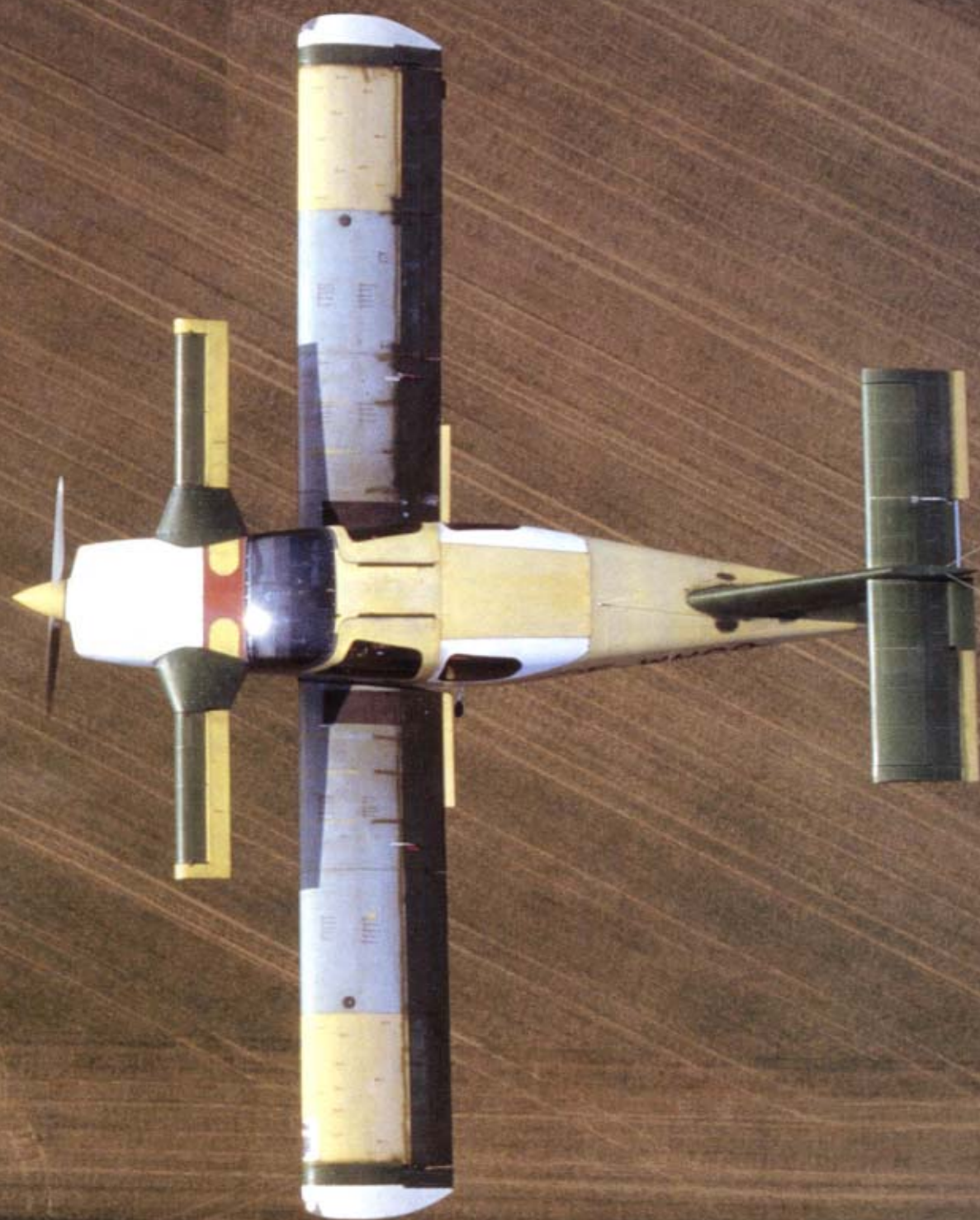




COLIBRI

L'AVION ANTI-RAFALES



COLIBRI

L'AVION ANTI-RAFALES

De 1995 à 1999, cet étrange monomoteur 3-surfaces, bénéficiant d'un système d'absorption des effets des rafales, a effectué plus d'une centaine de vols au départ de Toussus-le-Noble



Sous ces moustaches liées mécaniquement à la courbure de la voilure, ces saumons articulés et connectés aux ailerons, et cet empennage en T, se cache un placide TB-20...

LE vol par temps turbulent a posé et pose encore problème à l'aviation, tant civile que militaire. Les conséquences sont de plusieurs ordres : une imprécision de pilotage, une fatigue excessive des structures, un manque de confort pour l'équipage et les passagers. Ces derniers temps, plusieurs avions de ligne se sont posés avec des passagers blessés suite à de la turbulence en air clair (CAT). Les basses couches ne sont pas exemptes de turbulence, générant sur les avions légers des accélérations verticales, positives ou négatives.

Dès avant la Seconde Guerre mondiale, René Hirsch s'est intéressé au problème, par la force des choses... Alors ingénieur des Eaux et Forêts, devant surveiller par la voie des airs un vaste domaine de plantations à Batna, en Algérie, il est souvent incommodé par les turbulences. Ayant repris des études, en 1938, il sort ingénieur en aéronautique de l'Institut aérotechnique de Saint-Cyr. Cette année-là, il publie un premier point sur ses travaux, sous le titre de « Recherches théoriques et expérimentales sur les moyens de soustraire un avion aux accélérations que peuvent engendrer les perturbations atmosphériques ». La guerre le voit s'installer en Afrique du Nord pour créer un

laboratoire équipé d'une soufflerie. Il « souffle » ainsi plusieurs maquettes d'avions anti-rafales. Il a déjà la réputation d'être un spécialiste des hélices, après la mise au point d'une théorie tourbillonnaire dont les premières applications sont utilisées sur les Dewoitine D-520 et Breguet Br-690. Par la suite, il sera reconnu au niveau mondial comme spécialiste de deux domaines ardu de l'aérodynamique : la couche limite et le fonctionnement des hélices et rotors. Ce savoir-faire l'amènera à travailler, comme consultant, pour différents constructeurs dont Breguet (Br-940, ancêtre du Br-941 à capacités Stol) jusqu'au Transall aux prises avec des problèmes de motorisation dont il trouvera la solution, sans oublier l'étude expérimentale des hélices de l'Avion n° 3 de Clément Ader... Le plus étonnant est que ce théoricien pratique avec aisance aussi bien le calcul et les essais de structure que la mécanique du vol.

