… et autres idées pour concevoir des avions rapides à ailes basses qui montent et tournent comme des fous.

par **MIKE ARNOLD**

En 1993, peu de temps après avoir établi le record ClaO avec l'AR-5, mes amis et moi avons réalisé une vidéo (« *Pourquoi ça va si vite*«) dans laquelle, entre beaucoup d'autres choses, j'expliquais mes raisons d'avoir configuré l'interface aile/fuselage de cette manière. J'ai parlé pendant 20 minutes des éléments que j'avais découverts dans l'ouvrage de **Hoerner,** qui m'avaient conduit à rendre les flancs du fuselage parallèles, depuis la partie la plus épaisse du profil jusqu'à l'endroit où le bord de fuite des ailes rejoint le fuselage.

Bruce Carmichael et moi avons discuté de l'importance de cette forme de fuselage, ainsi que des raccords d'aile à rayon croissant, pour réduire la décélération rapide de l'écoulement sur la partie arrière de l'aile, au niveau de l'emplanture. Cette décélération entraîne de la traînée et des décollements, surtout à forts angles d'attaque. J'ai également noté (après la visite de **Bruce**) que j'avais dimensionné et positionné la verrière de manière à ce qu'elle remplisse la section transversale du fuselage depuis un point situé directement au-dessus de la partie la plus épaisse de l'aile, jusqu'à un point situé directement au-dessus du bord de fuite, où la verrière atteint son sommet. J'ai dit que je pensais que toute cette attention portée à l'intersection aile/fuselage, ainsi qu'à la position de la verrière par rapport à celle-ci, avait porté ses fruits en améliorant le taux de montée, en réduisant le rayon de virage (je voulais un avion de combat rapproché), et en diminuant la traînée à vitesse maximale. L'**AR-5** monte bien, compte tenu de sa puissance ; il vire à l'intérieur de tous les avions contre lesquels je l'ai fait voler, et il détient un record mondial de vitesse. Donc, je pensais vraiment tenir quelque chose. Mais je ne suis pas ingénieur.

Qu'est-ce que j'en sais, après tout ?

INTERFÉRENCE : LA TRAÎNÉE NÉGLIGÉE ?

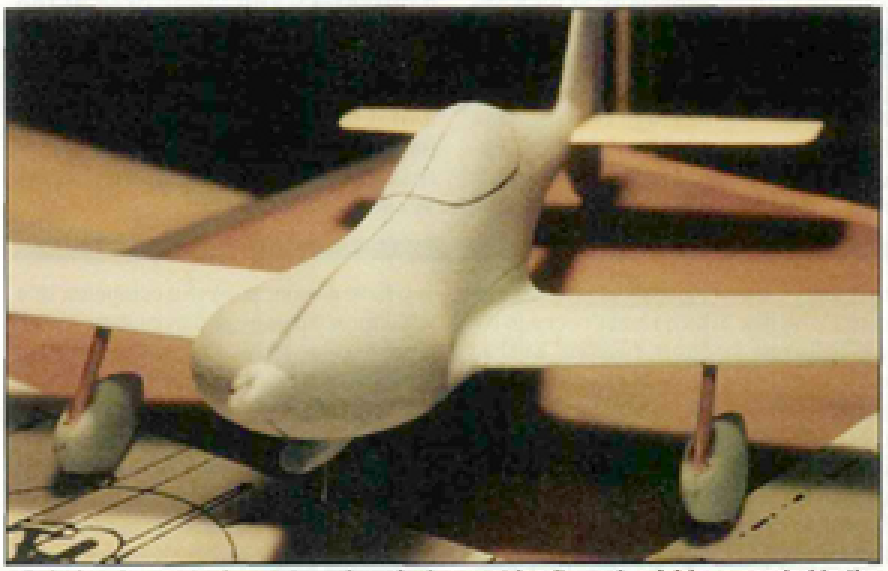
Bruce n'avait pas vraiment de commentaire sur l'importance d'intégrer la verrière dans la conception globale aile/fuselage. Il était enthousiaste à propos des flancs parallèles du fuselage et des raccords d'emplanture à rayon croissant[3]a, mais je pense qu'il considérait que la verrière était trop éloignée de l'aile pour avoir un réel effet sur l'intersection *(«Je pense que la pression chute avec le carré de la distance à sa source.»* — **Bruce Carmichael**). La plupart des huit autres concepteurs que j'ai appelés étaient du même avis. En fait, le consensus général était que j'exagérais l'importance de la traînée d'interférence, celle-ci ne représentant qu'un faible pourcentage de la traînée totale de l'avion. Mais j'avais vu des rendus en couleur des distributions de pression sur des avions de ligne et, même à vitesse de croisière, je pouvais constater que les zones de basse pression au-dessus de l'aile remontaient le long des flancs du fuselage et se rejoignaient au sommet. Il se passait clairement quelque chose à cet endroit précis où je voulais placer une verrière, et je ne pouvais pas simplement l'ignorer.



AR-6 Formula 1 design, showing engine cowl fairing in to fuselage sides over point of max. thickness on wing. Fuselage sides are then parallel back to trailing edge.

Le concepteur de profils aérodynamiques et grincheux autoproclamé **Harry Riblett**[5] pensait que l'histoire de la verrière était une bonne idée, et **Irv Culver**[6] aussi. J'ai présenté mes arguments à **Irv** de manière plus approfondie que je ne l'avais fait pour les autres.

