

MIRAGE IV – CONCORDE, UNE FILIATION ???

Extrait d'Aeromed N° 13 août 2005



**Par Maurice Larrayadiou
Ancien pilote de chasse**

Cet article est paru dans les chroniques d'Aeromed, publication internet <http://www.aeromed.fr> à l'intention des passionnés d'air et d'espace quels qu'ils soient.

Il a toujours été tentant de voir une possible filiation entre notre extraordinaire bombardier et le merveilleux avion civil supersonique. À l'analyse, il y a sans aucun doute de troublantes similitudes, mais qu'en est-il vraiment ?

Les principales similitudes portent sur :

- L'architecture du circuit carburant, et la possibilité, sur les deux avions de modifier en vol le centrage, en déplaçant ou consommant d'une certaine manière le combustible, en fonction de la performance recherchée, et ainsi de minimiser la traînée d'élevons.
- L'architecture des commandes de vol, pareillement basée sur la présence de préservos entraînant la timonerie mécanique capable de commander les servocommandes de puissance actionnant des élevons séparés et la direction. Ces servocommandes de puissance comportaient des tiroirs électriques capables d'accueillir les signaux des aides au pilotage indépendamment de la timonerie mécanique.



Mirage IV au roulage

La seule différence résidait dans le « seuil de liberté » accordé aux servocommandes de puissance en regard de la position mécaniquement commandée par les préservos : ce seuil était notoirement plus élevé sur Concorde que sur Mirage IV (dans un rapport de 1 à 6 environ) augmentant d'autant l'autorité des « aides au pilotage ». On a pu soupçonner l'existence d'une filiation, un avion servant de modèle à l'autre, par le fait qu'au moins un Mirage IV (le 04), du CEV (*Centre d'Essais en Vol*) a été mis à la disposition des équipes du TSS Concorde pour une période

significative.

Un mot sur le Mirage IV 04 : c'était le 1^{er} avion à posséder la configuration propre à l'Armée de l'Air, et comportant en particulier un SNB (*Système de Navigation & de Bombardement*) enfin complet, ainsi que des réacteurs ATAR 9 K5.

La mise à disposition résultait d'un « arrangement » entre le Ministère de la Défense et celui du Transport, avec un budget modeste, et un statut très mal défini administrativement. Le Mirage IV 03 participa également au programme de missions, aux mains de pilotes militaires du CEV exclusivement.

Dans les personnels touchant de près ou de loin au programme, on trouvait :

- Au sommet, l'Ingénieur Général de l'Armement **Forestier**, ingénieur de marque pour le STAE (*Service Technique de l'Aéronautique*), au titre du Mirage IV, et du Concorde.
- **André Cavin**, Ingénieur Navigant d'Essais, et ingénieur de marque Mirage IV, et du Concorde, au titre du CEV.
- **Gilbert Defer**, Pilote d'Essais CEV, qui glissera naturellement vers l'**Aérospatiale**, dans l'équipe TSS Concorde, avec **André Turcat** et **Jean Franchi**.



Gilbert Defer Maurice Larrayadiou

TEMOIGNAGE

- Le colonel **Villetorte**, pilote de marque du Mirage IV, au titre du BPM (*Bureau des Programmes de Matériel*) de l'EMAA (*État-major de l'Armée de l'Air*) et, fait exceptionnel, du CEAM (*Centre d'Expériences Aériennes Militaires*).
- Le commandant **Barbe**, ingénieur, navigateur de marque BPM / CEAM.
- Monsieur **Dudal**, Cdt de bord d'Air France, qui, après avoir suivi à l'EPNER le stage de Pilote d'Essais, avait été détaché à l'équipe Concorde du CEV.
- Monsieur **Caneill**, Ingénieur Navigant d'Essais à l'Aérospatiale.