À la Libération, il entre à l'Office national d'études et de recherches aérospatiales (Onéra), dirigeant les divisions Mécanique du vol et Installation, allant d'un programme de missile volant à Mach 3 à l'étude du développement tourbillonnaire des ailes élancées – qui servira plus tard à

Concorde – en passant par les satellites. Il poursuit ses propres recherches sur « l'avion absorbeur de rafales », avec des maquettes « soufflées » à l'Onéra. Des modèles radio-commandés voient également le jour avant la création, en 1949, de la société Moyens aérodynamiques de régulation et de contrôle (MAERC). En 1952, René Hirsch quitte l'Onéra mais poursuit toujours ses recherches. Après la théorie et les travaux en soufflerie, il faut passer à la pratique... Sur ses fonds propres, il lance la construction d'un bimoteur expérimental qui bénéficiera d'un système d'absorption des rafales qu'il a imaginé.

Un bimoteur expérimental. Cet Hirsch H-100, immatriculé F-WGVC, est un bi-triplace (un pilote, un expérimentateur et les équipements d'essais) à l'esthétique très pure pour l'époque. Le premier vol a lieu le 15 juin 1954, à partir de Melun-Villaroche, avec Robert Buisson aux commandes, accompagné du concepteur – ce dernier, pilote depuis 1931, comptera cinquante ans plus tard près de 2 500 heures de vol, cette expérience du vol s'avérant fort utile dans l'interprétation de ses calculs. Le H-100 est motorisé par deux Régnier 4-EO de 90

ch. Les premiers vols sont effectués système anti-rafales bloqué puis, progressivement, le domaine de vol complet est ouvert. Ramené à Toussus-le-Noble pour poursuivre ses essais, le H-100 s'avère sous-motorisé avec ses 1 500 kg à la masse maxi pour 1 000 kg à vide. En septembre 1955, lors d'un décollage anticipé, suite à des problèmes de shimmy de la roulette avant, l'appareil se retrouve au second régime et l'équipage est obligé « d'aller tout droit ». Reconstitué, l'appareil reçoit deux Lycoming de 170 ch qui vont pouvoir le propulser à plus de 300 km/h à 65 % de la puissance... Avec Bernard Witt aux commandes, il va cependant retourner « aux champs » suite à un problème de régulation d'hélice. Ces incidents n'améliorent pas l'image du projet... René Hirsch a du mal à trouver des pilotes pour poursuivre les essais, vu de travers par le Centre d'essais en vol (CEV). Cependant, Antoine Ochsenbein puis Jean Caillard vont prendre la suite des opérations, Pierre Bonneau faisant également un vol d'information.

Antoine Ochsenbein et Jean Caillard vont étudier le système Hirsch et arriver aux résultats suivants : 60 à 70 % des effets des rafales sont absorbés, faisant passer, par exemple, une accélération de 1 G à 0,3 G une fois le système mis en route. Toutes commandes lâchées, l'appareil maintient sa trajectoire tandis que les gouvernes « frémissent » constamment (volets en perpétuel mouvement) pour stabiliser l'appareil – ce dernier n'est animé que de doux mouvements de faible amplitude. Le H-100 s'avère donc bien différent en comportement par rapport à un avion classique, avec la disparition de la répétition continue des mouvements et accélérations parasites. Une comparaison quelques instants plus tard, avec les volets bloqués, permet de noter la différence. En novembre 1955, ces résultats feront dire à A. Toussaint, directeur de l'Institut aérotechnique de Saint-Cyr, une figure de la recherche aérodynamique de l'avant-guerre, que « les mesures effectuées sur l'avion H-100 montrent qu'il assure l'effacement de deux tiers à trois quarts de l'action des rafales et que l'avion jouit simultanément de qualités de stabilité exceptionnelles permettant le vol automatique ».

Evolution d'un concept. Mais René Hirsch souhaite aller plus loin et le H-100 est parvenu à l'issue du programme pour lequel il a été conçu. L'appareil sera donc



Le H-100 à la chasse à la rafale. Les gouvernes « frémissent » constamment...



René Hirsch à la descente d'un vol sur le GH-80 effectué avec son pilote J. Caillard

convoyé, le 16 juin 1971, par l'équipage Caillard-Hirsch vers le musée de l'Air et de l'Espace au Bourget, où il est toujours exposé. Ce dernier vol se fera avec « tous les dispositifs en marche, du décollage à l'atterrissage », montrant bien la mise au point effectuée durant 130 heures de vol dont 100 avec le système en marche. Cette recherche étalée sur plusieurs décennies s'est faite en accumulant bon nombre de données chiffrées, qui n'existent nulle part en l'absence de statistiques sur les caractéristiques de la turbulence. René Hirsch défriche un domaine fort mal connu. Ceci l'amènera à réaliser des logiciels pour étudier les conditions d'équilibre d'un avion anti-rafales et de ses composants aux différents régimes de vol, avec ou sans facteur de charge, sans oublier l'étude des réponses dynamiques de l'avion aux rafales et aux manœuvres...

Pour poursuivre ses recherches, il fait modifier par Yves Gardan un GY-80 Horizon, dénommé GH-80 (F-WREI), pour optimiser le système mis au point sur le H-100. Le premier vol est effectué en octobre 1979 par Jean Caillard. Mais rapi-

dement, les résultats montrent que le GH-80 (180 ch) est trop lent pour pouvoir aborder tous les cas de figures. Néanmoins, le projet attire l'attention de la Nasa, et notamment de M. Phillips, responsable du département Mécanique du vol du centre de Langley, dont les recherches n'ont pas réussi à obtenir de tels résultats (70 % d'absorption pour le H-100 et 40 à 50 % pour le GH-80 lors de rafales de longueur d'onde supérieure ou égale à 60 m). Sur le GH-80, la capacité d'absorption s'évanouit pour les longueurs d'onde de 30 m environ, alors que les expériences montrent que le spectre des turbulences, en basse atmosphère, peut s'étendre de 25 à 50 m de longueur d'onde.

Autre découverte, le « capteur » de turbulence, placé à l'arrière sur les H-100 et GH-80 (empennages horizontaux), se doit d'être placé à l'avant de l'appareil, en amont de la voilure et du centre de gravité de l'avion, afin de « sentir » en premier la rafale et réagir avec un temps de réponse court (forte avance de phase). Il faut en effet limiter les effets d'inertie des systèmes mécaniques. Cette nécessité va donc imposer des surfaces à

EN VOL SUR LE H-100



« Le H-100 vole seul, commandes libres. L'avion-photographe danse comme un bouchon sur la mer démontée » (J. Caillard)

CETTE note, intitulée : « Avion H-100 : vols d'informations, impressions de pilotage », a été rédigée par son dernier pilote d'essais, Jean Caillard, quelque temps après avoir convoyé l'appareil au Bourget pour son dernier vol.

Elle résume bien le niveau technique atteint par le système absorbeur de René Hirsch.

