

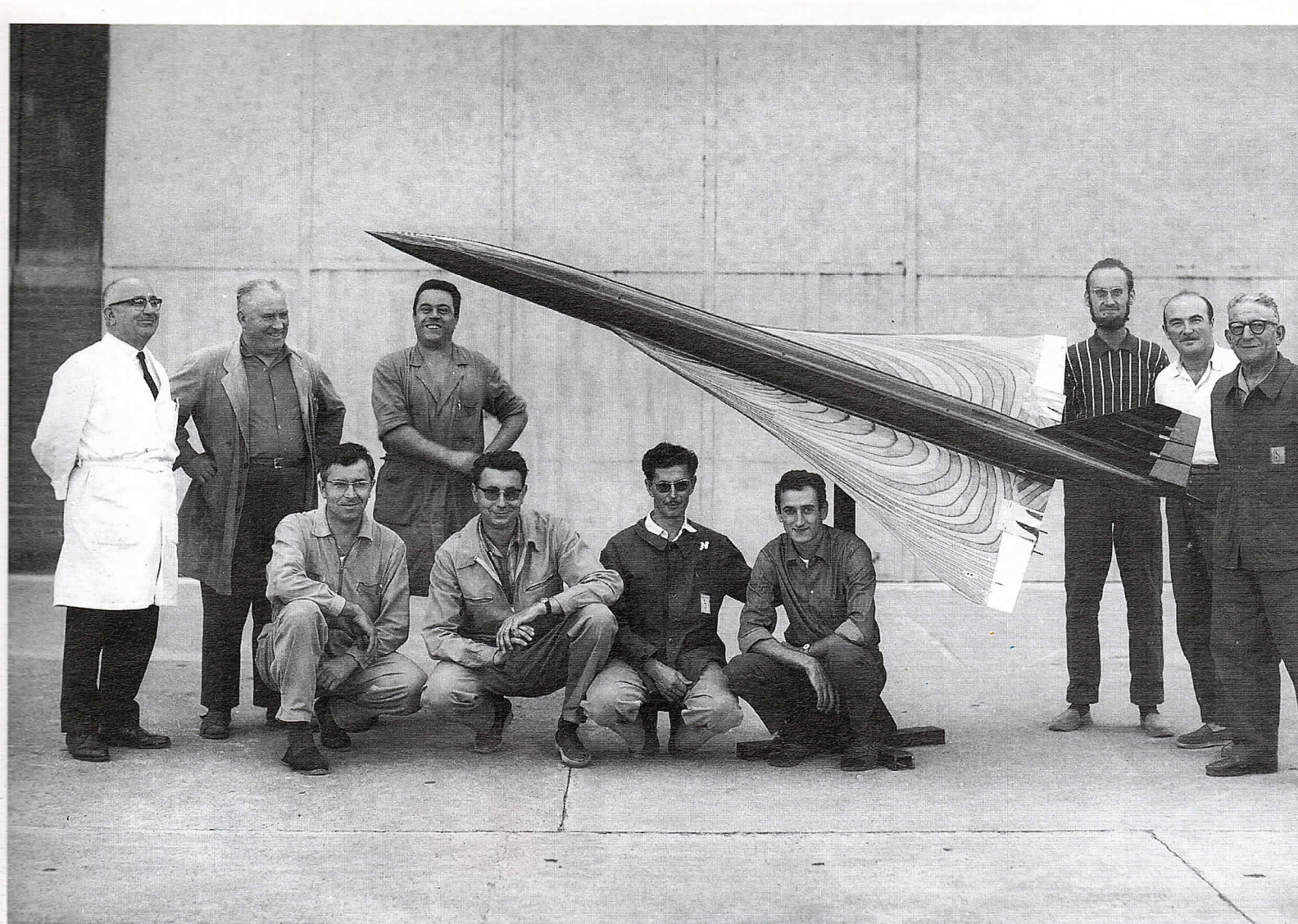
revue de l'aviation française

# l'Aviation

ÉDITÉE PAR LE S.N.P.L.



***Concorde***  
**ET SON HISTOIRE**  
**TOME 1**



Une maquette de soufflerie réalisée par l'équipe de modèles de Sud-Aviation à Toulouse en 1964.

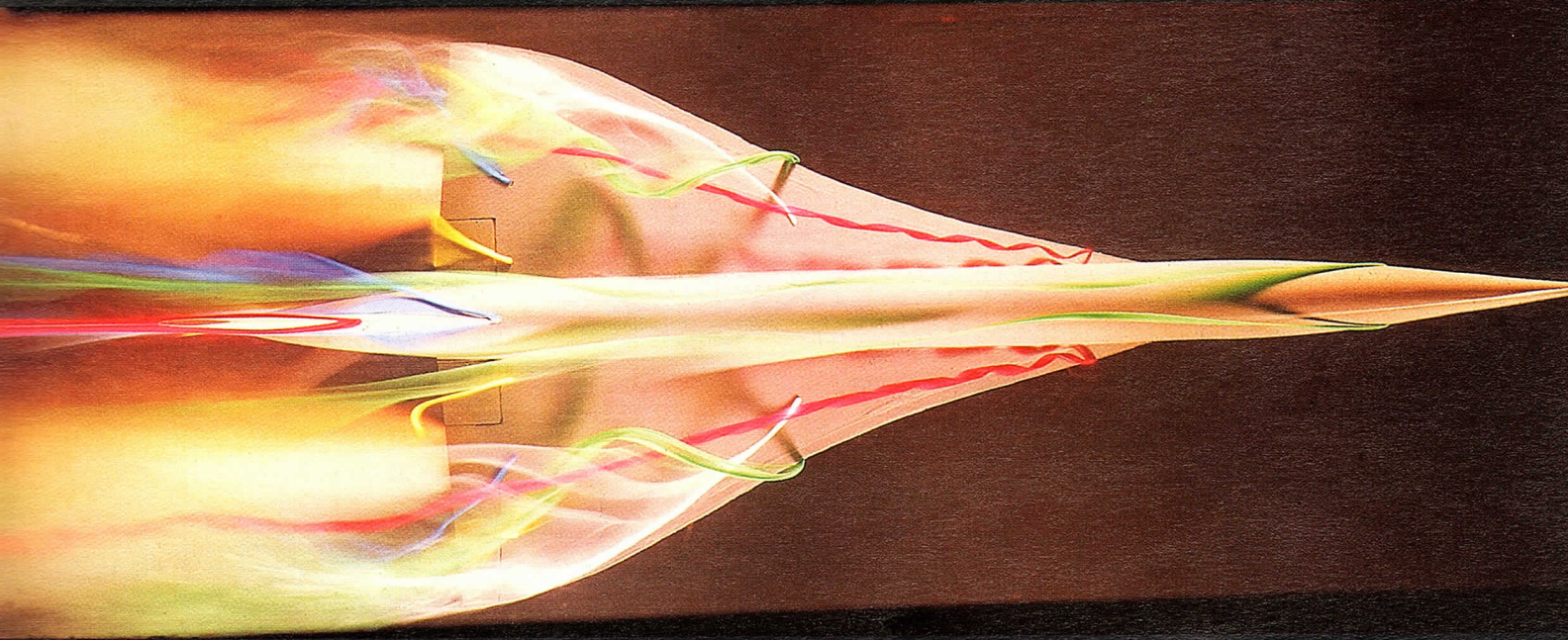
*Philippe Poisson-Quinton est né en 1919. Licencié es-sciences, élève de l'Ecole Nationale Supérieure de l'Aéronautique, il a travaillé depuis 1946 à l'ONERA (Office national d'études et de recherches aérospatiales) où il a été successivement ingénieur de recherches puis chef de la division d'aérodynamique, directeur technique adjoint et directeur de la coopération internationale, puis Haut Conseiller depuis 1984.*