Les missions du Mirage IV 04, au profit du projet Concorde :

Tandis que la définition des avions évoluait indépendamment, celle du Mirage IV, destiné aux FAS (*Forces Aériennes Stratégiques*), était complètement figée à ce moment, à partir des avions 04 & 05, les missions imparties aux équipages du CEV et des Constructeurs de Concorde dans le cadre de ce projet, se limitaient à :

- La familiarisation des pilotes participants (civils ou militaires) aux particularités du pilotage d'un « grand » delta en vol supersonique prolongé (35 minutes à Mach 1.9), l'effet des variations de centrage par transfert de carburant, et les spécificités des performances et contraintes diverses.
- L'étude du profil de vol, sur le plan de la navigation, avec l'insertion des trajectoires dans le contrôle du trafic civil (L'intégration en supersonique dans la TMA de Paris engendra beaucoup de vacarme, et cette étude ne connut qu'une durée éphémère).
- L'étude de l'implantation des capteurs anémométriques nécessaires au Concorde : à cet effet, une perche anémobarométrique avait été installée en lieu et place de la perche de ravitaillement. En outre, les méthodes d'étalonnage à grand Mach et grande altitude ont été expérimentées au Centre d'Essais des Landes.
- Les essais d'éléments de commandes de vol destinés au Concorde, potentiomètres de gouvernes par exemple. Cette mission fut, d'ailleurs limitée dans le temps lorsque l'état-major Marcel Dassault découvrit que des capteurs anglais Boulton Paul volaient sur le Mirage IV ... sacrilège !!!
- Enfin, le Mirage IV 04 a également été utilisé par le CEV pour valider certaines nouveautés des règlements de certification applicables au Concorde. C'était notamment le cas pour tout ce qui concerne les marges de vitesses associées au décollage, que le vol en forte instabilité de propulsion (dit second régime) rendait très différent des avions subsoniques classiques : VMU (Vitesse minimum d'envol), et VZRC (Vitesse d'équilibre « second régime » à la puissance maximale)

Un mot sur les problèmes de certification des avions civils de transport. Alors que la certification des avions subsoniques s'inspirait naturellement des recommandations de la FAR 25, pour le Concorde, et en vue des certifications américaines prévisibles (avec exploitation aux États-unis, d'avions de transport supersonique), il fut décidé de créer des normes nouvelles et très restrictives applicables aux avions supersoniques : les « **TSS Standard** ». Cette nouvelle approche réglementaire a été menée conjointement par les Autorités françaises et britanniques, et suivies par la FAA (*Federal Aviation Agency*) américaine.

Le Mirage IV 04 fut utilisé à Istres pour les recherches liées à la certification des vitesses de décollage, en particulier de :

- La VMU, Vitesse Minimum « Unstick » ou Vitesse Minimale d'envol, dont la détermination nécessite la mise en place de « sabots de queue » sur les prototypes.
- La VZRC (Zero Rate of Climb) ou vitesse minimale stabilisée qui, après le décollage,

TEMOIGNAGE

donne une pente nulle, malgré l'application de la poussée maximale des moteurs disponibles. Sur un quadrimoteur, on parlera ainsi de VZRC 4, 3 ou 2 moteurs.

Mon ami **Gilbert Defer** a une jolie formule pour décrire cette inquiétante position d'équilibre instable : « à VZRC, tu pousses un peu sur le manche, et si tu gagnes un nœud en restant en palier, le prochain rendez-vous est à ... VMO (*Vitesse maximale en Opération*). Si tu tires un peu sur le manche et que tu perds un nœud, tu les perdras **tous** (...sous-entendu jusqu'au tapis), si tu ne peux pas descendre ». La détermination de cette VZRC est fondamentale pour définir et certifier une vitesse V2 sûre.



On vit alors le spectacle curieux du Mirage IV effectuant des décollages à puissance réduite : 7.500 t/m, juste au dessus des vanes de décharge ! Grincements chez Dassault qui n'avait pas ouvert ce genre de domaine de vol ... Bien sûr, l'avion fut équipé d'un variomètre à énergie totale, afin de contrôler l'accélération et d'anticiper sur les possibles dérives de la « manip ». D'ailleurs, un Mirage IV des FAS (*Forces Aériennes Stratégiques*), prêté un moment

au CEV, garda quelque temps ce vario à énergie totale, qui fit les délices de quelques pilotes des FAS (dont votre serviteur) : génial pour les approches monomoteur, et les accélérations supersoniques, entre autres.