■ Introduction : après avoir été désigné par le CEV pour suivre les essais du H-100, malheureusement sans que des vols soient exécutés à ce titre, je m'en suis trouvé éloigné en rentrant à Nord-Aviation, tout en gardant un vif intérêt personnel pour les études entreprises. Puis, en 1968, l'avion étant stationné à Villaroche, j'ai eu l'occasion de pouvoir effectuer quelques vols et j'ai saisi cette chance. On trouvera ci-dessous les impressions recueillies au cours de ces vols malheureusement trop disséminés dans le temps...

■ Qualités de vol : dès le vol de prise en mains, le système absorbeur était en service ainsi que le pilote automatique. Bien que ces deux systèmes entraînent quelques légères particularités par rapport à un avion classique (qui seront indiquées plus loin), la prise en mains est facile et le pilote est rapidement à l'aise. Un tour général des qualités de vol a été effectué. Les observations sont résumées ci-après.

1) Décollage : (ressort des volets réglé à 34). Accélération franche, l'axe est contrôlé sans difficulté. Le premier décollage a été

fait en laissant l'avion rouler 3-points. Dans ces conditions, au moment de l'envol, on est un peu surpris par la franche efficacité de la profondeur. Pour les décollages suivants, un léger soulagement de la roue avant, en fin de roulement, conduit à une mise en vol bien progressive et à un bon contrôle d'assiette. Le couple à la rentrée du train n'est pas gênant.

2) Montée : (ressort à 31, Vi 120 mph). La performance est bonne. L'avion est facilement tenu en assiette et en cap. Une fois trimmé, ce qui est facile, l'amortissement sur sollicitations à la profondeur est correct. Il a semblé que l'avion répondait davantage aux sollicitations à cabrer qu'à celles à piquer.

3) Croisière : l'avion est très fin. Les performances en palier sont excellentes : 180 mph de vitesse indiquée entre 5 et 10000 ft pour une puissance de 250 ch environ. La stabilisation est assez longue à obtenir et le réglage des trims demande du soin. Ensuite, livré à lui-même, l'avion maintient très bien les conditions d'équilibre choisies.

- La stabilité longitudinale, bien que peu marquée, est suffisante et on s'adapte très vite. Les virages jusqu'à 45° d'inclinaison s'effectuent normalement sans toucher au ressort. A noter une légère dissymétrie conduisant à des efforts (et des déplacements) plus marqués en virage à gauche qu'en virage à droite.

- Décrochage : avion trimmé à 120 mph. Efficacité et efforts corrects sur la profondeur. Un léger buffeting est perçu en des-

sous de 95 mph. A 83 mph, les volets se mettent à battre franchement, l'avion oscillant légèrement en tangage. Comportement longitudinal sain et sans équivoque. On est davantage gêné en dessous de 85 mph par des aspirations d'ailerons autour du zéro. L'efficacité reste correcte et l'avion est facilement maintenu transversalement mais il faut « s'en occuper ». Très bonne efficacité au rendu de main. L'avion est « repeigné » immédiatement.

- Vol dérapé : comportement habituel, efforts au gauchissement peu marqués quand le PA est coupé. Il faut remarquer d'ailleurs que la mise en service du PA passerait inaperçue du pilote si on ne décelait, en action normale de pilotage au gauchissement, un léger effort antagoniste autour du zéro. A cela près, l'avion est nettement plus agréable en transversal avec PA que sans.

- Stabilité transversale correcte, avion indifférent en spirale.

- Vol monomoteur : pas de remarques particulières. Moteur gauche plein gaz, droit réduit à fond, la vitesse est descendue à 100 mph – ailes horizontales – sans être en butée de direction. Moteur droit plein gaz, gauche réduit à fond, on est en butée à 100 mph, ailes horizontales.

4) Approche : (ressort à 34).

- Tenue de vitesse aisée (vitesse d'approche 110 mph). Couple à la sortie du train marqué mais non gênant.

- Caractéristiques de vol pratiquement identiques à celles rencontrées en croisière. A noter cependant que le décrochage, de même allure générale, obtenu à 80 mph, est meilleur au point de vue transversal : les appels d'ailerons sont moins marqués.

- L'atterrissage proprement dit est facile. Il suffit de se rappeler que si la visibilité est excellente dans toutes les phases de vol et au roulement, on perd la vue de la piste dans l'axe à l'arrondi, compte tenu de l'assiette longitudinale à l'impact (95 mph environ).

Le H-100 a effectué 130 heures de vol, dont 100 avec le système en marche, de 1954 à 1971



- La remise des gaz à partir de 100 mph n'appelle pas de commentaires.

■ **Système absorbeur de rafales** : quelques vols ont été effectués en turbulence dite, pour le moins, forte. La différence de comportement et de confort entre l'avion conventionnel (volets bloqués) et l'avion absorbeur est spectaculaire. Dans des conditions où, à 180 mph, les accélérations atteignent ou dépassent 0,7 G, volets bloqués, on ne perçoit que de faibles turbulences, système en service. L'avion vole sans difficulté, après un réglage correct, pied et manche libres, aussi longtemps qu'on le veut. Les mouvements de volets sont à peine sensibles et rien ne remonte au manche. L'affaiblissement des rafales transversales est également bien marqué. Après quelques vols d'accoutumance, on « devine » qu'on traverse des zones turbulentes par perception de légers « chocs » en gauchissement. Le pseudo pilote automatique est également très agréable et bien transparent. Il tient l'avion dans les conditions où on lâche les commandes. Sa présence n'est ressentie qu'en gauchissement autour du zéro comme signalé plus haut (la loi d'effort au gauchissement, sans PA, serait insuffisante pour un avion classique).

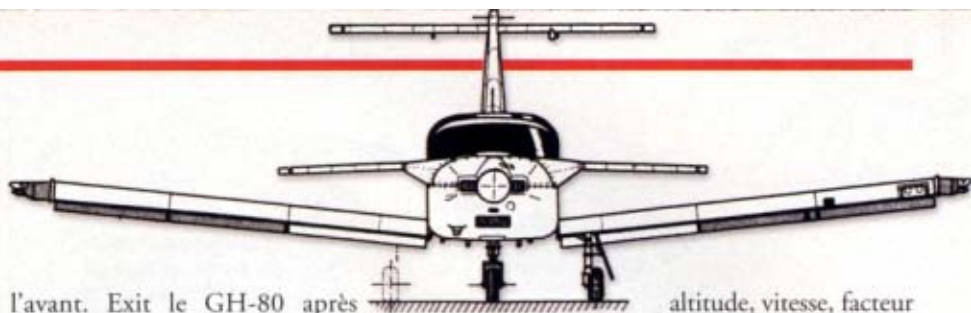
■ **Conclusions** : cette brève note résume les impressions ressenties au cours des vols effectués sur le H-100.

- Pour l'ensemble de l'avion, on peut dire que ses performances sont brillantes et que les qualités de vol, système absorbeur en service, sont très voisines de celles d'un très bon avion classique. L'adaptation est très rapide.