J’avais davantage parlé de gradients de pression avec lui, ce que je n’avais pas fait dans l’article que j’avais écrit pour ***Sport Aviation*** et que je n’avais qu’effleuré dans la vidéo. J’avais eu la chance de travailler brièvement avec **Irv** sur un autre projet, et je savais qu’il s’intéressait particulièrement à la traînée d’interférence, depuis bien avant son passage chez **Kelly Johnson** aux *Skunk Works,* donc son soutien m’avait vraiment rassuré. Mais j’espérais un peu que tout le monde verrait aussi la logique de ce que je faisais, qu’ils diraient tous à quel point c’était une idée géniale, et que nous commencerions à concevoir des avions qui ressembleraient vaguement à l’**AR-5**, pour toujours (et que je deviendrais célèbre, que les gens m’apporteraient des sacs d’argent, et tout ça). Mais ce n’est pas ce qui s’est passé.

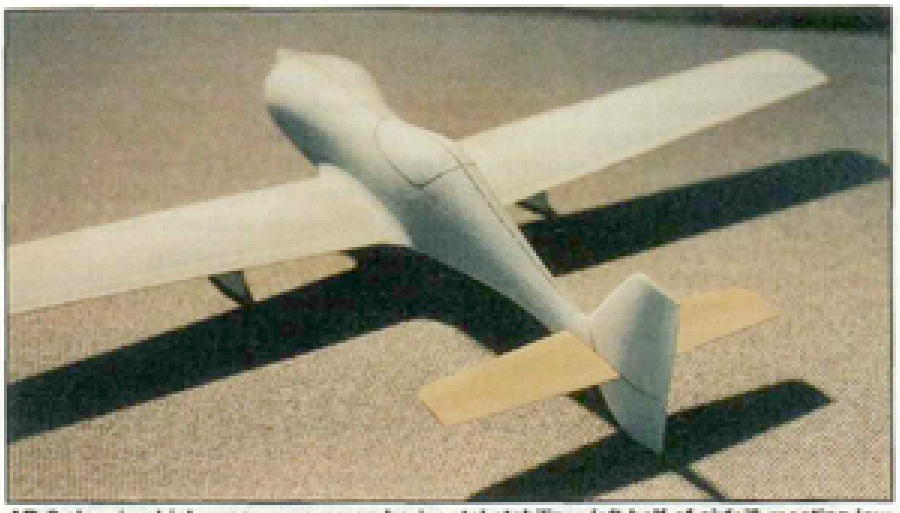


AR-6 showing sort-of-round cowl, and wing root leading edge fairings needed in the high pressure area created by back of cowl.

Trois ans s’étaient écoulés, et personne n’en parlait. Les vidéos avaient été envoyées, et les gens écrivaient des critiques élogieuses à leur sujet, mais ils mentionnaient rarement la question de la traînée d’interférence. Personne d’autre ne remettait en question ni ne confirmait l’idée que la position de la verrière était un élément important dans le couple aile/fuselage, ni même que la traînée aile/fuselage était un sujet important. Deux rebelles notoires et moi pensions que c’était une bonne idée, et j’étais toujours aussi fauché.

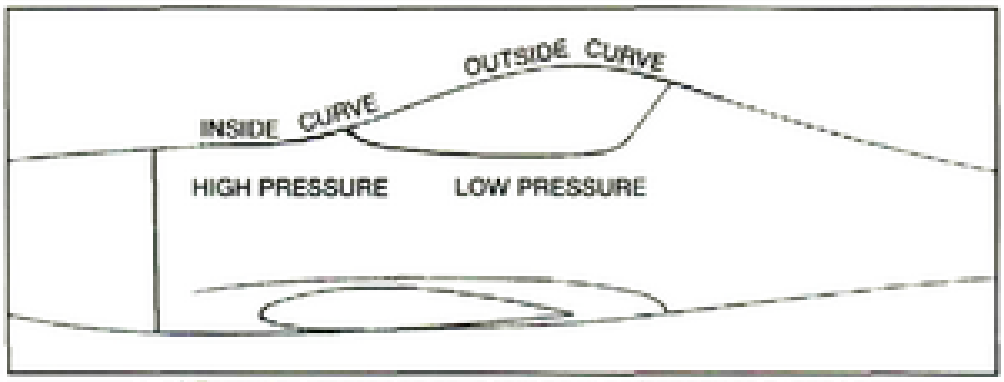
Le problème lorsqu’on essaie de parler de la traînée d’interférence aile/fuselage, c’est qu’il est très difficile de la mesurer, à moins de disposer d’un ordinateur très puissant ou d’une soufflerie sous la main — et même dans ce cas, ce n’est pas une partie de plaisir. La plupart d’entre nous devront se rabattre sur quelques formules éprouvées et supposées fiables, basées sur des estimations passées qui semblaient fonctionner, pour calculer l’interférence au niveau de l’emplanture de l’aile dans nos conceptions. **Hoerner** suggère simplement de considérer que la traînée de la surface de l’aile recouverte par le fuselage est équivalente à la traînée d’interférence à l’emplanture, mais beaucoup se contentent de deviner. La plupart des concepteurs à qui j’ai parlé m’ont dit que la traînée d’interférence est généralement estimée à environ 4 % à 6 % de la traînée totale d’un avion moyen — donc on parle seulement de quelques miles à l’heure, alors pourquoi y accorder de l’importance ? Mais voici ce que j’ai vu dans **Hoerner**, qui me fait penser qu’il est important de maintenir la traînée d’interférence aussi basse que possible sur un design déjà propre.