Baptêmes supersoniques en Mirage III :
à gauche de Maurice Larrayadieu,
le Général Méry (photo de gauche)
et l'écrivain Henri Amouroux (à droite)

Arrêtons-nous un instant sur ce problème capital des vitesses, en jetant un coup d'œil sur la partie « vitesses » du carton de décollage d'un Concorde décollant à la masse max de 185 tonnes à CDG, température 14° QNH 1013 :

- V1 : 148 kt (piste sèche) : vitesse de décision.
- VR : 195 kt : vitesse de rotation vers 13° d'assiette
- V2 : 216 kt : vitesse cible de début de montée après décollage.
- VZRC3 : 194 kt : vitesse de pente nulle sur 3 moteurs.
- VZ3 : 1.100 pieds/minutes : taux de montée normal à V2 sur 3 moteurs

On peut observer la proximité de certaines vitesses, imaginer la précision du pilotage demandée. Dans le cas choisi, de décollage lourd, 62 secondes s'écoulaient entre le lâcher des freins et la coupure des réchauffes (à la hauteur de 500 pieds) ... Ça ne glande pas !

Noter aussi que la rotation, lente (3°/ secondes.), s'effectue à 195 kt, soit quasiment à la vitesse de pente nulle sur trois moteurs ! et donc qu'il faut atteindre au plus vite V2 pour avoir la sécurité si un moteur lâche.

Ouvrons une parenthèse sur l'accident fatal de CDG, où l'on restitua que la VZRC2 (vitesse de pente nulle sur 2 moteurs) était théoriquement de 262 kt trains rentrés, et 300 kt trains sortis (ce qui était le cas), vitesses jamais atteintes....

TEMOIGNAGE

Les autres missions imparties au Mirage IV 04 furent :

- La participation d'essais sur le bang sonique et les problèmes de focalisation.
- Le maintien en condition des équipages d'essais, et des futurs pilotes supersoniques.

On ne voit pas dans tout cela une quelconque filiation entre les avions : le Mirage IV fut choisi comme « avion d'appui au programme » parce qu'il était le seul se rapprochant par ses caractéristiques et performances du futur avion civil. Ce fut tout de même une expérience positive, et il faut en féliciter les acteurs.

Sur le plan des performances, précisons que le Concorde a un profil de vol très particulier et étroit, qui, grosso modo, consiste à voler le plus longtemps possible, en montée, et en croisière, le long de sa VMO/MMO : VMO en subsonique de 400 à 380 kt (selon la masse) pour croître jusqu'à 530 kt à 43000 pieds, enfin MMO à Mach 2.04 (sauf si la température extérieure est plus chaude qu'ISA $+5^{\circ}\text{C}$ (-50°C NDLR), car on ne doit pas dépasser la Température Maxi en Opérations : TMO de 127°C . Seule la descente s'effectue loin des limites, à 380 kt jusqu'à rejoindre le Mach de croisière subsonique de 0.95, type de croisière qu'on ne pratique que quand on ne peut pas faire autrement, c'est-à-dire en survol des continents habités ! Ce n'est pas par snobisme qu'on « boude » le subsonique, mais par souci d'économie de carburant : la traversée de l'Atlantique Nord (CDG JFK) en subsonique est d'ailleurs rigoureusement impossible avec la quantité de carburant maximale de 96 tonnes, alors qu'elle est « confortable » en supersonique !

Sur le plan des commandes de vol, et pour avoir volé sur les deux avions, j'ai observé que le Concorde, sans ses aides au pilotage (en mécanique donc) est extrêmement pointu et désagréable, alors que le Mirage IV « plongeurs » enlevés est somme toute paisible, un ravitaillement en vol est encore possible. Tout cela est normal. Le Mirage IV doit pouvoir exécuter sa mission en condition techniquement dégradée et il est, de ce point de vue, extrêmement réussi et sûr. Le Concorde, avion civil de transport, doit rester un avion sans problèmes de pilotage, et est, en conséquence, équipé avec une grande redondance d'aides et de protections diverses et efficaces ; la sécurité n'a pas de prix, et doit être démontrée au cours de la certification de l'avion.