*Il a enseigné la prospective aéronautique à SupAéro, à l'ENAC, à l'Ecole de Guerre, à l'ESTA, à l'EPNER et à l'Université de Princeton. Depuis 1984, il est membre de l'Académie de l'Air et de l'Espace ; il en a été élu vice-président en 1990, puis président en 1993-1994.*

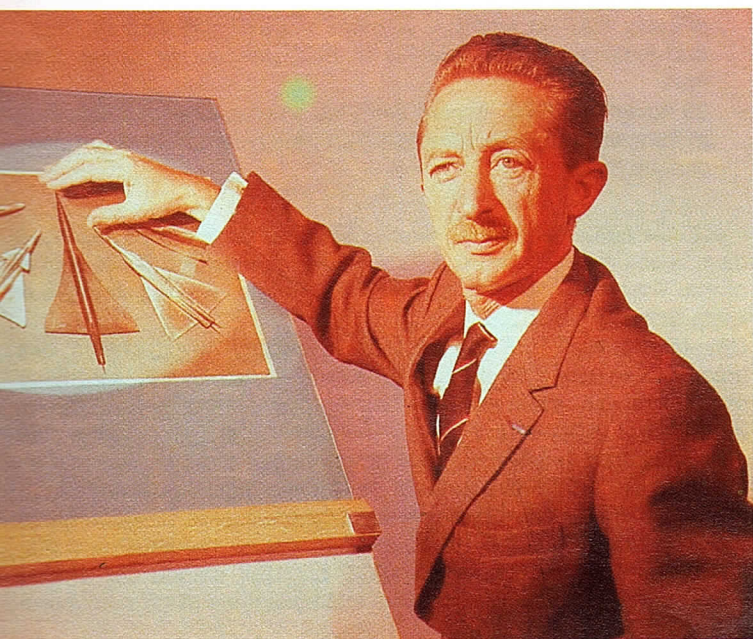
3

Philippe Poisson-Quinton

Le rôle de la recherche à l'ONERA



Une maquette de Concorde en soufflerie



« **L**e programme Concorde fut souvent une affaire de prestige pour les politiques ; pour nous, les techniciens, ce fut une histoire d'amour... Peut-être la mariée fut-elle trop belle ? Mais finalement, elle a bien vieilli... »

Dans ce qui suit, j'ai essayé de résumer le plus honnêtement possible 25 ans de souvenirs personnels sur des recherches essentiellement collectives pour lesquelles nous étions conscients (et très fiers) de participer à un grand tournant dans l'histoire de l'aéronautique mondiale.

Le programme Concorde a joué un rôle considérable dans l'évolution des recherches et des moyens d'essais de l'ONERA (Office national d'études et de recherches aérospatiales) pendant une longue période, s'étendant de 1959 à 1975 environ ; les recherches théoriques et expérimentales ainsi que l'assistance technique aux constructeurs ont demandé la participation de la plupart de ses

\* Il faut rendre ici hommage à nos directeurs généraux successifs : Maurice Roy, Lucien Malavard, Paul Germain, Raymond Castaing et Pierre Contensou ainsi qu'à Robert Legendre, directeur technique de l'Office pendant cette période.