LE SUPER MESSERSCHMITT



AR-6 showing high pressure area on horizontal stabilizer (aft half of airfoil) meeting low pressure area on vertical stabilizer (around point of maximum thickness on vert. stab.).

Hoerner a réalisé de nombreux travaux en soufflerie en Allemagne pendant la guerre, et dans *Fluid-Dynamic Drag*, il présente des analyses fascinantes de la traînée du **Me 109**, basées à la fois sur des calculs et sur des données expérimentales issues de la soufflerie. Chaque écrou, bosse et antenne est examiné, avec le calcul de sa surface équivalente de traînée et de son coefficient. Cela m'a été très utile de voir exactement ce qui génère de la traînée, combien, et pourquoi. Passionnant. À la fin du chapitre, **Hoerner** mentionne que la vitesse du **Me 109** passerait de 378 mph à 396 mph si le même avion, avec la même forme et les mêmes profils, pouvait être entièrement lisse… sans antennes, ni ouvertures pour les canons, ni rivets, ni interstices… absolument lisse. Il s'est arrêté là, mais cela m'a fait réfléchir à ce que cela signifie en termes de traînée d'interférence pour l'**AR-5**. L'**AR-5** est, en quelque sorte, ce **Me 109** nettoyé. Il n'a ni antennes, ni ouvertures, ni rivets, ni fentes…



AR-6 Formula 1 racer design, showing wing/canopy relationship.

C'est exactement ce que **Hoerner** décrivait. Il fait tout ce qu'il faut pour réduire la traînée de moitié, comme dans son hypothétique **Super Me 109**.

Alors que se passe-t-il pour la traînée d'interférence sur ces deux avions quand on réduit la traînée totale de moitié ? La forme n'ayant pas changé, la traînée de l'intersection reste la même, mais sa part relative dans la traînée totale de l'avion «nettoyé» aura doublé ! **Hoerner** estimait que la traînée d'interférence du **Me 109** « sale » représentait 4,3 % de la traînée totale de l'avion — ce qui signifie qu'elle passe à environ 8,6 % de la traînée totale sur le **Super Me 109**. Et là, ça commence à devenir significatif !

Pour compléter cela, voici quelques réflexions d'**Irv Culver**, qui nous rappelle que la traînée d'interférence peut être très faible si l'on s'y prend bien (*voire même négative ; c'est-à-dire que l'aile et le fuselage ensemble peuvent en réalité produire moins de traînée que la somme des deux mesurés séparément*). Mais elle peut aussi être très élevée si l'on s'y prend mal (et les deux avions auront pourtant l'air corrects, à moins de savoir ce qu'il faut observer). Si l'intersection est mal conçue, on peut facilement doubler cette traînée (2 x 8,6 % = 17,2 %). En revanche, si l'intersection est bonne, on peut théoriquement réduire la traînée d'interférence à zéro (ou moins). Dans notre **Super Messerschmitt,** cela représente donc la différence entre aucune traînée d'interférence et une traînée supplémentaire équivalente à environ 17,2 % de la traînée totale, générée à l'emplanture de l'aile et ajoutée à la traînée de l'avion tout entier !

Et tout cela se passe en vol horizontal. Nous n'avons même pas encore commencé à appliquer la pression arrière sur le manche, qui fait alors multiplier ces 17,2 % d'une manière terrible et déstabilisante, jusqu'à ce que l'avion s'enlise dans son propre sillage sur-expansé.

Lorsque j'ai conçu l'**AR-5**, je ne mesurais pas pleinement à quel point cette traînée augmentait vraiment à des angles d'attaque plus élevés. Je n'ai rien trouvé de définitif à ce sujet dans mes livres, et aucun des autres concepteurs ne semblait en savoir beaucoup non plus. Mais **Irv** raconte une histoire à propos d'un concepteur qui n'arrivait pas à faire décoller son nouvel avion, et ce, jusqu'à ce qu'**Irv** arrive et réalise un nouveau raccord d'emplanture d'aile (à rayon croissant). Ce concepteur est devenu célèbre par la suite, mais la traînée d'interférence causée par le fuselage particulier de ce modèle — de style **P-40**, à fond arrondi et effilé — était si importante qu'elle avait cloué l'avion au sol. Je ne savais pas exactement quelle était l'ampleur de cette traînée, mais, à mon avis, c'était clairement un point auquel il fallait prêter attention.

