



Tribulations transsoniques en 1943

Les pilotes d'essais furent souvent confrontés à des phénomènes diaboliques qu'on ne comprenait pas. Le "mur du son" était ainsi protégé par des pièges, inattendus et mortels dont quelques-uns sortirent, mais sans savoir comment.

Par Corwin H. Meyer,
traduit de l'américain par Michel Bénichou

Le "Spitfire" était, en 1943, l'avion possédant le nombre de Mach limite le plus élevé, grâce à ses ailes très minces.

Le 27 avril 1944, le Sqn Ldr Martindale atteignit Mach 0,89 en piqué avec un "Spitfire" Mk XI dont le moteur explosa. Ici, le "Spitfire" Mk VIII de Robs Lamplough.



Ernst Mach.
Balisticien autrichien, il établit au XIX^e siècle, que la vitesse de propagation des ondes vibratoires (donc du son) ne variait qu'avec la densité du milieu où elles se propagent. Cette vitesse est désignée par la constante Mach 1.

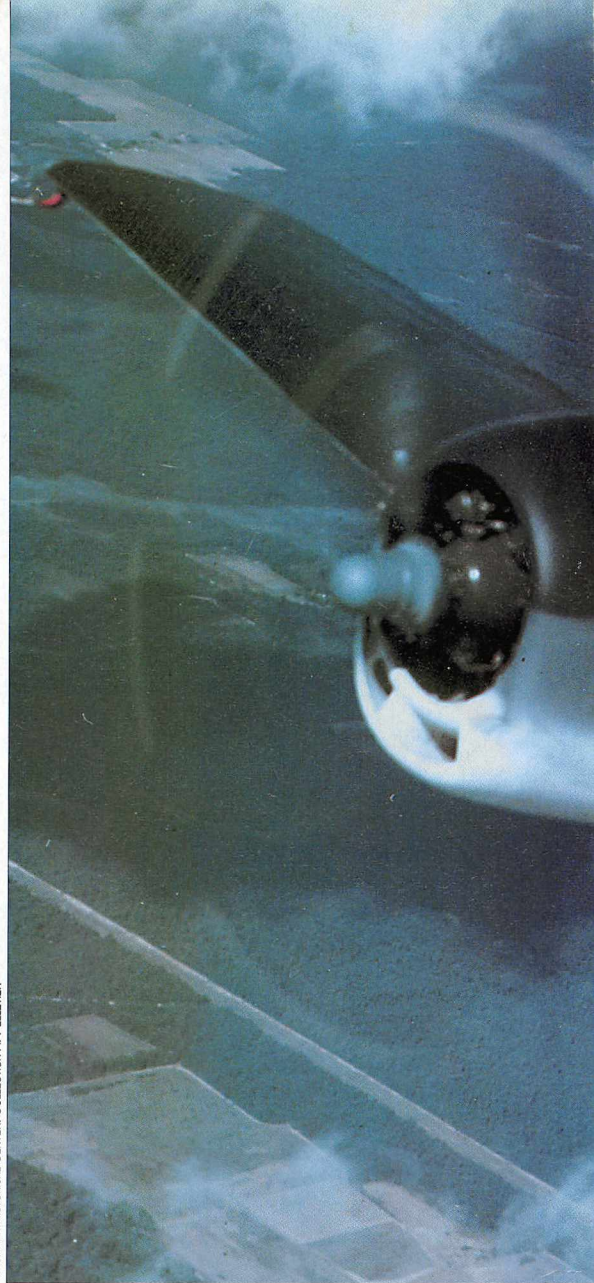
“ Si vous voulez vraiment apprendre, vous devez monter la machine et vous familiariser avec ses particularités en l'essayant vous-mêmes.” C'est Wilbur Wright qui écrivit cela. Cette phrase introduit bien à ce qui va suivre. Le vol de Chuck Yeager à travers le mur du son, dans le Bell X-1, fut une étape fabuleuse de l'évolution de l'aviation. Il pilota cet avion spécialement conçu avec ce que l'on savait du transsonique en 1947 dans un but unique : voir jusqu'où s'étendait le régime transsonique inconnu. Jusqu'à aujourd'hui, beaucoup de gens dans l'aviation croient que l'exploit historique de Yeager ne fut qu'un vol audacieux qui fit s'écrouler pour toujours le mystérieux mur du son.

Ce dont je vais maintenant rendre compte est resté oublié au fond de l'histoire des essais en vol pendant la Deuxième Guerre mondiale. C'est l'histoire des pilotes d'essais civils et militaires s'opposant tout seuls à des effets totalement inconnus de phénomènes incompris, en piqué prononcé à bord de chasseurs aux structures légères. “La compressibilité”. Ce n'était qu'un prélude au franchissement du mur du son. Malheureusement, beaucoup trop de ces pilotes perdirent leur vie en plongeant avec inconscience dans un cirque nouveau et dangereux.

Juste avant la Deuxième Guerre mondiale, les ingénieurs américains ne comprenaient pas ce que les nouveaux très rapides avions de chasse rencontraient au cours de piqués prononcés. Très peu de ceux qui travaillaient dans l'aéronautique, hors du centre de recherches gouvernemental appelé NACA (aujourd'hui NASA) avaient entendu parler de nombre de Mach ou de compressibilité.

Les chercheurs qui avaient tenté d'étudier le phénomène dans les souffleries de l'État au cours des années 20 et 30, s'étaient heurtés au problème des ondes de choc de leurs maquettes entre Mach 0,7 et 1,2. Les mesures étaient à ce point perturbées qu'ils ne pouvaient que simplement essayer de décrire ce qu'ils croyaient avoir compris, au moyen de formules que bien peu pouvaient comprendre.

En décembre 1941, John Stack, chef de la soufflerie à hautes vitesses du NACA affirma : “*Personne ne paraît capable de résoudre ce problème [l'étouffement des souffleries] dans les années à venir... si c'est possible.*” Ainsi, beaucoup pensaient, au NACA, qu'il n'y avait qu'une seule alternative à la condamnation des souffleries supersoniques : concevoir un véritable avion expérimental trans-



GRUMMAN HISTORICAL CENTER. COLLECTION A. PELLETER

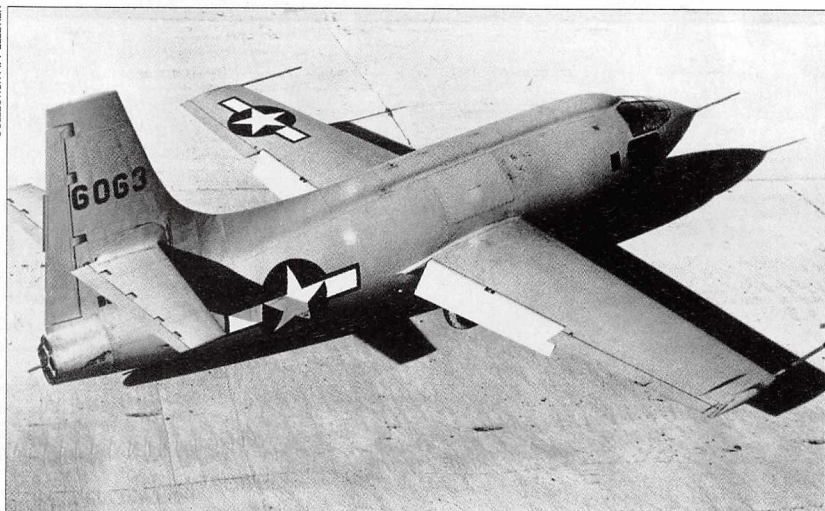
sonique, spécialement équipé. Une réunion eut lieu à Langley, entre le NACA et les militaires, le 15 mars 1944, pour discuter d'une telle machine. Cependant, l'urgence de la production de guerre avait une telle priorité que le projet fut reporté jusqu'après la guerre.