- Le système absorbeur est remarquable : son efficacité en longitudinal rend tous les vols « quints » quelle que soit la turbulence, le résiduel en transversal est négligeable. Il est vraiment navrant que ces études n'aient pu être poursuivies, opinion d'autant plus formelle quand on a pu apprécier par soi-même les résultats obtenus.

A signaler encore que ce petit avion expérimental a fait preuve d'une disponibilité remarquable jusqu'à son dernier vol, malgré de longues périodes d'arrêt d'un essai à l'autre, indépendantes de « sa » volonté. C'est donc avec un grand regret – une pointe d'émotion – qu'il a été conduit en vol, systèmes en service, au musée de l'Air. Les quelques vols effectués sur le H-100 ont été pour moi une des plus grandes satisfactions ressenties dans ma carrière aéronautique.

Jean CAILLARD
(2 février 1973)



l'avant. Exit le GH-80 après 150 heures de vol. La première idée est de concevoir un nouvel appareil, un 3-surfaces à voilure et empennages en flèche (celle-ci permet de retarder et d'étaler longitudinalement l'effet de la rafale), à hélice propulsive – une silhouette tout droit sortie de « Star Wars ». Mais pour des raisons économiques et de temps, ce projet ne voit pas le jour. René Hirsch préfère retenir un avion déjà existant, qu'il transformera selon ses souhaits. Toujours sur ses fonds, il achète un TB-20. Les modifications seront réalisées par les Avions Yves Gardan et montées par France-Aviation. Pour les vols, Jean Caillard est toujours là... Pour ce programme privé d'essais en vol, il est rejoint par Michel Barry.

Un TB-20 à moustaches. Arrive donc ce TB-20 à la silhouette étrange, immatriculé F-WHGQ, dont la cellule a été bien modifiée :

- Transformation du caisson arrière de la voilure avec le montage de volets à double articulation et de nouveaux ailerons, sans oublier les saumons mobiles.
- Implantation à l'extérieur du soufflé héli-coïdal des moustaches mobiles en dièdre, conjuguées avec les volets d'ailes.
- Renforcement des liaisons cadre-revêtement à l'arrière en accord avec le bureau d'études de la Socata.
- Empennages en T pour décaler en hauteur les sillages des moustaches, voilure et empennage horizontal.
- Montage d'un « ressort de sustentation » (voir plus loin) dans la soute avec un circuit de commande électro-hydraulique indépendant du circuit du train.
- Porte d'accès de la cabine rendues largables.
- Timoneries des commandes revues, avec changement des manches (plus légers) montés sur roulements pour limiter au maximum les frottements.
- Mise en place de l'installation d'essais, l'enregistrement des mesures comprenant, entre autres, une unité Hussenot-Beaudoin (HB) montée sur un portique aux places arrière. Il s'agit d'un enregistreur photographique. Les paramètres enregistrés durant les différentes phases de vol sont :

altitude, vitesse, facteur de charge (sensibilité

d'un centième de G), assiettes longitudinale et transversale, positions des volets, de la profondeur, de la direction et des ailerons, rotations en tangage, roulis et lacet. Le cockpit a été modifié pour permettre au copilote, ingénieur de vol, de contrôler la moustache, la longueur du « ressort de sustentation », le braquage des volets, le déplacement du manche et le braquage de la profondeur (mètre à ruban), etc.

Début 1995, la préparation s'accélère suite à la santé déclinante de René Hirsch. Le 16 mars 1995, le premier vol du TBH-20 Colibri, sous laissez-passer (l'appareil est expérimental), intervient à Toussus avec l'équipage Caillard-Barry. René Hirsch suivra ses premiers vols, effectuant à bord les vols n° 4 et 10, jusqu'à son décès survenu le 8 août 1995. Malgré l'importante moisson de résultats accumulés par les H-100 et GH-80 en matière d'absorption des rafales, il lui restait encore à en tirer une théorie mathématique complète en utilisant ce TB-20 modifié. Avant de disparaître, le concepteur a eu cependant le plaisir de voir voler sa dernière invention, sachant que ce programme d'études allait être poursuivi par l'équipe d'essais, avec l'aide financière apportée par Mme Marise Hirsch.

Descriptif du système. Rentrions dans les détails de ce système anti-rafales. Si le concept théorique est très simple, la description de tous les composants et leur fonctionnement s'avèrent... complexes. Il s'agit en effet d'un appareil à trois surfaces, bénéficiant de nombreuses gouvernes dont certaines sont liées entre elles, par un rapport fixe ou modifiable en vol ou au sol. Comme tout système sophistiqué, le fonctionnement de l'ensemble n'est intervenu qu'après de multiples vols, les premiers étant effectués comme un avion « classique », tous dispositifs bloqués avant de progressivement « libérer » le système.

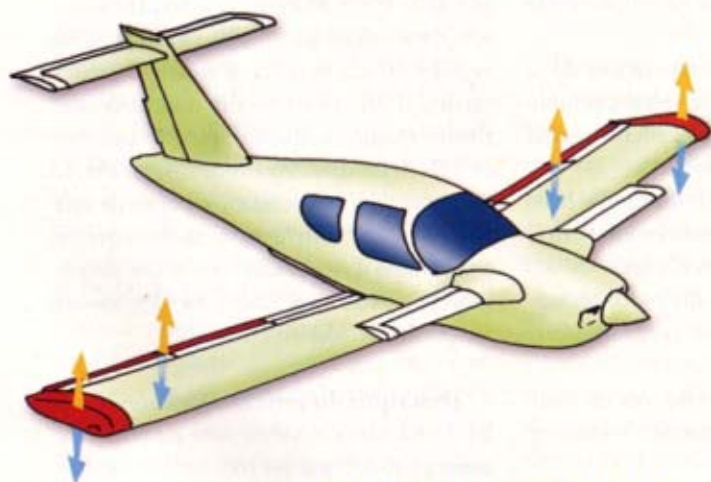
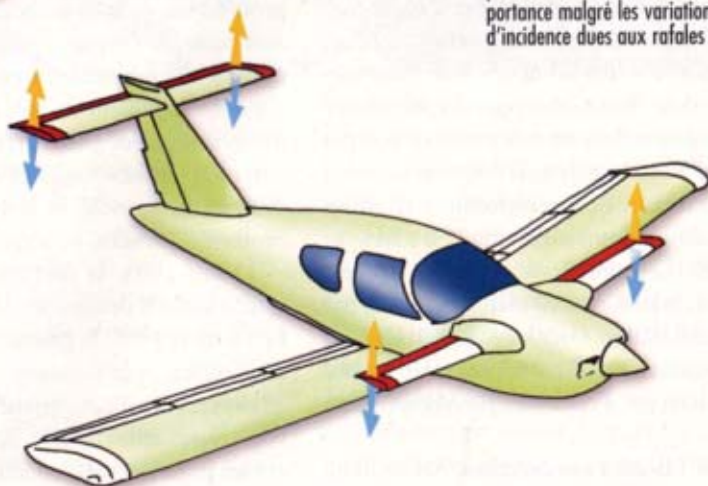
Le principe est donc simple... Il s'agit en effet d'atténuer « la composante verticale d'une accélération due à la turbulence » ou, autre formulation, « d'absorber en temps réel les mouvements de l'appareil », ou enco-