«LA TRAÎNÉE D'INTERFÉRENCE AUGMENTE APPROXIMATIVEMENT AVEC LE CARRÉ DU CL.»[19]

Whaou ! Ça fait environ 15 ans que je lis Hoerner. Je le fais pour le plaisir. Parfois, je cherche juste un détail par simple curiosité, pour clarifier un petit point dans ma tête, quand soudain quelque chose me frappe en plein visage. J'adore *Fluid Dynamic Drag* pour ça. Il y a quelques années, je suis tombé sur cette phrase qui disait que la traînée d'interférence augmente avec la portance. Je venais de finir de lire un article de **Stan Hall** dans ***Sport Aviation[10]*** sur l'importance des ailes à grand allongement sur les avions de Formule 1. Il expliquait que, puisque ces avions passent beaucoup de temps en virage, ils doivent avoir une faible traînée aussi bien en virage que sur les lignes droites, et que pour y parvenir, il fallait réduire la traînée induite (la traînée générée par la portance) en utilisant des ailes à grand allongement. Il concluait qu'un allongement de 8:1 était probablement un bon compromis entre solidité, poids et réduction de la traînée induite. Il montrait à quel point la traînée induite était importante lorsqu'on tire le manche en arrière dans un virage à 3 G. Cette petite traînée induite de 2 à 4 % de la traînée totale en vol rectiligne devient soudainement 9 fois plus grande en virage ! Cela peut ajouter un tiers ou plus à la traînée totale de l'avion ! C'est comme déployer des aérofreins à chaque virage ! La traînée induite augmente avec le carré du coefficient de portance (Cz). C'est une augmentation terrifiante, mais c'est dans tous les livres. C'est facile à calculer, personne ne la remet en question. C'est pour cela que les planeurs, qui volent à basse vitesse (et avec des coefficients de portance élevés), ont des ailes longues et fines.



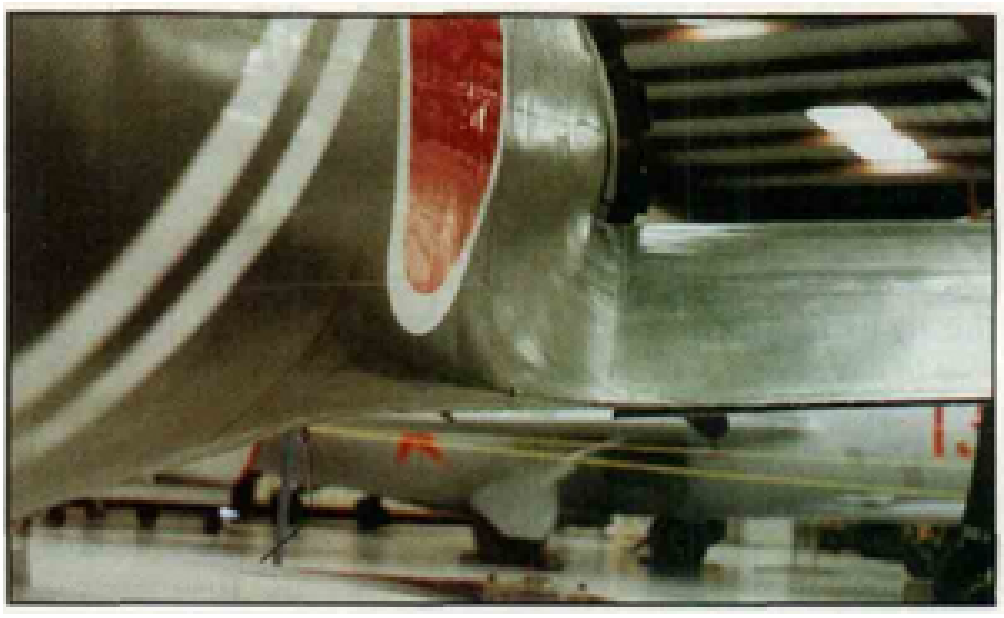
Arnold AR-5, Mitsubishi Zero, and Supermarine Spitfire, showing expanding radius wing root fairings. Rounding the trailing edge of the fairing as it blends into the fuselage (as on AR-5 and Zero) helps prevent early stall (and also allows a shorter fairing).

Alors me voilà, un soir, en train de lire **Hoerner**, fouillant pour trouver quelques indices dans le chapitre sur la traînée d'interférence, quand je vois encore cette relation : «La traînée d'interférence augmente approximativement avec le carré du Cz.».

Sauf que cette fois, c'est la traînée d'interférence qui augmente à ce rythme vertigineux, pas la traînée induite. Incroyable ! Je n'avais encore jamais vu cela ailleurs. C'était **Hoerner,** depuis le début !