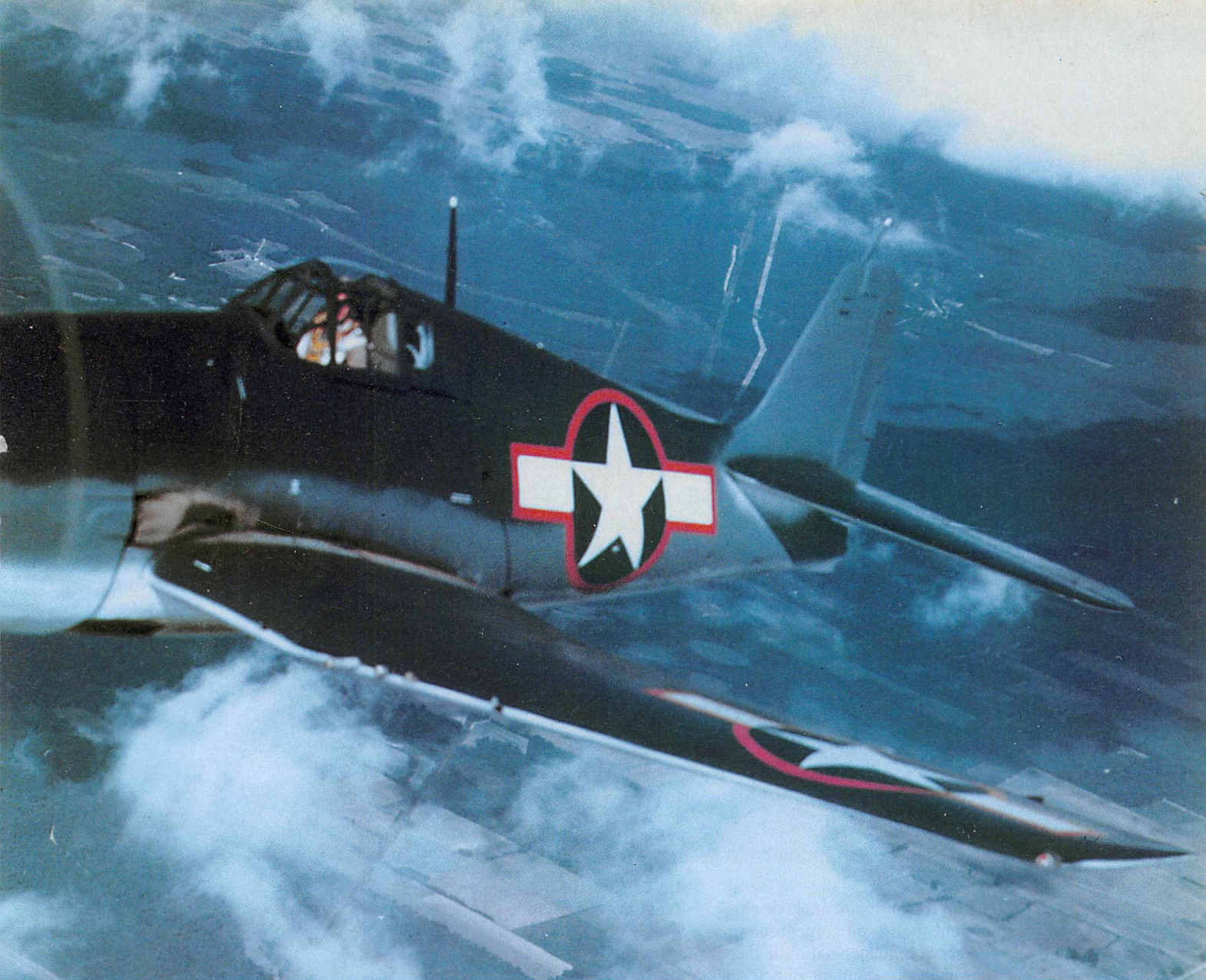
Orville Wright me fait connaître le Docteur Ernst Mach

Mon chef, Bud Gilles, vice-président opérations aériennes chez Grumman, et moi-même entendîmes parler pour la première fois de “nombre de Mach” en écoutant une conférence d'Orville Wright à l'institut des sciences aéronautiques, le 17 décembre 1943. Il utilisa ces termes comme si tout le monde savait de quoi il parlait. Le lendemain, nous allâmes demander à Charley Tilgner, le chef aérodynamicien de Grumman, ce que c'était que le nombre de Mach. Il répondit qu'il en avait entendu parler, mais qu'en fait il ne connaissait pas grand-chose de l'homme ni de ses recherches. Le Dr Mach (1838-1916), balisticien autrichien renommé, fut le premier expert en écoulement supersonique. C'est ainsi que Mach 1 désigne la vitesse du son, Mach 0,5 la moitié de cette vitesse, etc. Mais je devais rapidement, en vol, améliorer ma connaissance des nombres du Dr Mach.

Le Bell X-1, premier avion qui atteignit Mach 1 en vol horizontal, non sans difficultés, propulsé par des fusées. L'histoire de cet avion a été racontée dans nos numéros 281 à 283.

COLLECTION A. PELLETER





Sans me dire pourquoi, la direction me demanda d'interrompre le programme pour l'accroissement de la vitesse du "Hellcat" pour commencer des essais de piqué avec le F4F-3 "Wildcat" BuN° 12249. Un "Wildcat" avait été choisi parce qu'il avait la capacité, en piquant verticalement depuis son plafond, d'atteindre sa vitesse terminale (au-delà de laquelle il n'accélère plus) à 10000 pieds, et d'en sortir grâce à une limite de facteur de charge de + 8 g. Le "Wildcat" était en service depuis cinq ans, et était sorti de centaines de piqués à plus de 8 g, sans dommage.