LE SYSTEME ANTI-RAFALES RENE HIRSCH



Le débattement en dièdre des moustaches est lié par un embiellage ou braquage des volets de bord de fuite de l'aile (flaperons). Les moustaches et les volets débattent dans le même sens pour conserver constante la portance malgré les variations d'incidence dues aux rafales

Les volets de moustaches sont liés mécaniquement à la profondeur (empennage en T), avec une bielle ajustable en vol pour faire varier leur calage. Les volets de moustaches (indépendants du dièdre) agissent dans le même sens que la profondeur. Cette dernière demeure la gouverne principale en tangage



Les saumons de voilure, articulés et connectés aux ailerons, sont destinés à absorber l'effet des rafales dissymétriques (stabilité de roulis). Seule la direction demeure inchangée, conservant son mode de fonctionnement « classique »

LE MOUVEMENT DE PAPILLON



Air calme

Le ressort compense le moment de charnière des volets. Les moustaches sont en position moyenne

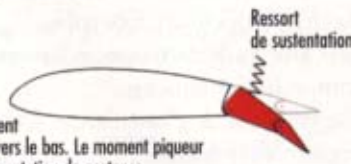


Ressort de sustentation



Rafale verticale vers le bas

Les moustaches descendent et entraînent les volets vers le bas. Le moment piqueur est compensé par l'augmentation de portance

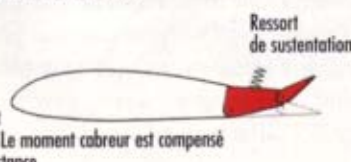


Ressort de sustentation



Rafale verticale vers le haut

Les moustaches montent et les volets également. Le moment cabreur est compensé par diminution de la portance



Ressort de sustentation

re d'assurer « l'invariance de la portance ». Les mouvements turbulents de la masse d'air, agitée ou instable, font subir des mouvements verticaux, et également transversaux, à tout appareil. Ces rafales rencontrées en traversant des masses d'air entraînent d'importantes variations d'incidence de l'aile – les rafales d'incidence (80 % des fluctuations) étant les plus « redoutables » par rapport aux rafales de vitesse (20 %). Ces variations d'incidence se traduisent par une portance qui fluctue constamment. L'appareil restant à masse fixe, l'équilibre des forces est rompu et l'avion est constamment perturbé. La solution consiste donc à faire varier la portance de la voilure (c'est-à-dire son coefficient de portance puisque les autres paramètres – densité de l'air, surface de l'aile, etc. – ne changent pas) et ce, de manière la plus instantanée possible pour contrer la rafale et avec une valeur proportionnelle à la variation d'incidence. L'avion anti-rafales parfait, utopique, contrerait ainsi la rafale par une action contraire de même intensité. De fait, il est préférable d'obtenir un avion sous-absorbeur, atténuant partiellement l'effet de la rafale, qu'un avion sur-absorbeur créant une correction supérieure à l'effet initial à contrer. A noter que la variation d'incidence, et donc d'accélération subie par l'équipage, est d'autant plus importante que la surface de l'aile, son allongement et la vitesse sont élevés, et que l'altitude de vol et la charge alaire de l'appareil sont les plus faibles...

Si l'avion rencontre une rafale verticale, venant d'en bas, celle-ci va pousser les moustaches vers le haut. Ces capteurs de turbulence étant liés mécaniquement aux volets de la voilure, via des bielles passant sous le ventre de l'avion, dès que les moustaches partent vers le haut, elles entraînent également les volets dans la même direction – le mouvement de l'ensemble a été baptisé « mouvement de papillon ». Cette diminution de la portance sur la voilure (modification du profil grâce aux volets de bord de fuite de l'aile) compense l'augmentation de portance due à l'augmentation d'incidence que crée, à cet instant donné, la rafale sur l'aile. Cette liaison aérodynamique et mécanique des moustaches-volets (hypersustentation automatique et progressive) constitue la première « boucle » du système.

Le principe est facile à comprendre au niveau du concept général, mais on peut rentrer dans les subtilités... L'axe de débattement en hauteur des moustaches (dièdre) n'est pas perpendiculaire au plan longitu-

Une architecture étrange pour une « nouvelle mécanique du vol » qui a imposé un programme d'essais en vol complexe...



dinal de l'avion mais diverge vers l'avant de 15°. Ainsi, par simple géométrie, quand les moustaches s'élèvent, leur incidence diminue par « rotation » naturelle, grâce à cet axe oblique sur lequel elles sont articulées. Plus les moustaches sont hautes et plus la diminution d'incidence est forte. Il en est de même, vers le bas, avec une augmentation progressive de l'incidence. Ainsi, les moustaches sont ramenées à leur position d'équilibre, réarmant le système pour la prochaine rafale. Ce système « passif » fonctionne donc « en boucle ouverte », empruntant l'énergie nécessaire à son fonctionnement à la rafale elle-même ! La conception est simple, sans apport d'énergie, car elle se base sur de simples conjugaisons mécaniques de déplacement des volets de voilure et des moustaches. De plus, le temps de réponse varie comme l'inverse de la vitesse.

Obtenir une portance invariante. Le principe de « réarmement » des moustaches impose que celles-ci retrouvent une valeur de dièdre moyenne. Celle-ci est contrôlée par le « ressort de sustentation » placée à l'arrière de la cabine dont l'action est liée à la masse et au centrage de l'appareil. Cet imposant ressort exerce une force plus ou moins grande sur les volets, et donc sur la position des moustaches suite à la liaison mécanique. Il intervient donc sur l'équilibre de l'appareil, afin d'obtenir des volets dans l'axe du profil d'aile. Il permet la



compensation du moment de charnière des volets et contrôle donc leur position moyenne. Pendant le vol en croisière, il autorise seulement un mouvement des volets contrôlé par le pilote. Mais en vol turbulent, il peut assister la moustache et les volets pour les laisser suivre la rafale. Par sécurité, l'ensemble de la chaîne moustaches-volets d'aile peut être bloqué par un « frein » accessible des pilotes. Ainsi, on peut décoller avec les volets « forcés vers le

L'amplitude du débattement en dièdre des moustaches a été réduite lors des essais

bas » (ressort tendu) et les moustaches bloquées puis, une fois en croisière, détendre le ressort. Les volets décollent alors de leur butée basse et les moustaches peuvent débattre autour de la position d'équilibre.