Notons aussi que la grande qualité de l'architecture des commandes de vol du Concorde a permis d'implanter, sur l'un des prototypes, et pour un temps réduit d'études (une douzaine de vols) une configuration mini-manche (en place gauche) et calculateur de vol, ce qui permit à cet avion de précéder l'A320, 1^{er} « fly by wire » (préférer « fly through computers » plus exact), et surtout d'ouvrir des domaines enchantés aux ingénieurs de l'Aérospatiale. En effet, les résultats obtenus dans les phases de décollage, d'approche et d'atterrissage sur le TSS ainsi équipé, furent extrêmement flatteurs pour leurs concepteurs. On notera d'ailleurs pour la petite et la grande histoire, que le « mini-manche » défini pour cette étude, qui date de 1977, a été retenu tel que défini à l'époque, pour équiper tous les Airbus, du 320 au 380 ! Et que le principe de la loi de tangage (dite C*) date aussi de cette préhistoire !

C (prononcer C star) : Loi de commande/contrôle des commandes de vol électriques, numériques, des Airbus (à partir de l'A320 ...) et essayées sur le Concorde 01. Les lois C* contrôlent (à partir de 3 centrales anémo-inertiels, nommées ADIRU, et 5 ou 6 calculateurs dédiés) les variations de facteur de charge demandées par le pilote, dans des limites longitudinales et latérales définies, et « triment » automatiquement l'avion en permanence. Au-delà de ces limites, il y a action des calculateurs afin d'assurer absolument toutes les protections du domaine de vol.*



De gauche à droite
Maurice Larrayadiou, le Général
Capillon, Jean Franchi avant le
« baptême » du général



TEMOIGNAGE

Un mot sur l'accident du Mirage IV 04 à Toulouse, le 23 octobre 1968, qui amena l'éjection de l'équipage **Dudal / Caneill** dans des conditions limites, et la destruction de l'appareil dans une zone inhabitée.

L'exécution de la mission mesures anémométriques comporte des survols à très basse altitude d'une base équipée de cinéthéodolites, et à des vitesses croissantes. Cette mission est d'ailleurs connue sous le terme suffisamment explicite de « passages à la tour ». Les points de mesure obtenus permettent d'établir une courbe d'étalonnage de l'indicateur de vitesse.

Au cours d'un de ces passages bas et vers 500 kt, le pilote voulut augmenter rapidement sa vitesse et afficha dans la foulée plein gaz « sec » et pleine PC : le bruit de canon perçu et la décélération franche résultant de la manœuvre l'amena à identifier une double extinction moteur, annoncée aux observateurs en salle d'écoute. Le pilote manœuvra alors de son mieux pour éviter les zones habitées et l'équipage s'éjecta à la limite basse du domaine. 21 secondes s'écoulèrent entre l'annonce de l'extinction et l'éjection.



Pour la petite histoire, l'éjection en second, à cause d'une fausse manip, du navigateur ingénieur **Caneill** fit dire savoureusement ensuite, qu'il fut le seul navigateur Mirage IV de l'Histoire à avoir enregistré une seconde et demie de monoplace dans cet avion ...

L'ingénieur **André Cavin**, qui supervisait la mission, eut l'intuition, postérieurement, à cause d'une des particularités de l'avion (délestage de l'UHF en cas d'extinction réelle, mais non observée ici) que l'on venait d'assister non à une extinction, mais à un type courant de décrochage tournant du moteur : dans ce cas, les compte-tours restent à des valeurs basses, seules les T4 restent à des valeurs élevées : le bourrage arrière de la tuyère dû à l'allumage brutal de la PC freine la turbine et fait décrocher en partie le compresseur, circulairement, ou par secteurs. Il existe un remède radical pour retrouver un fonctionnement normal du réacteur : couper les PC et reculer les manettes. Et surtout ne pas engager la procédure de réallumage en vol, qui amène à éteindre volontairement le moteur ! L'enquête technique confirma (enregistreurs et expertise), que les moteurs ne s'étaient pas éteints.