Le "Hellcat" et moi-même rencontrons "la compressibilité"

Entre le 14 mars et le 3 avril 1944, je totalisai 6,8 heures en dix vols d'essais de ressource à 8 g à trois différentes vitesses, couvrant l'ensemble du domaine de vol. Cela m'entraîna à tirer des g de manière précise sous plusieurs angles de piqué et à différentes altitudes. Pour toute instrumentation particulière, cet avion était muni d'un enregistreur de vitesse et d'accélération fourni par les marins. Le lendemain de mon dernier piqué en "Wildcat", j'eus le plaisir d'apprendre que j'étais désigné pour

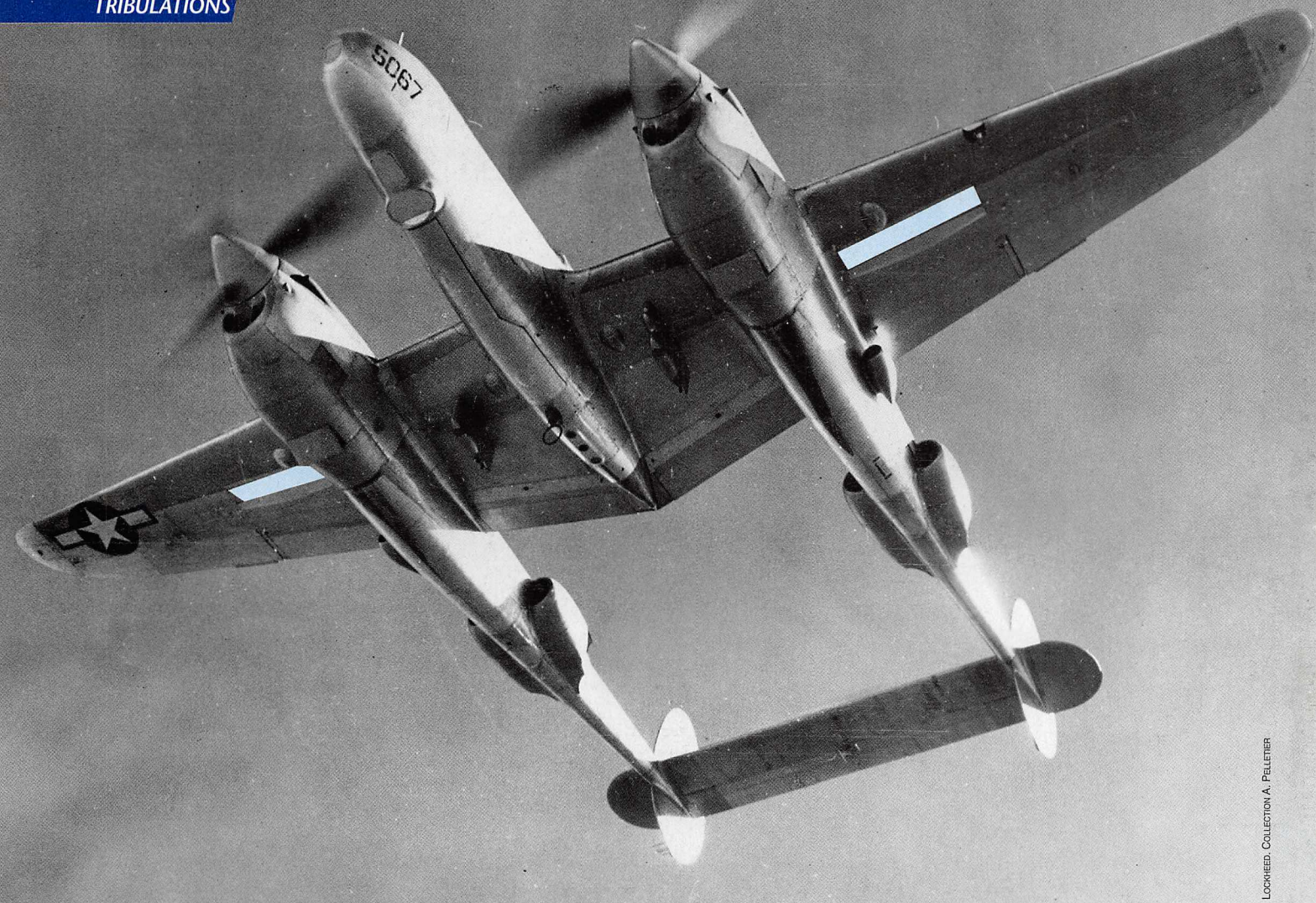
les essais de piqué du nouveau F6F-3 "Hellcat". C'est ainsi que j'allais apprendre un vieil axiome : *"Mère Nature fait souvent passer l'examen final avant de donner sa leçon."*

Le chef pilote d'essais de Grumman, Connie Converse, avait déjà accompli les essais de ressource sous faible accélération, préalable à la réception. Outre ses fonctions de commandant d'aérodrome, sa tâche qui consistait à embaucher, former et entraîner plus de 50 pilotes réceptionnaires était devenue telle, qu'il avait demandé à être relevé des essais en vol.

Nouveau pilote d'essais du "Hellcat" – notre vocabulaire faisait de nous des "pilotes démonstrateurs" –, je reçus l'ordre d'atteindre en piqué, selon les spécifications de l'US Navy, la vitesse de 485 mph (580 mph de vitesse vraie; 780 et 935 km/h) et d'en sortir à 2,5 g, conclusion apparemment facile d'un piqué tout bête.

Lors de mon premier essai avec le F6F-3 "Hellcat" BuN° 26101, le 7 avril 1944, je poussai sur le manche pour adopter un angle de piqué que j'estimai à 60°, et me concentrai totalement sur la vitesse et l'altitude qui variaient en proportions inverses. À pleins gaz, le taux de descente augmenta bientôt jusqu'à 38000 pieds par minute [190 m/s]! Je calculai que j'atteindrais les 485 mph (780 km/h) indiqués juste en passant 10000 pieds et que je redresserais facile-

**Un Grumman
F6F-3 "Hellcat",
en août 1943.**



LOCKHEED, COLLECTION A. PELLETIER

ment en tirant 2,5 g. Pour maintenir l'angle de piqué, je devais constamment mettre du compensateur à piquer, afin de contrer la tendance naturelle de cet avion stable à relever le nez d'autant plus fermement que la vitesse croissait (1).

Au moment où j'allais faire ma petite ressource, je remarquai avec beaucoup d'inquiétude que je n'avais plus d'effort à exercer sur le manche. Le nez de l'avion, à cet instant, s'abaissait de lui-même très vite, augmentant l'angle de piqué sans que je l'eusse voulu ni y eusse contribué! Je ne pilotais plus, je n'étais qu'un sac de sable!

Pour sortir de cette situation effrayante, je commençai à tirer sur le manche d'une manière qui aurait normalement tout arrêté. Aucun effet! Je tirai donc plus fort. Le nez s'enfonça toujours, continuant d'ouvrir l'angle de piqué alors que je tirai de toutes mes forces et des deux mains sur le manche, qui semblait solidement planté dans du béton. L'angle de piqué s'accroissait toujours. La frayeur amenée par l'adrénaline m'envahissait alors que je passais en rugissant 6000 pieds. Il n'était que trop évident que quelque chose de totalement incompréhensible dirigeait l'avion droit dans le sol, à plus de 210 m par seconde. Il me restait 10 secondes à vivre!