ans le programme Concorde

# RECHERCHES DE L'ONERA EN VUE DU DEVELOPPEMENT DE CONCORDE

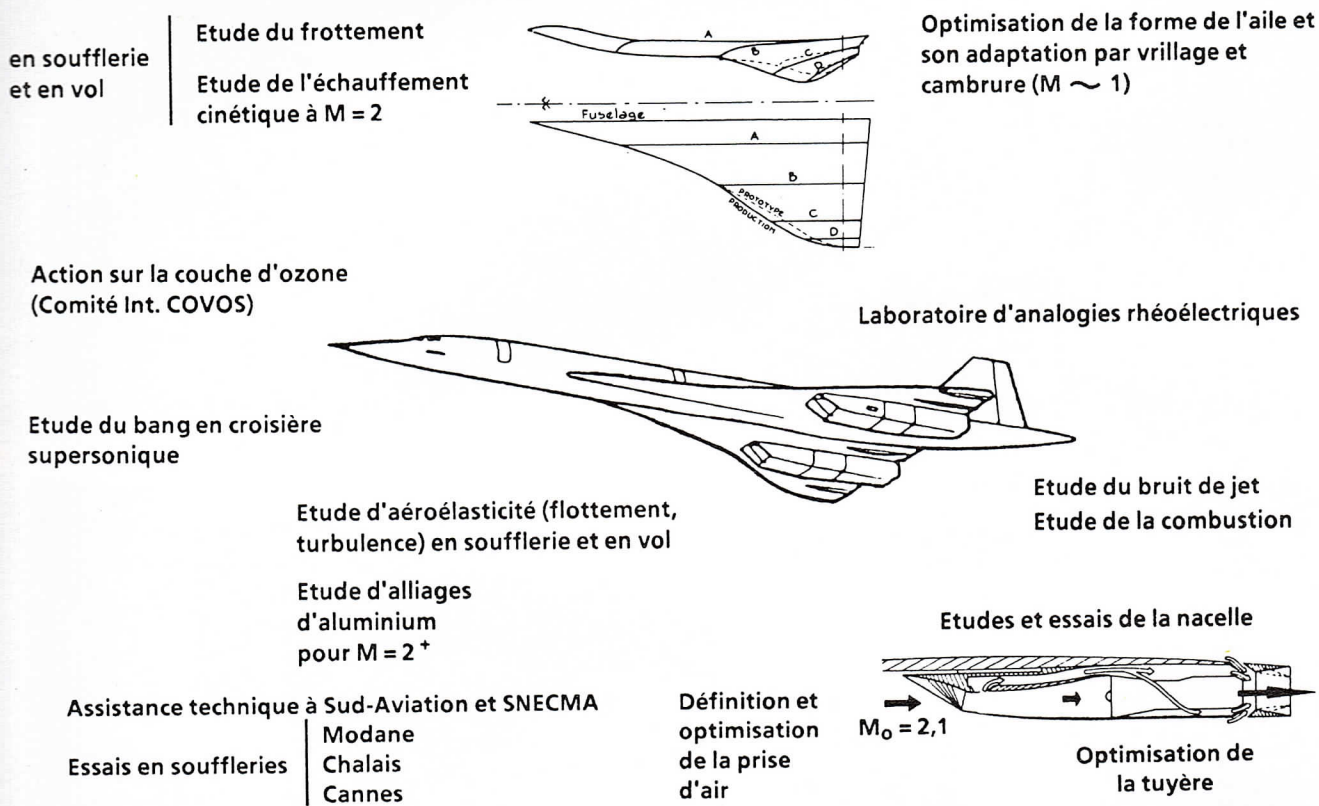


Fig. 1

directions scientifiques et techniques et la mobilisation de ses grands moyens d'essais (fig.1). Ce programme multidisciplinaire a représenté, en 1968, 9 % de son activité globale.

Cette activité foisonnante a été largement facilitée par un financement important et continu (qu'on ne peut malheureusement plus imaginer aujourd'hui !), provenant de services officiels très motivés (Défense et Aviation civile), mais aussi par l'appui continu des directeurs de l'Office à ce programme<sup>1</sup>, au cours des « Trente Glorieuses » de notre aéronautique.

Un autre aspect important du programme Concorde a été l'ouverture de l'Office vers l'extérieur, illustrée par la coopération confiante avec les grands centres de recherches anglais (RAE, NGTE, ARA), qui participaient directement au programme, mais aussi avec la Hollande (NLR) et les Etats-Unis (NASA et même Boeing, du moins au stade des projets...).

Enfin, pour la première fois, l'ONERA était considéré comme un partenaire à part entière par les constructeurs, aussi bien français (Sud-Aviation, SNECMA) qu'anglais (British Aircraft Corporation, Rolls Royce). Si l'histoire du programme Concorde est bien connue, celle du rôle de l'ONERA a été beaucoup plus discrète, comme il sied à un organisme de recherche officiel.

## L'avant Concorde

Pour mieux comprendre la genèse du transport supersonique et le rôle de l'Office, il est bon de rappeler quelques dates initiales :

- 1956. Lancement d'un Comité d'étude britannique sur l'avion de transport supersonique (STAC).
- 1957. Lancement par le NACA américain du programme de recherches sur un transport civil supersonique (SCAT).
- 21 mai 1959. Première réunion à l'AFITAE (maintenant AAAF) de représentants de l'ONERA et des constructeurs en vue de discuter d'une réalisation éventuelle d'un avion de transport supersonique (ATS) en France ; analyse des travaux publiés à l'étranger.
- 27 novembre 1959. Le service technique de l'Aéronautique demande officiellement aux constructeurs français (Sud-Aviation, Nord-Aviation, Dassault) des avant-projets d'ATS. Simultanément, la section Etudes Générales -alors dirigée par Pierre Lecomte- charge l'ONERA d'études fondamentales sur la forme souhaitable de l'aile et des entrées d'air, sur les problèmes du vol à basse vitesse, et enfin sur l'optimisation à la croisière supersonique à Mach 2,2.

- 18 mars 1960. Première réunion officielle franco-britannique ONERA/RAE à Farnborough ; confrontation des résultats déjà obtenus dans les deux pays.
- 13 octobre 1960. Deuxième réunion franco-britannique à l'ONERA, qui présente ses résultats récents.
- 1961. Poursuite des contacts systématiques entre services officiels, RAE et ONERA. Accords entre British Aircraft Corp., Sud-Aviation, Bristol Siddeley et SNECMA sur un projet commun.
- 29 novembre 1962. Accord entre les gouvernements britannique et français pour la construction d'un prototype de Concorde dans chaque pays.

Il est utile également de rappeler la situation de nos connaissances dans le domaine supersonique à la fin des années cinquante, dont le niveau était sensiblement le même en France, en Angleterre, aux Etats-Unis et en U.R.S.S.

Dès la création de l'ONERA, une orientation « exploration des grandes vitesses » avait été donnée aux recherches aérodynamiques, ce qui avait impliqué des études sur les ailes à flèche accentuée initiées par René Hirsch. Le phénomène de « surportance » tourbillonnaire à grande incidence avait été mis en évidence en 1951 à la soufflerie de Cannes (fig.2), puis remarquablement visualisé dans le tunnel hydrodynamique de Châtillon grâce à Henry Werlé, tandis que Robert Legendre en proposait une première approche théorique. En 1962, on avait étendu ces études jusqu'aux très faibles allongements intéressants les missiles manœuvrants (fig.3).