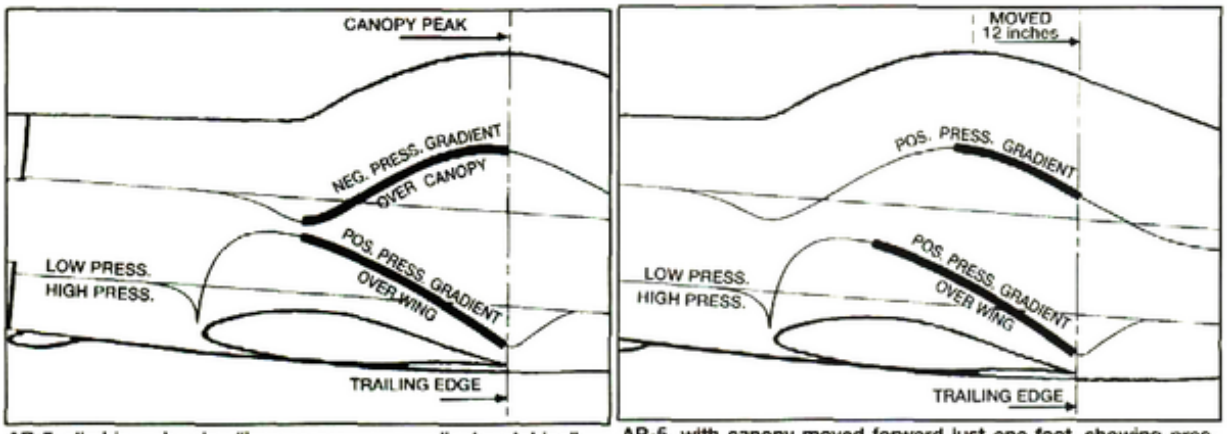
Si cela est exact — ou même simplement proche de la vérité (tous les ingénieurs ne considèrent pas **Hoerner** comme une parole d'évangile) — cela signifie que non seulement la traînée induite (celle qu'on cherche à compenser en affinant les ailes) est multipliée par 9 dans un virage à 3 G, mais qu'il me dit aussi que la traînée d'interférence à l'emplanture de l'aile augmente dans les mêmes proportions ! Pire encore que ce que j'imaginais ! Et bien sûr, tout ce qui est vrai dans un virage à fort facteur de charge est aussi vrai en montée, parce qu'après tout, un virage à 3 G, c'est simplement une montée en cercle. C'est pourquoi les avions qui doivent bien grimper et évoluer à haute altitude (et donc avec des coefficients de portance élevés), comme le **U-2**, ont eux aussi besoin d'ailes longues et fines. Quand le coefficient de portance augmente un peu, la traînée induite augmente énormément. Et la traînée à l'emplanture de l'aile fait exactement la même chose !



Alors maintenant je me demande vraiment : pourquoi faisons-nous tant d'efforts et dépensons-nous autant pour construire des ailes aussi longues et fines que possible (avant d'atteindre des limites de poids et de résistance), afin de lutter contre une traînée relativement faible (la traînée induite est estimée à environ 3 % de la traînée totale de l'**AR-5** à pleine vitesse), et ne prêtons-nous pas la même attention à la traînée d'interférence (comme mentionné plus tôt, estimée entre 4 et 6 % sur la plupart des avions modernes à ailes basses, à haute vitesse), qui est plus importante, et qui augmente de la même manière que la traînée induite, au même moment (c'est-à-dire à des Cz plus élevés, comme lors du décollage, de la montée, des virages ou en vol à haute altitude) ? Il me semble que des emplantures d'aile à faible traînée sont tout aussi importantes que des ailes longues et fines.



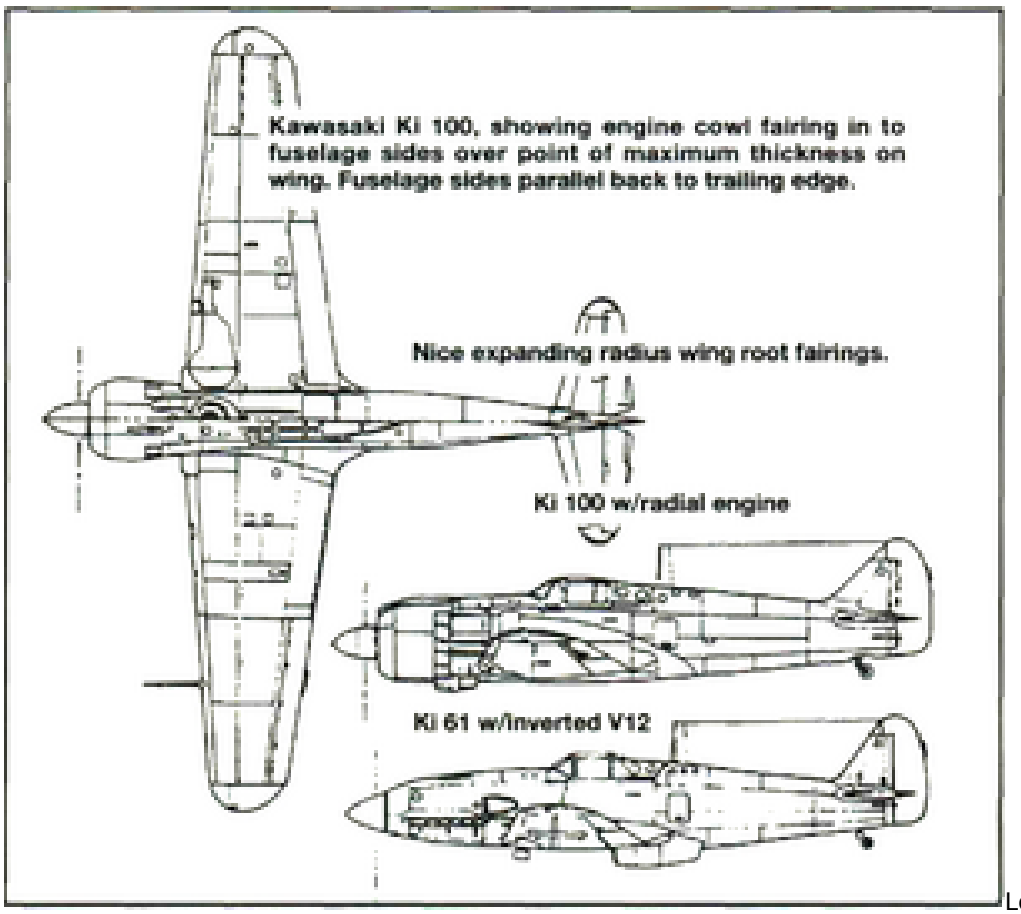
Arnold AR-5



AR-5, climbing, showing "inverse pressure gradient matching" as I think it should be (gradients canceling each other).