Instinctivement, je ramenai d'un coup la manette de gaz sur le ralenti et repris ma traction folle, des

Un Lockheed F-5G. C'est avec cet avion que le phénomène dû au recul du foyer de portance apparut. Plusieurs pilotes furent tués. Des volets furent alors inventés pour sortir l'avion de piqué à haute vitesse. Nous avons figuré ces volets en bleu.



À gauche, Kelly Johnson, chef du bureau d'études du P-38, à droite Millo Burcham, le pilote d'essais; sous un volet de piqué ouvert, sous l'aile d'un P-38.

(1) L'empennage horizontal est déporteur. Plus l'avion va vite, plus cette déportance (qui relève le nez) est forte. Ainsi, plus l'avion accélère en piqué, plus la pression à exercer sur le manche est puissante. La poussée de deux mains peut ne plus suffire. L'action sur le compensateur soulage cet effort. N.D.L.R.

LOCKHEED, COLLECTION A. PELLETIER

Un pilote allemand se heurte à la compressibilité

Après la guerre, Corwin Meyer interrogea des ingénieurs allemands puis des pilotes de Messerschmitt 163.

Josef Hubert fut l'un des scientifiques "enrôlés" de force à Wright Field puis chez Grumman, fin 1945. Il parlait un anglais excellent, et, avait été le chef aérodynamicien du programme du Messerschmitt Me 163 à réaction. Lors des nombreux trajets que nous fîmes ensemble en voiture, il m'en apprit beaucoup au sujet des problèmes de compressibilité avec ailes en flèches allemandes. Il me fit faire la connaissance de Rudy Opitz qui était venu avec lui aux États-Unis, mais travaillait pour le motoriste Lycoming.

Lorsque, dans *Air and Space Magazine* de novembre 1999, je lus une lettre de l'historien William Winter mentionnant que Rudy Opitz avait volé à Mach 0,99 en montée sous 45° en Me 163B, je téléphonai à Opitz immédiatement pour m'informer de ce vol presque supersonique. Clairement, il démentit qu'un tel vol eut jamais eu lieu et me donna les renseignements suivants sur son vol mouvementé :

En juin 1943, il eut pour mission de voler avec le plus puissant Me 163B afin de fournir à la société des moteurs-fusées Walter des données techniques sur le fonctionnement moteur. À cause du manque de place sur le tableau de bord, Rudy fit enlever par les mécaniciens l'horizon gyroscopique, l'indicateur de virage et le viseur, pour leur substituer des instruments de contrôle du moteur.

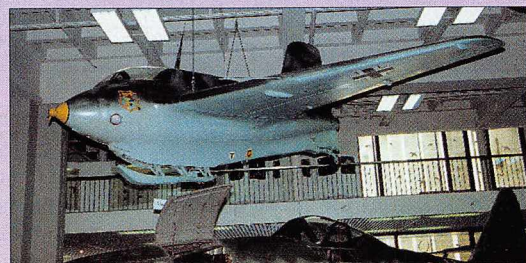
Il mit aussi une caméra de 35 mm sur son casque, pointée vers le tableau de bord, pour photographier ces cadrans.

Une montée à 75 m par seconde

Lors de sa montée sous un angle très important, à plus de 15 000 pieds par minute, il nota bientôt qu'il ne voyait plus l'horizon à cause d'une brume qui n'avait pas été remarquée avant son décollage. Il me raconta qu'il dut trop souvent regarder dehors pour chercher le sol et qu'il ne vit pas qu'il dépassait le Mach limite de 0,81 du Me 163B, et que l'appareil fut soudain secoué par un buffeting important, un violent couple à piquer et une perte totale de la commande de profondeur à Mach 0,84, ce qui lui glaça les os. Instantanément, il coupa les gaz. Finalement, la traînée de l'avion le ramena en deçà de la limite du nombre de Mach critique, là où il put reprendre le contrôle.

L'avion avait perdu son gouvernail de direction et plusieurs morceaux du carénage de l'emplanture des ailes avaient presque été arrachés.

Après avoir fait son rapport, il demanda à Josef Hubert de lui en dire plus sur la compressibilité. Josef lui répliqua qu'il en savait désormais beaucoup plus que lui ! Les souffleries allemandes rencontraient le même problème de "bourrage" aérodynamique que les souffleries du NACA. Je lui ai aussi demandé quel type d'indicateur de Mach ils avaient installé dans le Me 163B. Les Me 163 avaient une lampe rouge, à côté du viseur, qui s'allumait à Mach 0,81, et que le pilote voyait facilement, même en combat, pour réduire aussitôt les



Le Messerschmitt 163 du Deutsches Museum, à Munich.

gaz. La violence des vibrations, des dommages qu'elles causèrent, et de la tendance à piquer dont Rudy me fit la description vivante, sont parfaitement explicables. Le Me 163 n'avait pas d'empennage horizontal pour compenser le recul du foyer de portance à l'apparition de l'onde de choc.

L'épilogue triste de cet essai à faire dresser les cheveux sur la tête, est que le lendemain, les Alliés bombardèrent sa base, à Peenemünde, où se trouvait aussi le centre de tir expérimental des V1 et des V2, et que le programme du Me 163B dut déménager vers un autre aérodrome, et que Rudy ne sut si les précieuses données enregistrées par sa caméra avaient été utiles ou si même elles avaient été récupérées. Opitz avait ainsi appris une leçon à ses dépens. Un pilote d'essais avisé n'abandonne JAMAIS ses instruments de vol sans visibilité !

deux mains sur le manche, en priant pour m'en sortir. Une longue seconde ou deux plus tard, ce fut l'enfer. L'avion commença à être secoué violemment, redressa sous 4 g. Ma traction acharnée sur le manche fit augmenter l'accélération jusqu'à 7 g dans des secousses de plus en plus violentes, avant que je pusse contrôler les effets de l'adrénaline. Finalement, l'avion cessa de descendre après avoir passé 2500 pieds. Le sol enfin, s'éloignait de moi.

Dès que je retrouvai un peu de sang froid, je vérifiai de quels dégâts l'avion avait pu souffrir. Puis, ayant eu assez d'émotions pour la journée, je rentrai lentement chez Grumman, la tête dans le brouillard.

J'étais un jeune pilote d'essais déboussolé. J'étais incapable de comprendre ce qui s'était passé. Mon esprit essayait de décortiquer l'étrange et épouvantable comportement du "Hellcat". Ma première pensée fut qu'un mécanicien avait oublié une clef ou un tournevis dans l'arrière fuselage, et que cela avait temporairement endommagé les commandes. Les oublis d'outils dans les avions n'étaient pas fréquents chez Grumman, mais ça arrivait.

Je me posai, complètement éberlué et très choqué. Lorsque je coupai le moteur, je tremblais tellement que je dis à Scottie McClain, mon pistard, qu'il me fallait rester un peu dans l'avion sous prétexte de prendre quelques notes avant d'oublier. Je suis content qu'il se soit éloigné avec tact vers d'autres avions, sinon, il aurait vu que mes mains tremblaient trop pour que je puisse écrire, ni même tenir un crayon ! Si j'avais essayé de sortir de l'habitacle, je me serais affalé par terre.