Sur le papier, un tel système fonctionne, mais dans la réalité, des effets secondaires vont perturber le fonctionnement théorique. Tel que décrit, l'appareil va être soumis à de constants et brutaux repositionnements des volets qui entraîneraient des variations du coefficient de moment de l'aile. L'appareil serait donc affecté de violents moments de tangage, inconfortables pour l'équipage. Pour régler ce problème, René Hirsch a imaginé une seconde « boucle », liant les volets de... moustache à la gouverne de profondeur (empennage en T) selon une loi mécanique issue des essais menés sur les H-100 et GH-80.

En effet, d'autres effets secondaires sont induits par ce système complexe. Michel Barry précise qu'un « autre effet secondaire, indésirable, est le phénomène qui veut que l'incidence d'un avion dépende de sa vitesse : plus il va vite, plus son inciden-



Plan 3-vues de Jean-Paul Rossignol

Vol 108 : Michel Barry recherche des zones de turbulence. Le phénomène ne se laisse pas toujours apprivoiser...



Les trois surfaces ont été étalées dans le plan vertical pour s'affranchir au maximum des interactions de sillage



ce diminue. Ainsi, par exemple, les moustaches sont équilibrées pour une certaine vitesse. Lorsque celle-ci augmente, leur incidence diminue, provoquant leur départ en butée vers le bas, ainsi qu'un braquage vers le bas des volets de voilure. Pour éviter ce braquage, un volet situé au bord de fuite de chaque moustache est relié mécaniquement au volet de profondeur. Il empêche en principe le mouvement des moustaches si la vitesse augmente. Pour accroître la vitesse, on pousse le manche vers l'avant pour braquer la gouverne de profondeur vers le bas. Les volets de moustache se braquant dans le même sens, ils rajoutent en principe la portance nécessaire à la moustache pour compenser l'effet de diminution d'incidence. La moustache reste alors à la même position. Les « en principe » viennent du fait que le des-

criptif de cette seconde boucle demeure théorique. Malgré les compétences de René Hirsch et les heures passées à faire des simulations après la mise au point de logiciels admettant cette « nouvelle mécanique du vol », le rapport de démultiplication entre les volets de moustache et la profondeur n'a pu être calculé. Ce paramètre a donc fait partie des recherches menées en vol car il conditionne tout l'équilibre de l'appareil. Son étude est permise grâce à une bielle, commandée en vol par l'équipage, faisant varier le calage entre les deux surfaces concernées tandis que les débats peuvent être réglés au sol.

Cette deuxième « boucle » (volets de moustache-profondeur), liée au contrôle du facteur de charge en manœuvre et du contrôle en tangage, est plus complexe à saisir. Cette liaison reste indépendante des

mouvements de dièdre des moustaches. La profondeur demeure la surface de pilotage principale en tangage, du fait de sa surface et de son bras de levier. Une des problématiques à solutionner est la suivante : si l'on tire sur le manche, on crée un facteur de charge et le système cherche à le contrer puisque son rôle est d'éviter toute variation d'accélération. Aussi, dans l'absolu, un tel avion ne peut pas effectuer des virages sans perdre d'altitude puisqu'on ne peut plus « soutenir » en virage par une action du manche vers l'arrière, et compenser ainsi la perte de portance due à l'inclinaison de cette dernière par rapport au plan vertical. La solution habituelle (augmentation de l'assiette, donc de l'incidence et donc accroissement de la portance pour que la projection verticale de cette dernière équilibre toujours le poids) ne peut intervenir que jusqu'à de relativement faibles inclinaisons.

Il faut également parler d'une troisième « boucle », agissant dans le plan transversal. Avec l'arrivée des volets à double articulation, occupant les bords de fuite de la voilure, de nouveaux ailerons ont été installés, constituant un segment des volets (flaprons). Ces derniers sont reliés mécaniquement à des saumons articulés dans le plan vertical (axe parallèle à la corde de l'aile). Leur objet est de détecter et d'absorber les rafales dissymétriques. Une telle turbulence provoque alors un déplacement des saumons, eux-mêmes connectés aux ailerons. Ceux-ci, débattant classiquement en différentiel, ramènent l'appareil ailes horizontales (moment de roulis annulé). Cette troisième boucle participe donc à l'équilibre général de l'appareil (stabilité de route et effets secondaires sur la stabilité longitudinale). Système anti-rafales en marche, du fait des surfaces trop grandes des moustaches, déstabilisatrices, le Colibri s'est cependant avéré instable en longitudinal (le H-100 était déjà assez « neutre » dans ce domaine), imposant un pilotage constant de l'appareil. Aussi, ce système d'amortissement latéral des rafales n'a pu être testé mais il a déjà largement fait ses preuves sur les H-100 et GH-80. Pour bien faire, tout en solutionnant un centrage trop arrière il aurait fallu diminuer la surface des moustaches et rallonger le nez – d'où un chantier de modifications trop coûteux pour les moyens financiers de l'équipe. Il a fallu composer avec ces contraintes.

Voici, schématiquement expliqué, le système anti-rafales de René Hirsch tel qu'il



Avec de multiples modifications, le Colibri n'a jamais été peint. Calculs et formules mathématiques, rédigées à la descente de l'avion, figurent sur l'extrados des ailes!

Fils de laine pour noter l'écoulement aérodynamique, montage pour contrôler le braquage des volets, un prototype...



équipe le Colibri, où seule la direction n'a subi aucune modification au niveau de sa surface et de son fonctionnement! Si nous avons parlé d'effets secondaires dus au fonctionnement de l'ensemble, il faudrait également parler d'effets tertiaires! Ceux-ci sont dus à de multiples interactions entre les différents degrés d'automatisme et le couplage des gouvernes. Leur intensité et leur correction ont fait partie des essais en vol, avec des « allers-retours constants entre l'avion, l'ordinateur et la soufflerie », avant la disparition du concepteur. En multipliant les gouvernes, même liées par des lois de couplage plus ou moins variables dans le temps, on arrive en effet à un système très complexe et il devient difficile de suivre! Au passage, un coup de chapeau à Michel Barry pour les multiples et patientes explications pour que l'auteur de cet article ne « diverge » pas trop dans ce texte, avec l'utilisation d'une abondante documentation mise à sa disposition...