AR-5, with canopy moved forward just one foot, showing pressure gradients lined up (adding to each other. Boo!).

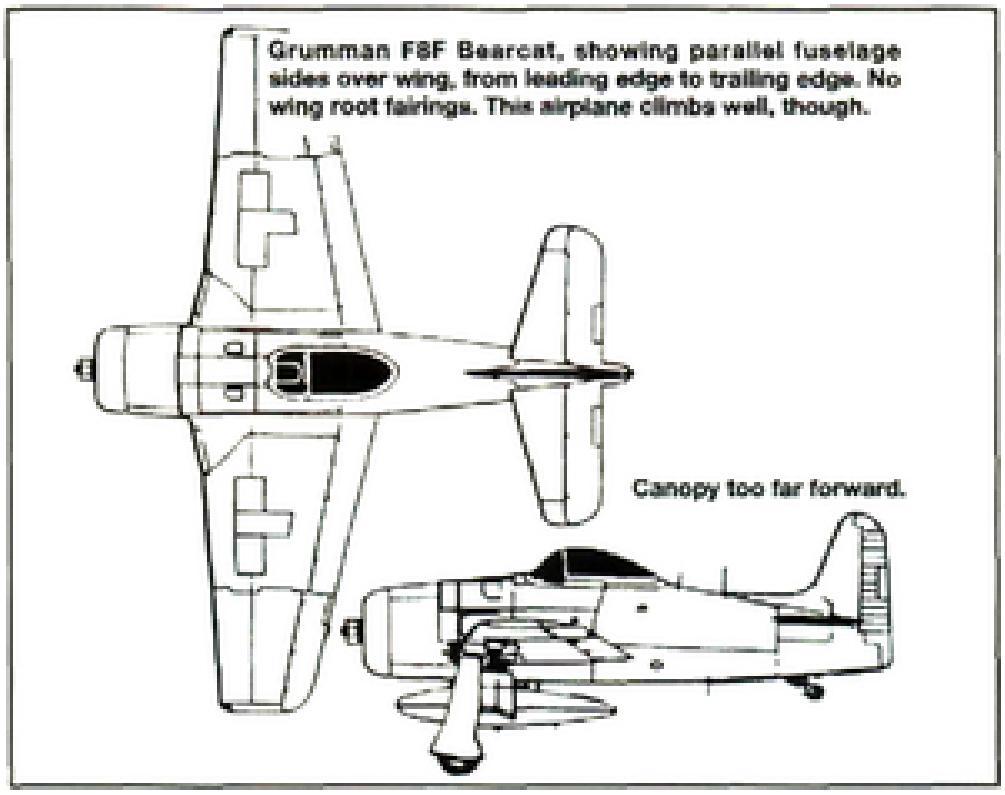
À LA RECHERCHE D'UNE CONFIRMATION



Lorsque j'ai conçu l'**AR-5**, j'ai cherché d'autres exemples d'avions qui semblaient avoir été conçus autour de l'emplanture de l'aile, comme

l'**AR-5**. J'ai découvert que le très réussi chasseur de l'armée japonaise, le **Kawasaki Ki-100**, avait des flancs de fuselage droits depuis le point le plus épais de l'aile jusqu'au bord de fuite, et que le moteur en étoile était caréné dans les flancs du fuselage avant le point le plus épais de l'aile — exactement comme j'en étais venu à penser que cela devait être fait. Mais cet avion était une modification du **Ki-61 «Tony»**, un chasseur à moteur en ligne, donc bien sûr, les flancs du fuselage étaient déjà étroits et droits.

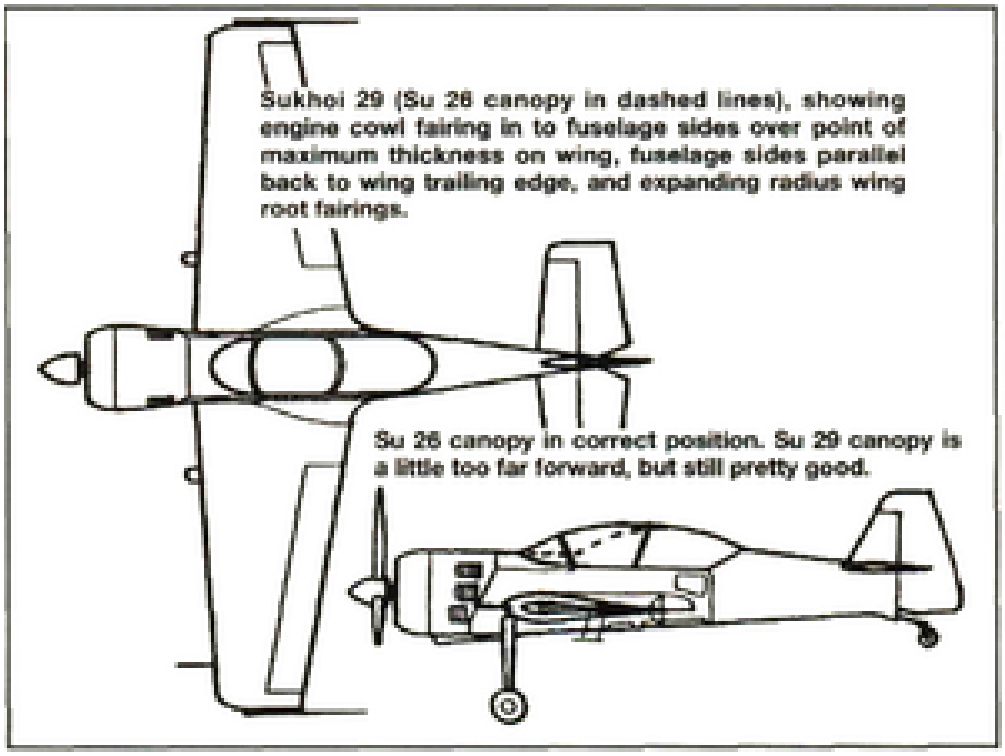
Il ne semble pas que cela ait été fait intentionnellement. C'est juste tombé comme ça. L'avion avait cependant un très bon taux de montée. Et, même si le moteur en étoile volumineux augmentait la surface frontale et n'était pas aussi aérodynamique que le moteur en ligne, la vitesse restait à peu près la même. Intéressant, mais il est difficile d'en tirer des conclusions.