Entre-temps, l'ONERA avait participé aux études des avions militaires à réaction, en particulier dans le domaine transsonique où le passage de plus en plus aisé du mur du son ouvrait la voie aux avions supersoniques à ailes « delta » pour Mach 2, illustrés par les Mirage III et IV de Dassault, le Durandal de Sud Aviation et le Griffon à statoréacteur de Nord Aviation. L'Office avait donc à cette époque une bonne connaissance des ailes delta et de leur adaptation optimale (fig.4C à H) et s'était familiarisé avec les prises d'air à géométrie variable (sur Mirage III et IV), sous l'impulsion de Pierre Carrière et de Jacky Leynaert. Simultanément, les équipes de l'ONERA avaient été en étroite contact avec les services d'essais en vol des constructeurs et du C.E.V.

En l'absence d'ordinateurs à cette époque, l'Office entreprenait un calcul paramétrique « à la main » des caractéristiques aérodyna-

**ONERA - SOUFLERIE DE CANNES, janvier 1951**

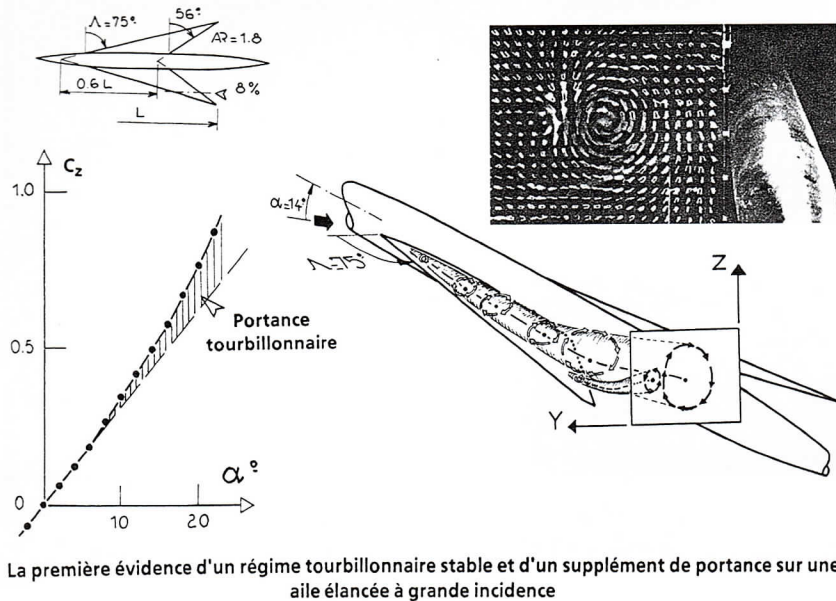


Fig. 2

**1962 - AILES ELANCEES : DE CONCORDE AUX MISSILES MANŒVRANTS**

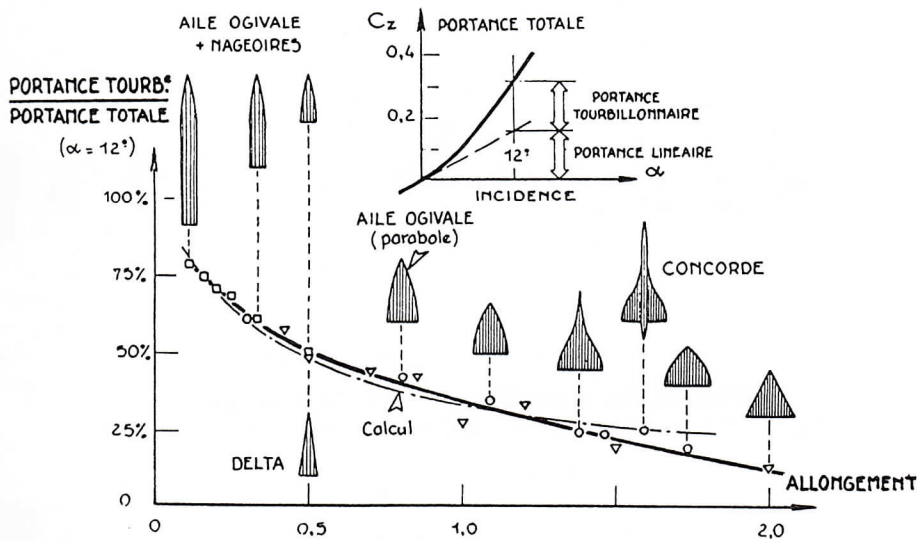


Fig. 3

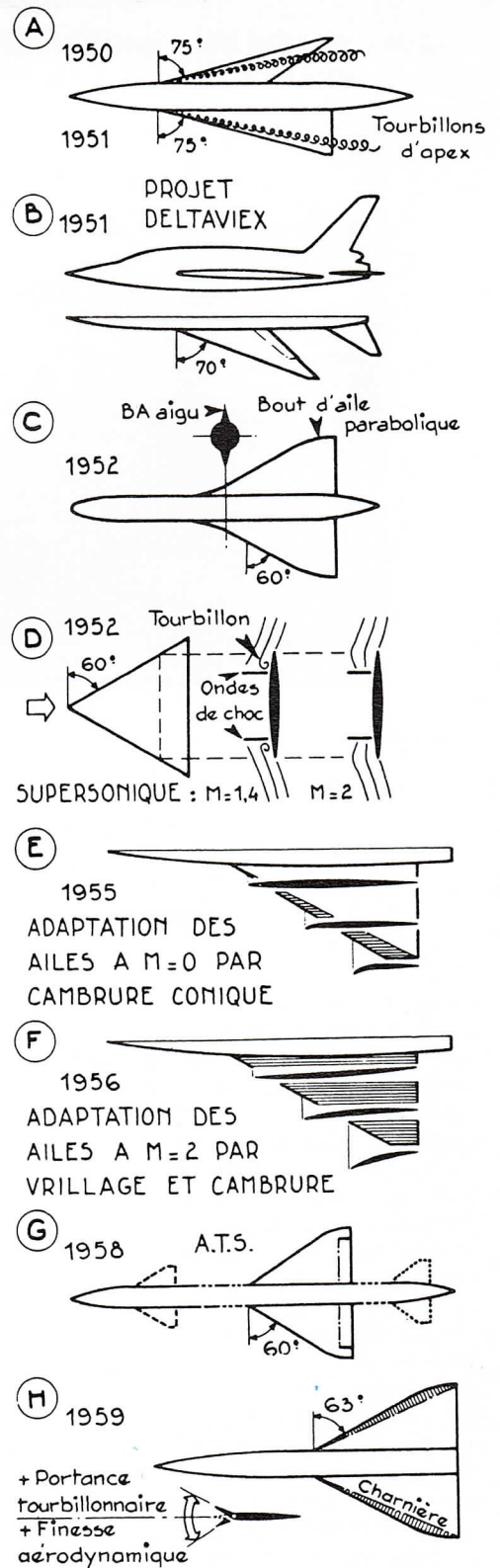
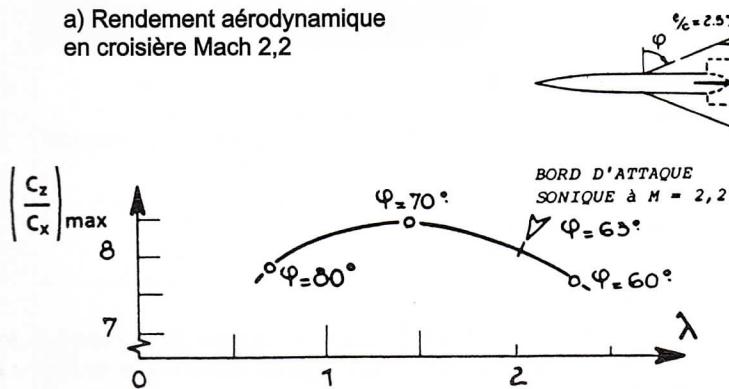