Les ingénieurs eux-mêmes n'y comprennent rien

Après en être finalement descendu, je contactai le contrôleur en chef et lui demandai de vérifier soigneusement ce qui se trouvait dans l'arrière fuselage, outil ou débris, et qui aurait pu toucher les commandes. Il ne trouva rien.

J'allai tout raconter immédiatement à des ingénieurs qui ouvrirent des yeux de plus en plus grands au fur et à mesure que les mots se bouscuaient hors de ma bouche. Pendant mon laïus, un ingénieur d'essais enleva le verre fumé sur lequel les indications de vitesse et d'accélération avaient été enregistrées, et le posa sur la feuille d'abaques qui lui permettait de lire les vitesses et g que j'avais atteints. Ce qu'il vit l'assomma. Il lut que j'avais de beaucoup dépassé l'objectif de 485 mph en atteignant 512 mph (823 km/h). Il confirma aussi les 7 g et les fortes vibrations pendant la ressource. Ces secousses sous 7 g auraient amené la structure du "Hellcat" au-delà de ses limites de résistance.

Les vibrations avaient tordu les deux empennages horizontaux sur une demi-envergure, celui de droite de 15° vers le haut, celui de gauche de 15° vers le bas. Les empennages horizontaux avaient incontestablement dépassé leur limite de contrainte permanente, laquelle était de 15 % supérieure à la limite de contrainte calculée pour les opérations.

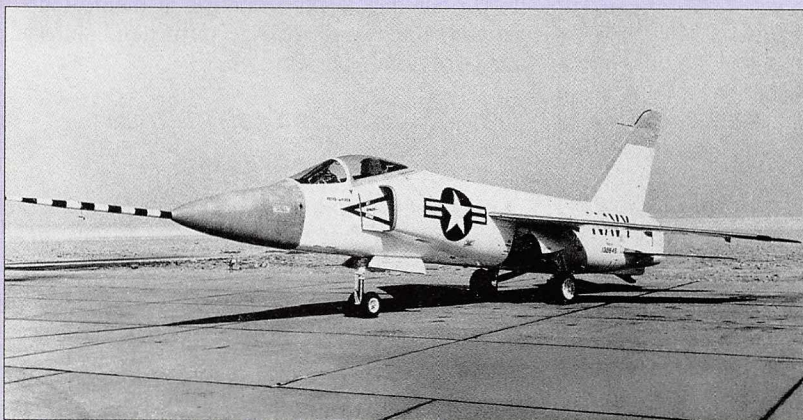
Une inspection minutieuse de l'avion montra de manière très étonnante qu'il n'y avait rien d'autre de tordu, ni aucun rivet de sauté. Je fus aussitôt intronisé membre des "forges Grumman", la fraternité officielle des pilotes de la Navy qui ont amené un avion Grumman au-delà de ses limites calculées et ont pu reprendre les vols sur un autre

De l'importance de l'épaisseur relative

Si l'air – qui est compressible – peut générer une onde de choc en s'écoulant autour du fuselage, du nez, de la verrière, des antennes ou autres protubérances, l'épaisseur des profils de l'aile et de l'empennage horizontal sont à l'origine de l'essentiel de l'effet de compressibilité. Lorsque la vitesse de l'air qui circule autour de l'aile atteint Mach 1 (la vitesse du son) une puissante onde de choc se forme d'un bout d'aile à l'autre avec ses corollaires : variation des moments de tangage, augmentation de traînée, secousses et perte partielle d'efficacité des gouvernes. Tout cela ne disparaît que lorsque la vitesse de l'écoulement revient en deçà de Mach 1. On appelle Mach critique la vitesse de l'avion à laquelle le phénomène se produit, car il ne se produit pas toujours à la même vitesse de vol. Son apparition dépend de l'épaisseur relative.

Cette épaisseur relative est le rapport entre l'épaisseur du profil et la corde. Plus l'épaisseur relative est forte, et plus le Mach critique est faible. Les ingénieurs de Grumman calculèrent qu'avec 16 % d'épaisseur relative, l'onde de choc apparaissait quand l'avion volait à Mach 0,75. Rappelons-nous en effet que l'écoulement de l'air autour de l'aile est plus rapide que la vitesse de déplacement de l'avion, parce que lorsque l'avion parcourt l'équivalent de la corde de son aile, l'air doit parcourir dans le même temps une distance plus grande, l'aile étant bombée.

Sur le P-47, l'épaisseur relative était 15 %. Sur le F11F-1F "Supertiger" de Grumman et le F-104 "Starfighter" de Lockheed, elle était respectivement de 5 % et de 4,3 %, et l'onde de choc se formait à Mach 0,95. Après Mach 1 le phénomène disparaît peu à peu (en fait, l'avion passe devant l'onde); sur ces avions, le passage était très rapide, pratiquement sans conséquences pour le pilote, et n'imposait que de faibles corrections au compensateur.



Le F11F-1F "Super Tiger" qui fut essayé en vol par l'auteur et qui fera l'objet d'un prochain article.



Le F6F-3 n° 3 "Nolo", télécommandé, pour les essais de piqué à très haute vitesse, vola aussi sans pilote à bord.

NORTHROP/GRUMMAN HISTORICAL CENTER

dès le lendemain. Toute la suite du vol fut très embarrassante, car personne chez les ingénieurs ne sut expliquer le gel des commandes et l'augmentation de piqué incontrôlable en dessous de 10 000 pieds, ni la ressource automatique et la reprise de contrôle en dessous de 6 000 pieds. Je n'étais pas tranquille parce que je savais que, pour satisfaire la Navy, j'allais avoir à recommencer ce piqué dès que l'empennage aurait été changé.

Une explication heureusement rationnelle

Grumman avait la grande chance d'avoir à son service un ingénieur-chercheur du nom de Dr Leonard Michael Greene qui – presque personne n'était au courant dans l'entreprise – venait de terminer une thèse intitulée *Théorie de l'atténuation de l'écoulement compressible*. Son ouvrage décrivait avec précision ce qui m'était arrivé, mais, à cause de l'extrême complexité de ses recherches, peu de Grum-



LOCKHEED, COLLECTION A. PELLETRER

maniens avaient été en mesure de le lire. Lorsqu'il apprit ce qui m'était arrivé, il s'y retrouva et décrypta le problème dans l'anglais le plus simple. Il expliqua qu'un "Hellcat" pouvait générer des ondes de choc supersoniques sur toute son envergure à 0,75 de Mach (lors de mon premier piqué j'étais allé jusqu'à 0,77!). Le phénomène était provoqué par la vitesse supersonique atteinte par l'écoulement autour du profil épais de l'aile. Simultanément, avec la formation de l'onde de choc, le foyer de portance reculait de plusieurs dizaines de centimètres au-delà de sa limite arrière. Tout cela avait été à l'origine des fortes vibrations, du blocage de la profondeur et de la diminution de l'assiette, en dépit de mes efforts herculéens. Il ajouta qu'en réduisant les gaz j'avais augmenté la traînée, ce qui, combiné à l'accroissement de traînée dû à l'augmentation de la vitesse du son (proportionnelle à la diminution d'altitude), avait suffisamment réduit le nombre de Mach et sorti l'avion des conditions critiques de l'onde de choc

de la compressibilité. Le foyer de portance ayant retrouvé sa position normale, les efforts sur le manche redevinrent normaux, mais, comme je tirais comme un malade, l'avion prit 7 g en un clin d'œil. Ensuite Greene calcula que si je n'avais tiré que 5 g, j'aurais percuté le sol! Inutile de dire que je commençai à prendre beaucoup de soin pour tenir mon "Hellcat" aussi loin des limites de la compressibilité que possible. J'avais vu le sol monter trop vite de trop près.