Quatre années d'essais. Ainsi conçu, ce « TB-20 pas comme les autres » a suivi un programme d'essais de mars 1995 à mars 1999, à raison d'un vol par semaine en théorie même si les conditions météo, les pannes du matériel d'enregistrement et les emplois respectifs de l'équipe n'ont pas toujours permis de tenir ce calendrier. Le 109^e et dernier vol, avec sur l'ordre d'essai « l'étude du comportement en turbulence, avec oscillations longitudinales

de l'avion, volets de moustache bloqués », a été effectué par l'équipage Caillard-Barry le 12 mars dernier. Les vols 107 et 108 ont été effectués au bénéfice d'Info-Pilote, le premier pour les photos accompagnant cet article, le second pour un vol d'observation aux côtés de Michel Barry. Ce vol a été permis par l'autorisation accordée par le SFACT, suite au laissez-passer expérimental. Malheureusement, ce 11 mars,

malgré une chasse à la turbulence, aucune perturbation atmosphérique n'a pu être trouvée pour voir, en conditions réelles, le système fonctionner... Le phénomène ne se laisse pas faire!

Durant les essais en vol, l'installation à bord a été complétée d'une unité Somat 2000, équipée avec huit capteurs pour obtenir d'autres paramètres en fonction du temps. Après les vols, ces paramètres seront traités par divers logiciels. Les parties les plus intéressantes, figurant sur les bandes issues de l'enregistreur HB, seront scannées. Avec les données issues de l'unité Somat 2000, ces paramètres seront analysés selon un processus mathématique complexe (modélisation du signal par analyse de Fourier sous Excel!), décomposant le signal de l'accélération subie par l'appareil en de multiples fonctions sinusoïdales pour retrouver un spectre plus simple à quantifier. En comparant le comportement de l'appareil, système en marche et système bloqué, si possible dans une masse d'air bénéficiant des mêmes caractéristiques, l'équipage a pu, vol après vol, comparer statistiquement l'atténuation du facteur de charge en atmosphère turbulente par rapport à l'avion « classique », selon la longueur d'onde des rafales.

70% d'atténuation. Les résultats sont probants : le système anti-rafales Hirsch fonctionne, en étant indépendant de la vitesse (90 à 160 Kt maxi, le TBH-20 croi-



D. Avila Cuadrado, Y. Esbelin,
J. Caillard, E. Raffoux
(IUT/Ville-d'Avray) et M. Barry

Le 12 mars
1999 après
le dernier vol...

EQUIPE D'ESSAIS

POUR ce programme, l'équipe d'essais en vol était constituée ainsi :

■ **Jean Caillard** : pilote attitré des « expériences Hirsch » depuis plusieurs dizaines d'années (il est le seul à avoir volé sur H-100, GH-80 et TBH-20), Jean Caillard a connu une carrière d'ingénieurs d'essais en vol (entre autres au CEV sur le programme des Leduc...) puis de pilote d'essais pour l'Etat et ensuite pour Nord-Aviation (avant que cette société, fusionnée avec Sud-Aviation, ne donne naissance à l'Aérospatiale) mais également pour Reims-Aviation. On lui doit – entre autres – les « premiers » vols de la Corvette et du Transall. Aujourd'hui retraité, il est toujours sur la brèche. Si Robert Buisson, qui avait effectué le premier vol du H-100 avec René Hirsch à ses côtés, compte à son actif le premier vol du MC-10 Cri-Cri de Michel Colombar, Jean Caillard, qui a effectué les premiers vols des GH-80 et TBH-20, a fait le premier vol du MC-100, version biplace du Cri-Cri, avec Michel Colombar à ses côtés!

■ **Michel Barry** : maître de conférence, chargé de cours en aérodynamique et en aérotechnique, il est le chef du département énergétique du Pôle universitaire de l'université Paris 10 (anciennement l'IUT de Ville-d'Avray, connu pour ses multiples formations dans le domaine aéronautique). A ce titre, il était en relation depuis longtemps avec René Hirsch et une maquette en bois du TBH-20 à l'échelle 1/25 a été « soufflée » dans la soufflerie de l'IUT, le programme servant de support à des projets de fin d'études pour de nombreux élèves – le dernier en date ayant permis à Diana Avila Cuadrado (étudiante de l'Institut aérotechnique de Madrid) d'obtenir son diplôme d'ingénieur après avoir assuré l'assistance technique aux essais en vol et l'étude de l'aérodynamique des « moustaches » de l'avion. Pilote d'essais, Michel Barry a participé au programme TBH-20 dès le début, effectuant le premier vol avec Jean Caillard.

Au sol, le programme a bénéficié de l'aide d'étudiants de l'IUT de Ville d'Avray mais également de la participation de :

■ **Yves Esbelin** : désormais retraité, l'ancien chef du bureau d'études de Nord-Aviation (il a également dirigé le programme du Transall, avec Jean Caillard comme pilote d'essais) a participé aux études théoriques autour du Colibri et à l'analyse des dépouillements d'essais en vol.

■ **Jean-Paul Rossignol** : ancien du CEV, de Nord-Aviation puis de Reims-Aviation, cet ingénieur a assuré la définition de l'équipement d'enregistrement des données à bord du Colibri et l'installation de l'ensemble des appareils.

sant à 120 Kt après les modifications et l'augmentation de la traînée associée). Le Colibri est un avion sous-absorbeur – un avion sur-absorbeur serait dangereux –, avec un pourcentage d'absorption compris entre 50 et 70% selon la fréquence propre des rafales. Il ne faut pas oublier que le phénomène perturbateur, la turbulence, est un paramètre « flou », évolutif. Il s'agit d'une formation tourbillonnaire, d'intensité et de taille variables. La majorité des rafales, d'intensité notable ou forte, s'inscrit dans des longueurs d'onde de 30 à 300 m. Sur avion léger, les pointes d'accélération dues aux effets de rafales courtes (les plus « sèches ») peuvent atteindre plus ou moins 1 G. Et c'est là que le Colibri remplit sa fonction, amortissant bien les effets des rafales de fréquence 1 à 3 Hz. Son efficacité devient plus faible au-dessus de 5 Hz (rafales de courte longueur d'onde, jouant peu sur le confort). Le système écrête donc bien les pointes d'accélération mais pas totalement car le débattement des volets de voilure n'est pas suffisant pour absorber toute la variation du facteur de charge. Il faudrait changer le rapport de transmission puisque le débattement est limité physiquement. De plus, la surface des moustaches est trop grande, générant une instabilité longitudinale. Pour aller plus loin, des investissements importants auraient été nécessaires – ce que ne pouvait faire la petite équipe réunie autour de ce projet. Le programme s'est donc arrêté sur ces résultats positifs.