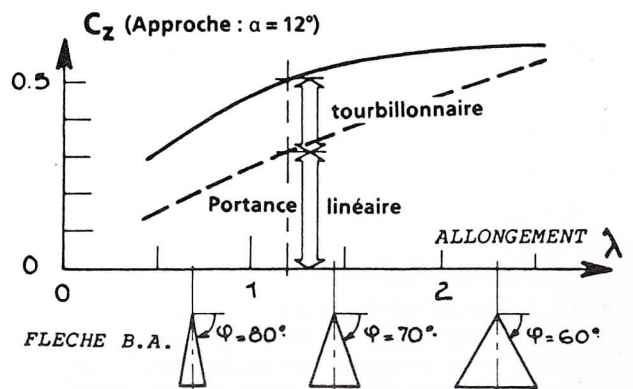
Fig. 4

**ETUDE PARAMETRIQUE POUR UN FUTUR TRANSPORT SUPERSONIQUE (ONERA/OAc, 1959)**

a) Rendement aérodynamique en croisière Mach 2,2



b) Portance aux basses vitesses



**1959 - ESSAIS PRELIMINAIRES SUR MAQUETTES DE TRANSPORT SUPERSONIQUE A LA DIRECTION AERODYNAMIQUE**

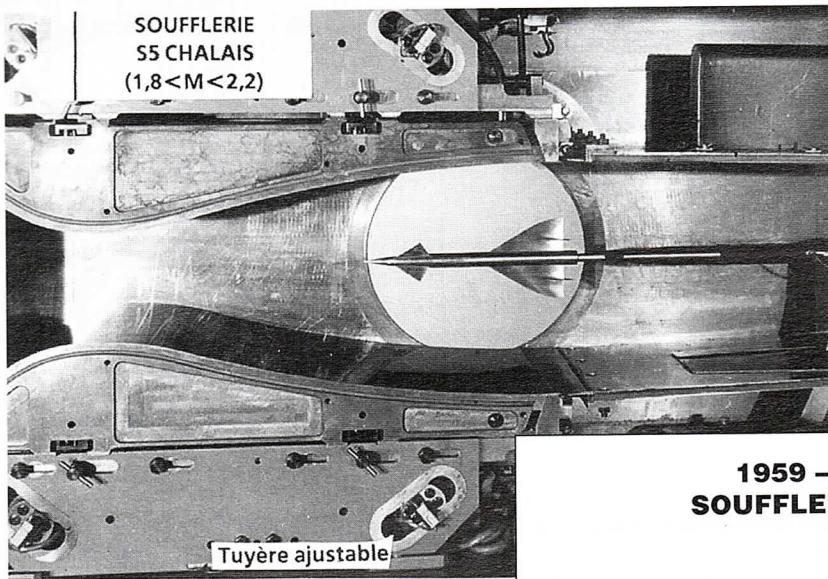
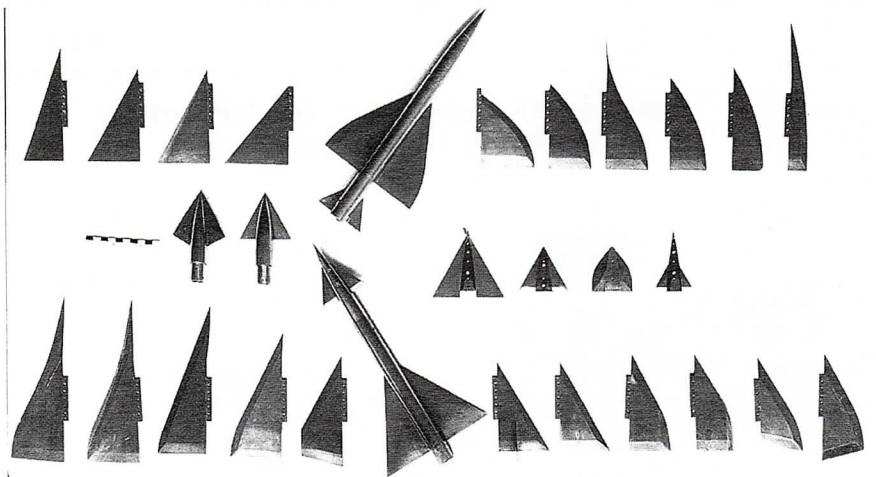