Le besoin crée l'indicateur de piqué

Les deux empennages horizontaux furent remplacés par d'autres, renforcés au moyen de plaques d'aluminium d'un millimètre d'épaisseur et de 25 cm de large. Ces plaques étaient aussi efficaces qu'un longeron supplémentaire. L'empennage ayant été renforcé, on me demanda de répéter le piqué à 485 mph, et la ressource sous

Taillé pour voler à vitesse supersonique, le F-104 "Starfighter" fut muni d'une des ailes les plus minces de l'histoire de l'aviation !



La plupart des avions de chasse du début des années 40 étaient susceptibles, en piqué, de rencontrer le phénomène dit de "compressibilité". Notamment les avions très puissants qui, comme le P-47D ci-dessus, pouvaient monter très haut et piquer longtemps avec une grande facilité.

2,5 g. Afin de ne plus dépasser la vitesse requise, je fixai des bandes d'adhésif à hauteur d'œil sur l'intérieur de la verrière, de façon à repérer précisément et progressivement l'angle de piqué nécessaire pour atteindre 485 mph, sans avoir à le dépasser sauvagement comme je l'avais fait lors de ma première rencontre avec le démon de la "compressibilité".

Commençant à 40° lors du vol suivant, j'augmentai de 5° en 5° l'angle de piqué lors courtes descentes, jusqu'à ce que j'eusse établi qu'avec 55° j'atteindrais la vitesse voulue à 10000 pieds, espérant m'être ainsi donné le moyen de ne pas dépasser la limite. Je déterminai ensuite que mes 60° estimés lors de mon presque fatal piqué, en faisaient en fait 75.

Je me lançai donc sans avoir l'esprit tranquille, mais mon deuxième piqué à 485 mph se fit les doigts dans le nez, sans compressibilité.

Mon "rapporteur de verrière" indicateur d'angle de piqué devint obligatoire pour tous les piqués que j'eus à réaliser ensuite en 20 ans de carrière de pilote d'essais.

Pour terminer l'exploration du domaine de vol du

F6F-3 BuN° 26101, conformément aux désirs de la Navy, je devais effectuer des ressources sous 6,5 g à 300 et 450 mph (482 et 725 km/h). Connie Converse me dit qu'il était entré dans la zone de buffeting (vibrations) dès 5,5 g à ces vitesses-là et qu'il avait été victime de deux ruptures d'empennage sans parvenir à l'accélération demandée. Je priai pour que mes nouveaux empennages renforcés résistassent au buffeting jusqu'à 6,5 g. S'ils tenaient, un kit de modification serait préparé pour les 4000 F6F déjà livrés.

À 6,5 g et 300 mph, aucune déformation n'apparut. À 450 mph, le buffeting fut si important (l'aiguille de l'accéléromètre oscillait entre 5,5 et 7,5 g pendant la manœuvre) que les nouveaux empennages furent tordus. L'épaisseur des renforts fut portée à 202/100 et cela fonctionna. Les essais structuraux du F6F-3 demandés par la Navy étaient enfin terminés, deux ans et demi après la livraison du premier "Hellcat" en unité.

L'apparition de la limite de buffeting, autrefois inconnue, fut expliquée par le Dr Greene comme