Recherche fondamentale. Le concept fonctionne, avec une régulation de la portance de l'avion, générant une diminution de la variation du facteur de charge dû aux rafales et ce, malgré la nécessité d'obtenir un temps de réponse très bref et de pouvoir contrôler activement les effets transitoires dus à l'installation non instantanée de la portance (phénomènes instationnaires encore mal connus). Dans le droit fil des H-100 et GH-80, c'est un résultat très positif, assurant confort, régularité et sécurité du vol. Avec la quantité de données acquises par les essais en vol, l'étude du système Hirsch devrait désormais « passer par l'élaboration d'un vrai modèle mathématique et mécanique du système en simulation ». Ce système, qui a fait ses preuves en vol, est évidemment limité au domaine du bas subsonique. Sa complexité et sa masse ne peuvent le rendre applicable aux avions légers, il faut voir dans cet appareil expérimental



J. Caillard et M. Barry

ANALYSE SPECTRALE DE L'ATTENUATION DU FACTEUR DE CHARGE (avion absorbant et avion non-absorbant)

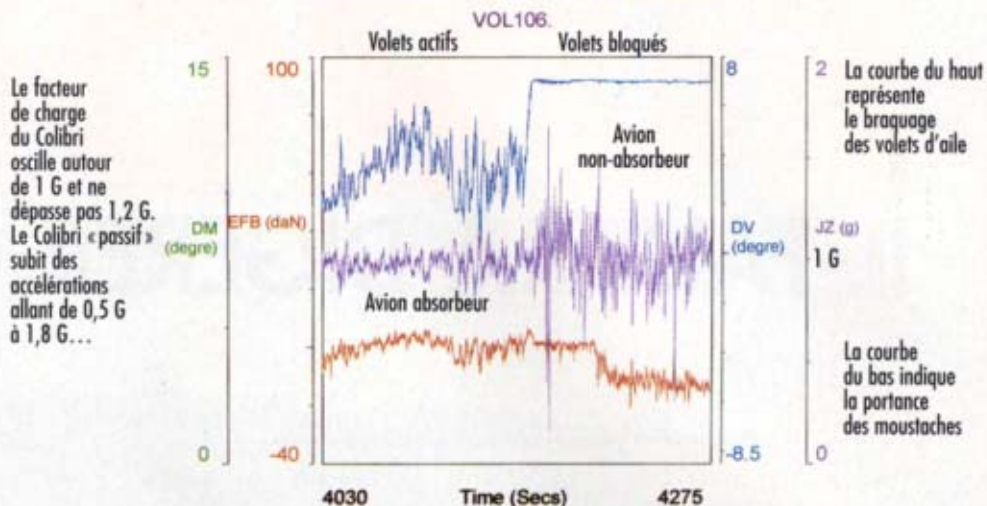
un outil de recherche fondamentale concernant l'absorption des rafales dans les basses couches, en bas subsonique.

Pour le haut subsonique et le supersonique, il y aurait la nécessité d'un asservissement hydraulique (donc l'apport d'énergie à des servomoteurs et une augmentation de masse) et des détecteurs plus rapides, abandonnant au passage la « simplicité » du système Hirsch sans source d'énergie supplémentaire. La possibilité de contrer les rafales dans les basses couches intéresse les militaires (exemple : le vol à basse hauteur des bombardiers B-1 ou B-2, dont des capteurs à la pointe avant contrôlent la portance de l'aile principale par action sur différentes gouvernes) ainsi que les constructeurs d'avions civils, et ce pas seulement pour améliorer le confort des passagers. En « soulageant » l'aile par un contrôle actif généralisé (CAG) lié aux commandes électriques, il est devenu possible de soustraire les avions de ligne à l'action de la turbulence atmosphérique, en « déchargeant » la voilure des efforts aérodynamiques dus aux turbulences par le braquage des ailerons, volets et autres spoilers. De tels essais ont déjà été menés sur un Tristar il y a plus de vingt-cinq ans dans le but, à terme, de diminuer la masse de structure, notamment en braquant les ailerons vers le haut pour diminuer les moments d'emplanture de la voilure. Cette voie, explorée sur les premiers A-320 (ailerons et spoilers pour moduler la portance de l'aile), a été cependant partiellement abandonnée. Les A-330 et A-340 disposent aujourd'hui d'un « amortisseur de turbulence ». La profondeur et la direction peuvent réduire une oscillation longitudinale ou latérale de 2 à 3 Hz jusqu'à 50 % de sa valeur. Les Boeing 777 disposent d'un détecteur sur les deux faces de la dérive pour évaluer les rafales latérales et braquer automatiquement la direction afin de contrer les oscillations induites. Le modèle le plus long (-300) dispose d'un amortisseur en tangage adapté à un taux de 3 Hz.

Dernièrement, le TBH-20 Colibri a été racheté par le comité d'entreprise de la Socata, à Tarbes, où il doit être remis au standard du Trinidad. Mais, sur son flanc, il devrait conserver le nom de René Hirsch à côté de son nom de baptême – un dernier hommage à cet ingénieur dont la « passion durant toute sa vie a été de soustraire un avion à l'action des rafales »...

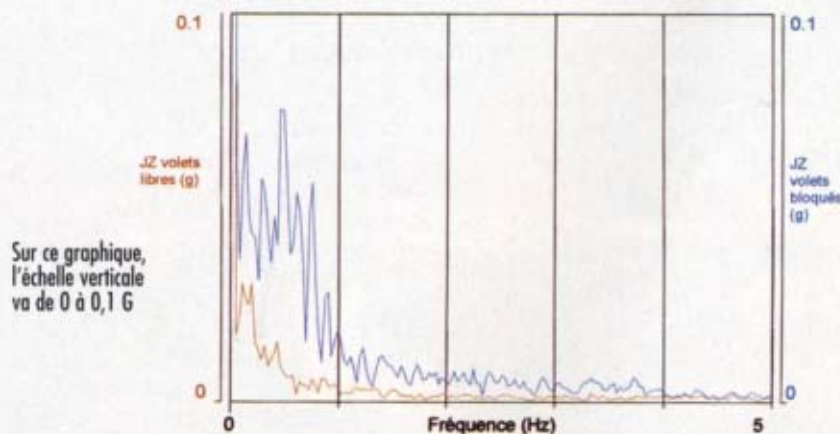
François BESSE

(Photos Ivan Weiler et auteur)



La courbe du milieu représente l'accélération verticale (G) subie par l'avion. Dans la partie gauche (avion absorbant), les pics sont « écrêtés ». Dans la partie droite, volets d'aile bloqués (avion non-absorbant), les accélérations sont nettement plus élevées. L'échelle verticale est de 0/+2 G, avec des accélérations verticales positives ou négatives autour de l'équilibre (1 G)

Analyse comparative de Fourier entre l'avion non-absorbant (courbe du haut) et l'avion absorbant (courbe du bas). Le système inventé par René Hirsch absorbe bien les effets de la turbulence dans la gamme de fréquence allant de 1 à 3 Hz. Vers 5 Hz, le Colibri n'est plus absorbant mais ce type de rafales (courte longueur d'onde et très faible amplitude) n'est pas gênant pour l'équipage et les passagers. Ces deux schémas, représentatifs des résultats obtenus par le Colibri, sont issus des paramètres enregistrés lors du vol 106



Derniers atterrissages pour le Colibri avant la fin du programme...