Fig. 6

**1959 - CONFIGURATIONS D'A.T.S. SOUFFLERIE S5 CHALAIS (0,6 < M < 2,2)**



**ETUDE DE L'EFFET DE SOL FAVORABLE POUR LES AILES ELANCEES DU TYPE « CONCORDE »**

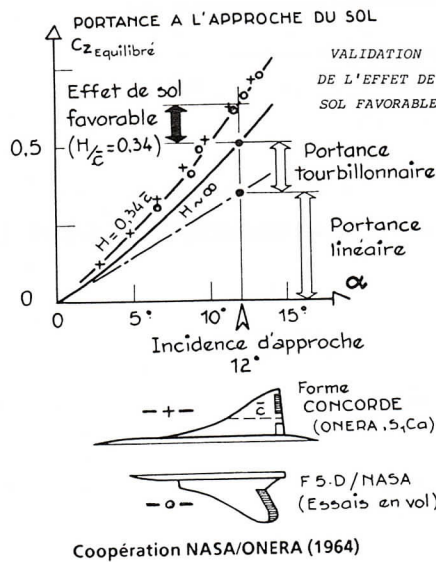
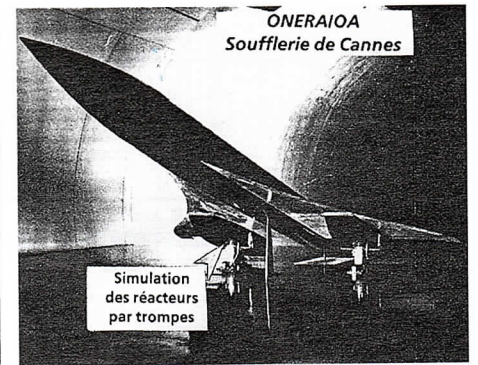


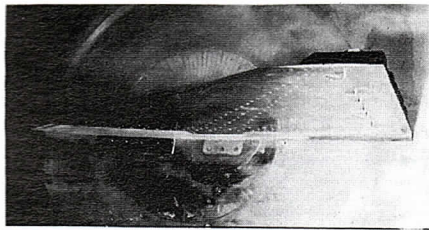
Fig. 7



miques d'une famille d'avions de transport supersonique permettant de préciser le meilleur compromis entre performances en croisière supersonique et aux basses vitesses qui préfigurait la forme choisie pour Concorde. Simultanément, des essais dans la soufflerie transsonique et supersonique S5 de Chalais sur une famille de petites

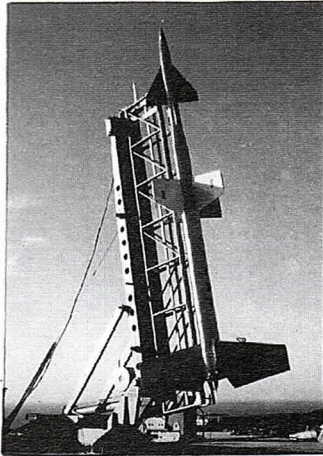
maquettes (fig.6) permettait d'établir des bases de données expérimentales précieuses pour un avant-projet. Cette petite soufflerie de section carrée (0,3 x 0,3m) a été en fait le berceau de la validation du passage du son en France, en étroite liaison avec les pilotes d'essais, qui risquaient leur vie en vol dans les années cinquante.

# 1963 - ETUDE DE L'ECHAUFFEMENT CINÉTIQUE POUR LE PROGRAMME CONCORDE



Soufflerie chaude  
( $T \leq 170^\circ\text{C}$ )  
S3 Modane

Même aile Delta



Centre  
d'Essais  
Ile-du-Levant

Missile D6 :  
- 2 étages  
accélérateurs  
- 1 propulseur  
croisière,  $t = 20''$

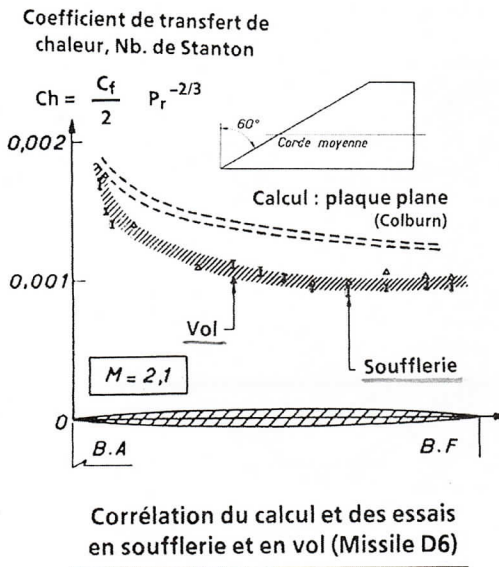


Fig. 8

## Le programme Concorde a l'ONERA

Une fois décidé par les services officiels et les constructeurs franco-britanniques, le programme Concorde suscita un grand enthousiasme et beaucoup d'initiatives dans les directions scientifiques de l'Office, dès 1962.

▪ Du côté de l'aérodynamique externe, l'objectif était d'optimiser la forme de la voilure élancée « gothique flamboyant » avec les constructeurs : nos amis anglais proposaient une optimisation à la croisière Mach 2,2 tandis que les Français proposaient une adaptation de la cambrure et du vrillage de la voilure autour de Mach 1 par le calcul, initié par Robert Legendre, et estimé comme un bon compromis entre les performances souhaitées à la fois à la croisière et aux basses vitesses (fig.4 K). Cette solution fut retenue pour le prototype, puis améliorée par les constructeurs sur l'avion de présérie (envergure du bout d'aile augmentée, bord d'attaque modifié au niveau des prises d'air, etc.) à partir de l'expérimentation en vol des premiers Concorde, en France, puis en Angleterre, dès 1969.

Entre-temps, l'ONERA lançait plusieurs programmes de recherches, assez peu connus, mais fort utiles pour la suite du programme :

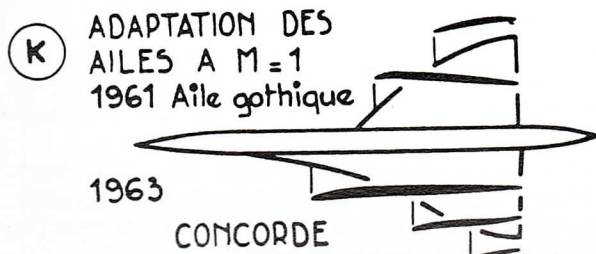
- Le laboratoire d'analogies électriques du professeur Malavard, installé à l'ONERA/Châtillon avec le CNRS, constituait à l'époque le moyen de calcul majeur pour les projets d'avions français. Son rôle fut important pour étudier des caractéristiques aérodynamiques de Concorde en subsonique (cuve 3 Dim.), puis en supersonique (réseaux self-capacités).