Bien que cela ne se voie pas sur la plupart des dessins, le fuselage par ailleurs aux courbes complexes du **F8F Bearcat** est visiblement aplati sur les côtés, au-dessus de l'aile, depuis le bord d'attaque jusqu'au bord de fuite. Cela a évidemment été fait délibérément. **Grumman** a manifestement fourni un certain effort pour cela. Mais la verrière n'est pas placée exactement là où je pense qu'elle devrait l'être et, comme c'était courant sur les avions à aile médiane à l'époque, il n'y a pas du tout de carénage à l'emplanture de l'aile. (Les données de **Hoerner**[13] indiquent que même un congé de rayon constant tout autour de l'emplanture réduit la traînée sur une paroi plate de tunnel. Il recommande un rayon d'environ 6 % de la corde à l'emplanture de l'aile.) Ils ont donc manifestement prêté attention à la traînée d'interférence chez **Grumman**.

Quelqu'un savait quelque chose !

Le **F4U Corsair** a sa verrière presque au bon endroit, mais je n'ai trouvé aucun autre avion à aile basse dont les flancs du fuselage restent parallèles. En revanche, les exemples de congés à rayon croissant sont nombreux. Je pense qu'ils sont surtout des tentatives pour corriger les effets d'un rétrécissement trop précoce du fuselage. Les **Spitfire**, **P-40** et **Zéro** en avaient de très beaux.
Ce n'est qu'après le vol de l'**AR-5**, avec l'apparition des avions de voltige **Sukhoï 26 et 29**, que j'ai trouvé un autre avion à aile basse conçu de manière similaire. Et encore, ce n'est même pas vraiment une aile basse : c'est plutôt une configuration aile basse/médiane. Mais malgré tout, on retrouve tous les éléments : le capot moteur en étoile, plus large que le fuselage, est parfaitement raccordé aux flancs du fuselage, et ce raccord est totalement effectué au moment où il passe au-dessus de la partie épaisse de l'aile. Les flancs du fuselage restent parallèles à partir de là jusqu'au bord de fuite, exactement comme sur l'**AR-5**.



La magnifique verrière gonflée commence au même point, au-dessus de la partie la plus épaisse de l'aile, et atteint son sommet au niveau du bord de fuite, sur le **Su-26** monoplace. Le **Su-29,** un biplace, montre que même les avions à deux ou quatre places peuvent avoir ce type de configuration aile-fuselage, bien que la verrière atteigne son sommet un peu trop en avant sur cet appareil. Les deux avions possèdent des carénages à rayon croissant, comme le mien.

Quelqu'un, là-bas en **Russie**, devait vraiment penser que la traînée d'interférence était importante. Mais je n'ai aucune idée s'ils ont fait tout cela pour les mêmes raisons que moi, ou si ça s'est simplement trouvé que la tête du pilote était directement au-dessus du bord de fuite de l'aile, donc ils ont mis la verrière à cet endroit. Et peut-être que c'était tout simplement plus facile de garder les flancs du fuselage parallèles.

Mais cet avion est connu pour son taux de montée exceptionnel et ses performances verticales inhabituelles (où il faut tirer très fort sur le manche en espérant ne pas perdre trop de vitesse pendant la montée à fort facteur de charge). Se pourrait-il qu'ils aient fait des essais en soufflerie là-bas et découvert l'emplacement idéal pour la verrière afin de réduire la traînée d'interférence ? Et que, par hasard, ce soit exactement l'endroit que j'avais pressenti depuis le début ? Et maintenant, c'est vers eux que vont les gens avec des sacs d'argent ?

Quoi qu'il en soit, je me suis simplement fié à une forte intuition quand j'ai dessiné l'**AR-5** pour la première fois. Le rapport d'allongement de l'aile est de 8:1, ce qui donne une charge alaire en envergure de 31,5 lb par pied. Je savais donc que la traînée induite serait faible — c'est celle qui est facile à calculer. Et, comme je l'ai souvent répété, je croyais aussi que la traînée d'interférence à l'emplanture de l'aile serait très faible. Je ne savais juste pas à quel point c'était important.