Ainsi finit l'aventure du rapprochement du Mirage IV sur le programme TSS. L'expérience gagnée au cours de toutes ces missions permit surtout à l'équipage de Concorde de définir, préparer, et quasiment répéter sereinement, avant l'heure, le 1^{er} vol du prototype du Concorde.

Maurice Larrayadiou
Aéromed N° 13 août 2005



TEMOIGNAGE

ANNEXE. LES VITESSES DE CONCORDE.



MMO : Mach Maximum Opérationnel (ou Mach de croisière maxi permis). Il est fixé à 2.04 et le Mach normal de croisière est fixé à 2.00, seul moment du vol où le Mach indiqué quitte le Mach maxi.

VMO : Vitesse Maximum Opérationnelle (ou Vitesse indiquée maxi permise). Elle est, pour les pilotes, présente, « jusqu'à l'obsession... », du décollage jusqu'au haut supersonique. Son suivi rigoureux, à quelques nœuds près, à l'aide de certains modes sophistiqués du Pilote Automatique (**Max Climb/Max Cruise**) commande le meilleur rapport consommation/performance, et donc

la sécurité à l'arrivée.

Détaillons ... pour les puristes :

- Après décollage, on rencontre la VMO à 300kt, mais, avec un vario positif, l'aiguille rouge de VMO de l'anémomètre, bouge ensuite rapidement vers 400kt atteints vers 4500ft (avec un avion au poids maxi).
- Ensuite, la montée à iso 400 kt se poursuit jusqu'à 32.000ft
- 29.000ft est l'altitude où l'on passe Mach 1,00 en montée et en utilisant la pleine poussée et la pleine PC en suivant l'aiguille rouge de VMO qui avance alors automatiquement vers 530kt (accélération transsonique + montée).

Si un palier subsonique est nécessaire (exemple au départ de CDG) il se fera à 28000ft environ, et l'on croisera à Mach 0.93 en pilotage manuel et 0.95 en pilotage automatique. (Concorde est aussi l'avion le plus rapide en croisière ... subsonique). En montée, on passe par le (fameux) « corner point » où 3 valeurs se rencontrent alors : 530kt, 43.000ft et Mach 1.70. C'est le moment où l'on coupe les réchauffes (on ne dit pas PC, à cause des anglais, nos associés, qui parlent de **Reheat** !!). L'accélération se poursuit alors en maintenant 530kt jusqu'à la rencontre à 51.000ft du Mach de croisière : M 2.0. L'avion vole alors en croisière montante vers 60.000ft, à M2.0 en Plein Gaz sec.

- En zone équatoriale, où la tropopause est très élevée (souvent 45.000 à 48.000ft) avec une température de -65°C (standard moins 10°), le plafond max autorisé de 60.000 ft est atteint. Il faut engager le mode **Altitude** du PA, tandis que l'automanette tiendra le mach désiré (MMO). Sur un Paris - New York, il est rarissime d'atteindre 60.000ft en croisière montante...

TMO : Température Maximum Opérationnelle : C'est la température d'impact maxi autorisée : 127°C .

Note importante : La 1^{re} des 3 valeurs ci-dessus atteinte constitue **LA** limite du moment, à ne pas dépasser. Il y a d'ailleurs alarme sonore dès que l'on dépasse MMO + 0,02, ou VMO + 6 kt, ou TMO + 4° .

Altitude de croisière : autorisée jusqu'à 60.000 pieds. (Les passagers, sabrent le champagne... en admirant le placard M. 2.02, en vue, dans la cabine).

Information importante :

Au-delà de ces valeurs, qui constituent les limites du **domaine autorisé** en exploitation commerciale (et en entraînement des équipages), commence le **domaine périphérique**, seulement autorisé pour les pilotes d'essais et dûment explicité dans leurs ordres de vol. Par exemple, limites connues :

- **VD** au-delà de VMO : environ 565kt indiqués (Air France a dépassé par « inadvertance » 600kt !!)
- **MD**, au-delà de MMO : 2,22.