- Les études en souffleries basse vitesse (en particulier à celle de l'Office à Cannes, dirigée remarquablement par Amédée Bévert) avaient montré que des vitesses relativement basses pouvaient être envisagées au décollage et à l'atterrissage grâce à la combinaison de la portance tourbillonnaire importante et d'un effet de sol favorable. Ce fut démontré dès 1964 grâce à une remarquable collaboration de l'Office avec la NASA/Ames, qui expérimentait en vol une forme d'aile voisine de Concorde montée sur un prototype de la Navy, le F-5D (fig.7) : ses résultats en vol confirmaient ceux obtenus à Cannes sur une première configuration de Concorde. On vérifiait de plus que l'éclatement dangereux de la nappe tourbillonnaire aux grandes incidences, visualisée en vol sur le F-5D, pouvait être reproduit au tunnel hydrodynamique de Châtillon, dans l'eau et à petite échelle.
- Au stade du projet Concorde, deux points restaient encore mal connus en régime supersonique : les calculs précis du coefficient de frottement turbulent et du coefficient de transfert de chaleur associé, qui gouvernaient respectivement le bilan de traînée (rayon d'action) et le comportement thermoélastique de la cellule, portée à plus de  $100^\circ\text{C}$  en croisière (pendant plus de 2 heures, contre quelques dizaines de minutes pour un bombardier).

Les mesures de flux thermiques sur une aile delta en soufflerie de Modane et en vol sur des missiles D-6 tirés aux îles du Levant (fig.8) furent en excellent accord et montrèrent que les calculs classiques de flux étaient pessimistes.

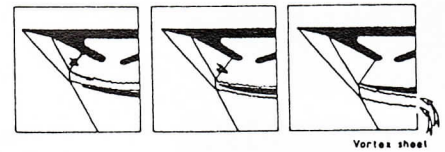
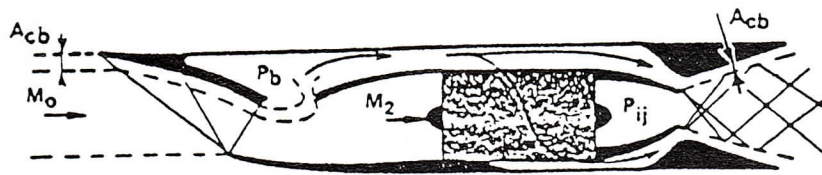
Par ailleurs, des mesures en vol de couche limite furent effectuées jusqu'à Mach 2 avec la société Dassault sur un bombardier Mirage IV de l'Armée de l'air en 1966, qui confirmèrent les prévisions théoriques du frottement turbulent, elles-mêmes en bon accord avec les essais en soufflerie de Modane à nombre de Reynolds variable.

▪ En ce qui concerne l'aérodynamique interne intéressant les prises d'air et les tuyères, le rôle de l'ONERA fut capital dans le cadre d'une coopération franco-britannique exemplaire avec SNECMA-Sud Aviation et Rolls-Royce-BAC-RAE. Au bout de plusieurs années d'essais en souffleries et en vol (sur les Concorde prototypes et de présérie), on obtint finalement une optimisation remarquable de la nacelle propulsive... qui rendait enfin possible la traversée de l'Atlantique en toute sécurité.

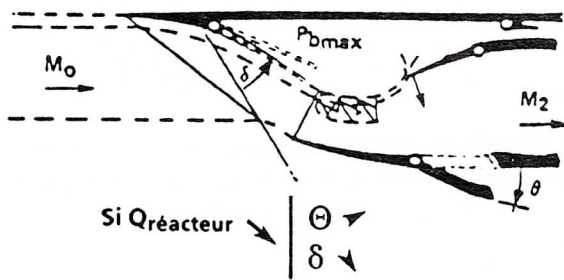
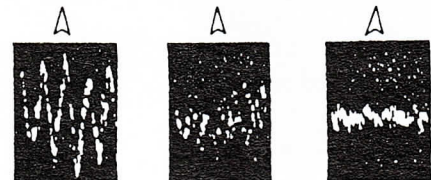


## ETUDE DE LA NACELLE CONCORDE

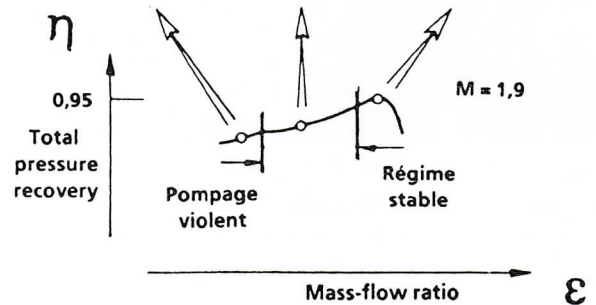
**Le secret de la stabilité :  
le piège à couche limite alimente la tuyère**



**Fluctuations de pression  
enregistrées dans la prise d'air**



**Contrôle automatique du pompage  
par porte de décharge**



De nombreux montages très sophistiqués en souffleries furent spécialement développés à Chalais, à Modane et à Vernon pour l'étude détaillée de la prise d'air, de son piège à couche limite en liaison avec la tuyère (fig.9), et de la géométrie très variable de la tuyère bidimensionnelle multiflux (dont la conception a été très améliorée entre le prototype et l'avion de série, grâce à une coopération exemplaire de l'Office avec SNECMA).

En ce qui concerne l'aérodynamique et la propulsion de Concorde, il faut évoquer la frustration ressentie par ses techniciens, en 1973, lorsqu'on renonça, faute de crédits à lancer un dérivé « Concorde B » qui proposait une amélioration notable du rayon d'action (extension de l'envergure de l'aile, bord d'attaque pivotant, etc. et du rendement du réacteur), ainsi qu'une réduction du bruit et des coûts d'exploitation.

En ce qui concerne les structures, la Direction des matériaux de l'ONERA a participé aux essais de l'alliage d'aluminium nouveau adapté aux variations importantes de température de la cellule à chaque vol.

