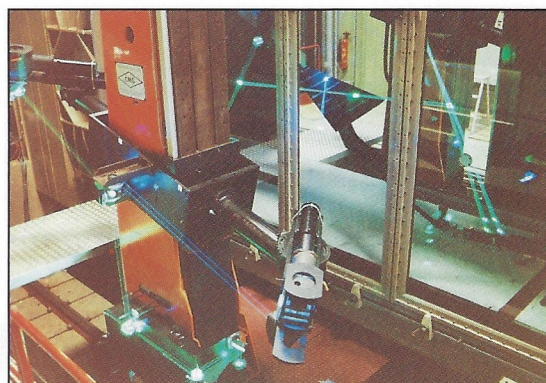
La simulation directe de ces conditions de vol dans une installation de sol n'est pas possible. Il est néanmoins indispensable de s'en approcher au mieux en reproduisant des phénomènes équivalents (dissociation de l'oxygène notamment). C'est l'objectif de F4. L'air, très fortement

chauffé (jusqu'à 9 000 K) par un arc électrique de très forte puissance (plus de 100 MW) est brutalement détendu dans une tuyère placée dans le vide pour atteindre les vitesses de plusieurs kilomètres par seconde. Le temps utile de l'essai est limité à 50 millisecondes environ, ce qui, pour les conditions d'essais réalisées, est singulièrement long.

Le laboratoire d'Etude de la Propulsion est une division de la Direction de l'Energétique (OE) de l'ONERA. Ce laboratoire fonctionne depuis 1980, regroupant au CFM les activités précédemment conduites en région parisienne.

Initialement, il s'agissait d'activités expérimentales dans le domaine des moteurs fusée à propergols solides. Cette activité s'est depuis nettement diversifiée avec un volet moteurs à ergols liquides, un banc de simulation du tir des fusées ARIANE, et le développement constant d'un volet recherches directement conduites par les ingénieurs du laboratoire.

Grâce à tous ces moyens et à la qualité de ses équipes, le CFM a également acquis une notoriété mondiale. Complémentaire du Centre de Modane-Avrieux dans le domaine des souffleries, ouvert sur les besoins des autres secteurs de l'ONERA, le Centre du Fauga-Mauzac est promis à un réel développement, malheureusement freiné par les difficultés économiques de l'industrie aérospatiale.



ONERA

Vélocimètre laser dans la soufflerie F2 sur profil Delta



ONERA

Simulation d'un tir ARIANE V au 1/20^{ème}



ONERA F 890024

Essai d'une maquette A340 au 1/19 dans la soufflerie F1

ONERA

Direction des Grands Moyens d'Essais
BP 72
92322 Chatillon Cedex
☎ (1) 46 73 40 40
FAX (1) 46 73 41 44

Centre de Modane-Avrieux
BP 25
73500 Modane
☎ 79 20 21 22
FAX 79 20 21 68

Centre du Fauga-Mauzac
31410 Noé
☎ 61 56 63 00
FAX 61 56 63 63