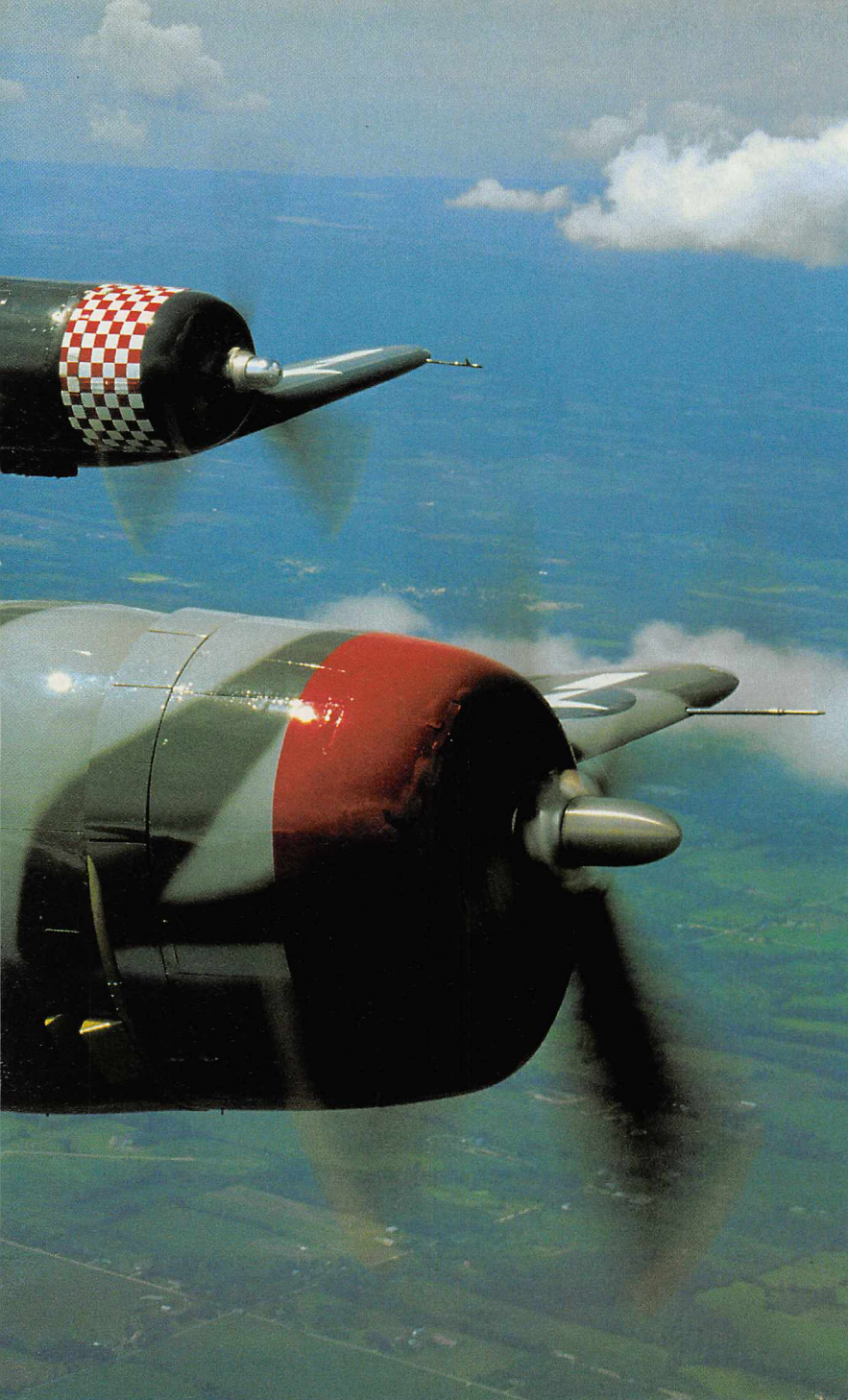


PHOTO XAVIER MEAL

une conséquence d'une charge alaire beaucoup plus élevée associée à une capacité de dépasser largement le 0,7 de Mach du "Wildcat".

Des ondes de choc visibles lors d'un piqué

Lorsque je mettais au point mon rapporteur, je vis, lors d'un piqué à grande vitesse, deux lignes noires sinueuses tout le long de l'envergure depuis l'emplanture. Comme j'approchais des vitesses et altitudes requises, je ramenai mon regard vers l'intérieur de l'habitacle.

Plus tard, je racontai fièrement à mon boss, Bob Hall, l'histoire de ces deux lignes. Il ne me crut pas et me houspilla en me priant de me concentrer sur les instruments jusqu'à la fin de la ressource.

J'avais fait mon observation à peu près en même temps que le Major Barsodi lors d'un essai du P-51 à Wright Field. LUI fut félicité par SON patron, pour SON observation ! Nous avons vu les lignes de Schleiren, matérialisation de l'onde de choc,

déjà remarquée en soufflerie sous certaines conditions d'éclairage. J'accomplis une autre ressource, lentement, dans la zone de buffeting, en piqué à 300 mph, afin d'observer dans le rétroviseur les effets du buffeting sur l'empennage. Je fus très étonné par les oscillations bien visibles de toute la queue et par l'augmentation nette de leur violence avec celle des g. Les extrémités de l'empennage horizontal battaient de 15 cm au point de devenir floues ! Bob Hall avait raison. J'aurai mieux fait de garder les yeux dans le cockpit !

Lorsque je décrivis l'amplitude des vibrations aux ingénieurs, ils répliquèrent que j'exagérais. Ils n'avaient pas vu autant de torsion pendant les essais de rupture de l'empennage, au sol !

Toutes les solutions adoptées lors des essais du F6F-3 amenèrent à concevoir un nouvel empennage tout en tôle de 20/10 pour le F6F-5, bien plus robuste que l'empennage renforcé du F6F-3.

L'information sur la compressibilité est enterrée

Le prototype du F6F-5 fut le F6F-3 BuN° 42186, le millièmème F6F-3. Le rythme de production de 1944 ne laissait que deux mois pour passer du F6F-3 au F6F-5. C'était très court pour porter une version à la structure si modifiée à sa limite requise de +8,5 g en essais statiques et pour ajouter et essayer ce qui devait améliorer l'efficacité au combat : ailerons à compensateur à ressort pour améliorer le taux de roulis (voir notre précédent numéro) à grande vitesse, nouveau pare-brise, deuxième point d'accrochage pour bombe de 450 kg sous l'emplanture de l'aile droite, trois rails sous chaque panneau extérieur pour les nouvelles roquettes de 125 mm, et nouveau moteur Pratt & Whitney R-2800-10W dont l'injection d'eau procurait 300 ch supplémentaires.

Ce prototype fut ainsi équipé du premier système photographiant les instruments du tableau de bord et d'un oscillographe dans l'arrière du fuselage. Le "photo panel" enregistrait six instruments principaux, tandis que l'oscillographe mesurait à partir de six points distincts les efforts de l'arrière fuselage et de l'empennage horizontal. Les ingénieurs pourraient désormais, pour la première fois, vérifier directement où se trouvaient les limites structurales de l'avion par rapport aux spécifications. Heureusement pour moi, le F6F-3 fut le dernier chasseur Grumman conçu et essayé "à la grâce de Dieu". La période des pionniers du vol en piqué était finie.

Les essais en vol structuraux du F6F-5 furent un jeu d'enfant, comparés aux essais agités du F6F-3. Je fis neuf ressources dans la zone de buffeting à 7,5 g, en étant capable de contrôler, à chaque vol, l'augmentation des efforts. Même avec des facteurs de charge plus élevés et un buffeting plus important, l'oscillographe confirma que la nouvelle structure tenait le coup.

Ces essais furent terminés en huit jours, à la satisfaction des marins qui les suivaient. J'étais aussi un pilote d'essais beaucoup plus confiant, maintenant que des enregistreurs permettaient, après chaque vol, de contrôler les efforts subis. Grumman fut la première société, dans l'industrie, à utiliser une instrumentation à oscillographe pour enregistrer les efforts en vol.

Je me suis toujours demandé pourquoi chez Grumman à la direction technique ou dans la



Navy où mes rapports d'essais étaient largement diffusés, personne n'a insisté pour que l'information sur la compressibilité soit incluse dans les manuels de vol. Celle-ci n'étant jamais sortie de nos services, beaucoup de pilotes, séduits lors de leur formation par la docilité du F4F-4 en piqué, crurent que le "Hellcat" se comporterait de la même façon. Après la mise en service du F6F, les rapports de service de Grumman firent trop souvent mention de pilotes qui, s'étant engagés dans des piqués prononcés à haute altitude, avaient continué droit dans le sol. Presque tous ces rap-

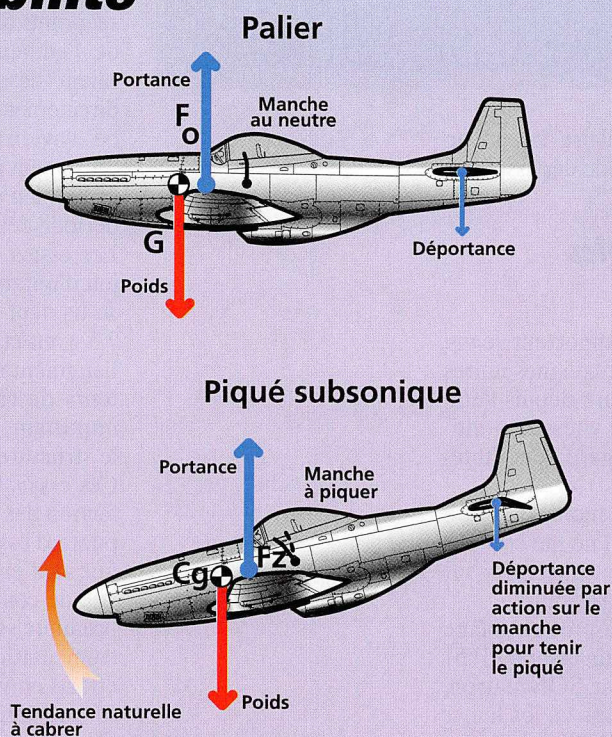
ports s'achevaient sur : "raisons inconnues", ou "défaillance cardiaque".