Comme pour les autres prototypes français, la direction des structures de l'Office avait la charge d'étudier les risques de flottement structural, mais ici l'aile était particulièrement « mince » et donc souple. Les essais sur maquettes aéroélastiquement semblables en soufflerie à Modane furent suivis de l'analyse en vol des différents modes structuraux (fig.10). Gabriel Coupry dirigea ces recherches avec les deux constructeurs et participa avec son équipe aux essais en vol sur le prototype, de la réponse de la structure du prototype à la turbulence, en particulier au cours d'accélération transsoniques par temps agité.

En ce qui concerne l'environnement, l'Office participa à l'important programme de mesures du bang supersonique avec le CEV, d'abord sur Mirage III et IV puis sur le prototype de Concorde. Sous la direction de Jean-Claude Wanner, une modélisation théorique du

superbang durant les passages de la vitesse du son et du bang propagé au sol durant la croisière supersonique fut élaborée avec succès.

Dès cette époque, deux autres problèmes d'environnement étaient préoccupants :

- le bruit autour des aéroports, pour lequel la Direction de la physique fut chargée des mesures réglementaires, de la conception de dispositifs absorbants, puis du développement d'une soufflerie anéchoïque ;
- les émissions de gaz d'échappement, en particulier des oxydes d'azote susceptibles de polluer la couche d'ozone stratosphérique en croisière supersonique : l'Office (avec Maurice Barrère) participa donc au groupe international Covos chargé de démontrer que cette pollution était négligeable, du moins pour les quatorze Concorde en service. Le Covos finit par obtenir gain de cause malgré l'opposition de certains milieux américains.

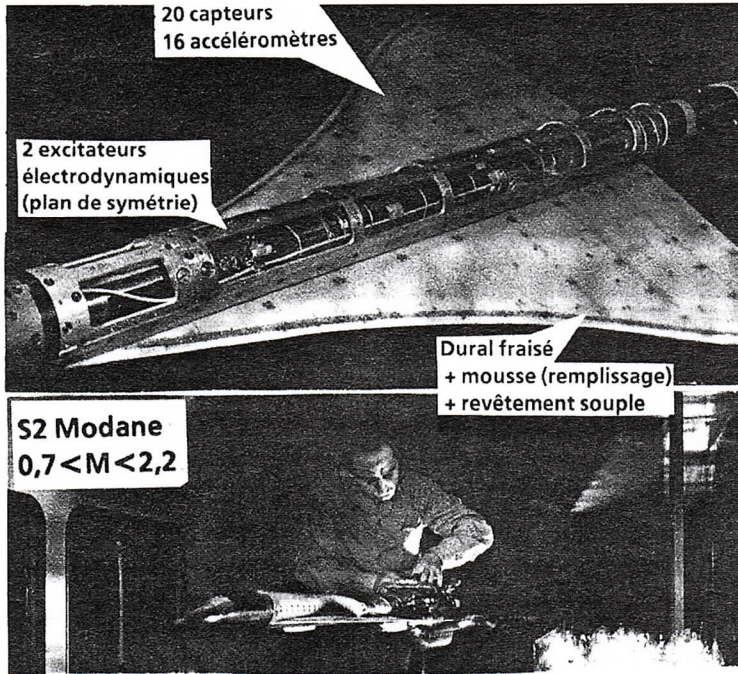
J'ai vécu cet acharnement anti-Concorde, étant professeur invité à l'Université de Princeton en 1975, au moment où une commission à Washington examinait le refus des autorités de l'Aéroport de New York d'autoriser Concorde pour cause de bruit autour de la ville, mais aussi pour cause du grand nombre de cancers de la peau prévisibles dans la population... Il fallut deux ans pour les convaincre que le bruit pouvait être parfaitement tolérable par des trajectoires intelligentes vers la mer, et que le risque de cancer était sorti de l'imagination de « scientists » fort bien rétribués.

Par ailleurs, Boeing ayant renoncé à son projet SST Mach 2.7 peu convaincant, participe malheureusement à ce jeu de massacre ayant conduit à l'annulation des commandes des compagnies aériennes.

Vingt ans ont passé... Concorde vole toujours - bien - plusieurs fois par jour au-dessus de l'Atlantique. Son successeur est étudié avec des crédits considérables aux Etats Unis et des crédits misérables en Europe. L'heure de la revanche approche..



## PARTICIPATION DE LA DIRECTION DES STRUCTURES AU PROGRAMME CONCORDE



Mesure des fréquences de flottement et des amortissements sur une maquette aéroélastique au 1/50.



Préparation des essais de vibration en vol sur le prototype 001 : mise en place d'un excitateur dans l'aile.

### Conclusions

Au cours de ce bref panorama, on a vu à plusieurs reprises le rôle capital joué par les différentes souffleries de l'ONERA. L'une des retombées les plus manifestes du programme Concorde pour l'ONERA fut certainement le développement de moyens d'essais nouveaux ou modernisés avec des méthodes de mesures nécessairement très précises (qui servirent ultérieurement pour les programmes Airbus, etc.). Ainsi, on avait diffusé dans les laboratoires cette incitation :

- « Souvenez-vous que pour Concorde,
- 1 % d'erreur sur la prévision de la traînée supersonique équivaut à 6 % de passagers en moins ;
  - 1 % de perte de rendement des prises d'air équivaut à une perte de 2,5 % sur la charge utile ».

Un tel aiguillon fut très salutaire. Ce sont de tels grands programmes difficiles qui nous manquent malheureusement aujourd'hui (avec les crédits associés...).

D'autres leçons sont à tirer du programme Concorde pour l'ONERA. Il a montré qu'un centre de recherches doit être *en avance* pour proposer des solutions au constructeur dès son avant-projet, d'où l'importance des recherches à « long-terme », et il a obligé les chercheurs à valider leurs résultats jusqu'à la démonstration en vol, ce qui est difficile mais motivant.

Enfin, tous les acteurs du projet Concorde ont appris à coopérer sur le plan international, et le programme Airbus en a directement bénéficié. Souhaitons-nous maintenant un nouvel aiguillon : le successeur de Concorde, qui devrait bénéficier à nouveau de l'expérience de l'Office.

PHILIPPE POISSON-QUINTON