J'ai aussi vu des photos de "Hellcat" de la Navy qui avaient dépassé les limites de buffeting en combat et qui avaient perdu les deux moitiés extérieures de l'empennage horizontal et de la profondeur. Qu'ils aient ensuite conservé assez de contrôle pour apponter est presque incroyable. Heureusement, ces ruptures se produisirent à l'extérieur de la charnière centrale, là où mon empennage s'était tordu, ce qui permettait de continuer à utiliser la gouverne, même avec une efficacité moindre, pour revenir

La compressibilité

Compressibilité est un terme inadéquat, aujourd'hui inusité, mais né avec les années 40 pour désigner un phénomène alors mal connu, lié à l'apparition d'une onde de choc dans un écoulement supersonique. La pression interne d'un fluide (pour nous, c'est l'air) qui s'écoule, est inversement proportionnelle à sa vitesse. L'onde de choc est la conséquence d'une brutale variation de pression du fluide. Lorsque l'air glisse sur le dessus de l'aile, il est accéléré par la cambrure de l'extrados. C'est ainsi qu'il pourra atteindre une vitesse supersonique avant l'avion.

Mais cette accélération provoque aussi une diminution de pression qui est à l'origine de la force de portance, mais aussi, en écoulement supersonique, d'une l'onde de choc. Cette dernière est accompagnée de diverses manifestations aérodynamiques comme du buffeting ou ce qui fut aussi appelé "inversion de commande" et est expliqué ci-contre.



En **vol en palier**, le foyer de portance **Fz** d'un avion stable de formule classique, se trouve proche du premier quart de la corde de l'aile, un peu en arrière du centre de gravité **Gg**. La position des forces en présence (portance et poids) tend à faire piquer l'avion qui est maintenu en équilibre par la déportance produite par l'empennage horizontal.

En **piqué subsonique**, dans la plage de vitesses d'utilisation normale, si l'avion accélère, la diminution de l'incidence et l'augmentation de la vitesse font que, si la portance reste à peu près constante, la déportance de l'empennage augmente. L'avion a donc une tendance à redresser que le pilote combat, pour conserver son angle de piqué, en poussant sur le manche de plus en plus fort, voire des deux mains, au fur et à mesure que la vitesse croît.



PHOTO XAVIER MEAL

Trois P-51D "Mustang" de collection en formation serrée. Ces avions échappèrent au problème transsonique, parce qu'ils évoluaient le plus souvent dans les basses couches de l'atmosphère.

se poser sur le porte-avions. Sur la base aéronavale de Chincoteague, commandée par le Commander Gene Dare, le service de développement de la Marine conservait le troisième "Hellcat" de série, peint tout en jaune pour être vu plus facilement, et muni d'une télécommande pour voler sans pilote.

Un piqué à mort

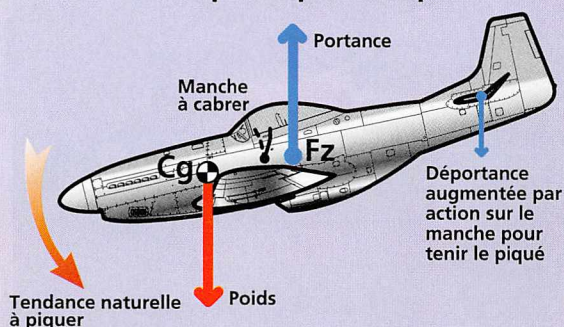
Sa trajectoire était suivie par des théodolites. Lors de son dernier vol, il percuta le sol verticalement lors d'un essai de piqué à 60° commencé à 30000

feet. Le rapport affirma que l'accident était dû à une panne de télécommande. Chez Grumman, on estima que le moment de piqué dû à la compressibilité à Mach 0,75 avait été plus puissant que le mécanisme de la télécommande. Je n'ai pas été mécontent que, grâce aux urgences de la guerre, personne n'ait demandé à Grumman de déterminer jusqu'à quel nombre de Mach le "Hellcat" pouvait aller en piqué vertical. Nos ingénieurs calculèrent que ce devait être environ 0,8 à cause des 16 % d'épaisseur du profil d'aile.

Le "Hellcat" fut le premier d'une longue lignée féline [en anglais cat signifie chat NdT] à passer ses griffes dans le phénomène de compressibilité et au-delà vers le vol supersonique. Lorsqu'ils dépassèrent leur Mach critique, presque tous les avions de chasse de l'époque de la Deuxième Guerre mondiale montrèrent la même tendance effrayante à piquer encore plus, avec vibrations et commandes figées. Par exemple, le pilote d'essais Ralph Virden se tua pendant les essais du P-38, avec d'autres pilotes, ce qui imposa des renforts de structure au fuselage et aux empennages. Pour résoudre le problème, le NACA (aujourd'hui NASA) mit au point des petits volets pour le dessous des ailes. En sortant, ils provoquaient un couple cabreur qui contraignait le moment piqueur quand les commandes étaient figées. Ils ajoutaient aussi de la traînée qui ramenait l'avion en deçà de son Mach critique. Leur puissance permettait en outre une sortie de piqué immédiate. Ils furent montés sur les P-47 et les P-38, mais beaucoup de pilotes avaient déjà sacrifié leur vie au phénomène. C'est triste à dire, mais la Navy n'imposa jamais ces volets sur les 12500 "Hellcat" que produisit Grumman. Avant la fin de la guerre, je fis de nombreux essais de ce système simple mais efficace avec le "Tigercat" et le "Bearcat" et pu dépasser impunément leurs limites de compressibilité en piqué. Ces volets furent un don de Dieu. ■

Matérialisation de l'onde de choc autour d'un F-18, par condensation de l'air humide, brutalement décompressé.

Piqué supersonique



Lorsque l'écoulement autour de l'aile et de l'empennage devient **supersonique**, la déportance de l'empennage diminue, tandis que **Fz** recule. L'avion a désormais une tendance à piquer. Pour la combattre, le pilote tire sur le manche, mais il peut arriver un moment où il n'aura plus assez de force, à moins que la gouverne de profondeur ne soit parvenue en butée. Certains pilotes constatant que l'avion piquait alors qu'ils tiraient sur le manche pour cabrer, ont parlé d'inversion de commande. Il n'existe que deux moyens de se sortir de cette situation : revenir en régime subsonique, abaisser des volets spéciaux sous la partie avant de l'aile pour créer un couple cabreur qui va redresser l'avion, tout en générant une traînée qui va le freiner.