Je n'ai aucun moyen de prouver que cette traînée d'interférence est effectivement très basse, mais **Peter Lert** a été surpris de devoir tirer aussi fort sur le manche en virage serré pour commencer à faire chuter la vitesse. Et l'avion monte à 1100 pieds par minute avec, d'après mes calculs, à peine 50 chevaux (à 5600 tr/min). Il se trouve aussi que ses chiffres de traînée sont étonnamment bas pour un petit avion à train fixe :

- CX surface alaire = 0,016
- CX surface mouillée = 0,0037
- Surface de traînée totale = 0,88 pied².

Les aérodynamiciens disent que ce sont parmi les valeurs les plus basses jamais observées pour un avion à hélice, qu'il ait un train rentrant ou non.

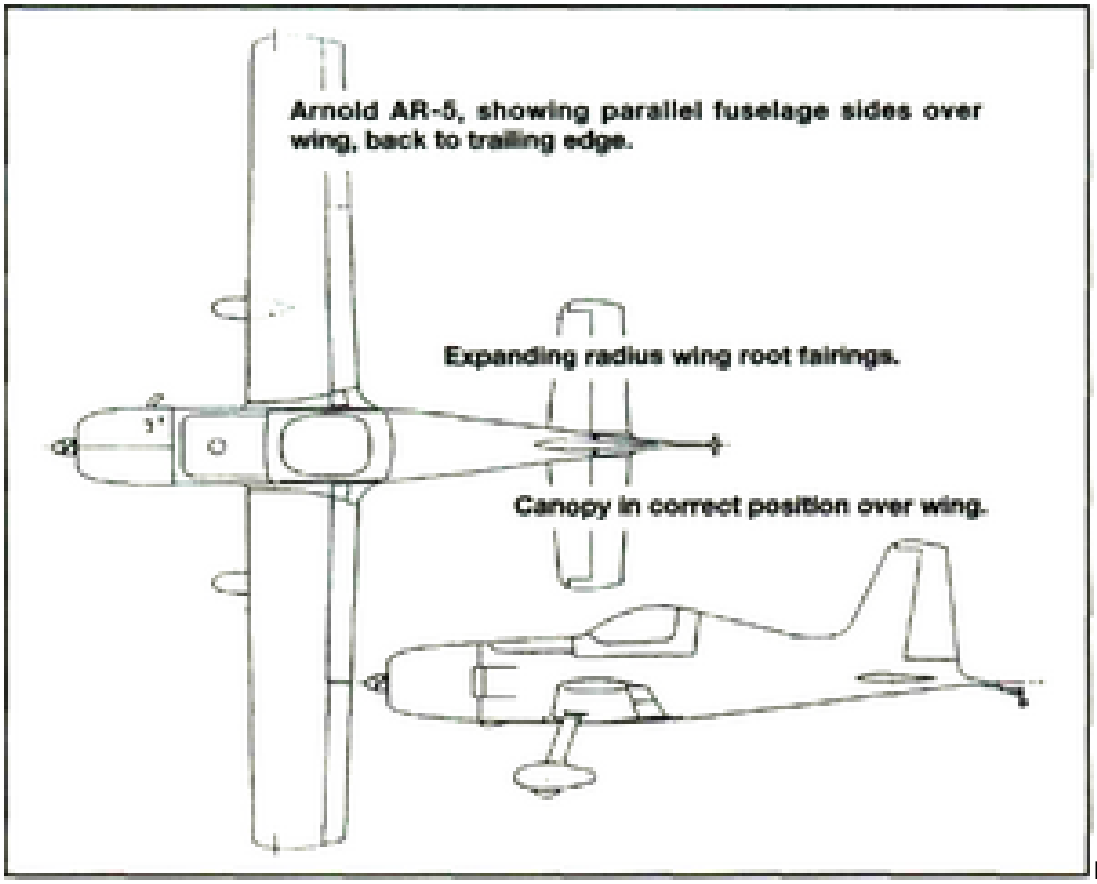
L'AR-6 : UN AVION QUI N'A JAMAIS ÉTÉ

Quand je me suis assis pour concevoir l'**AR-6**, en 1993, j'étais plus convaincu que jamais qu'il devait être conçu autour de l'emplanture de l'aile, tout comme l'**AR-5** l'avait été. Tout ce qui était possible devait être fait pour réduire la traînée d'interférence, ainsi que la traînée induite, sur l'**AR-6**, car il s'agissait d'un avion de course de

Formula 1, et comme **Stan Hall** l'avait souligné, il passerait beaucoup de temps à encaisser des charges en G assez élevées dans les virages. Si la traînée d'interférence était élevée, non seulement il serait plus lent en ligne droite, mais il s'essoufflerait dans les virages à mesure que la traînée s'accumulerait.

J'avais conçu l'**AR-5** en 1981, et je comptais utiliser tout ce que j'avais appris depuis pour concevoir l'**AR-6**. Il devait être mon «*tour de force de la traînée d'interférence».*

J'ai commencé par passer en revue ce que je savais.



Hoerner dit que la majeure partie de la traînée qui nous préoccupe (celle qui augmente à un rythme vertigineux à mesure que le coefficient de portance augmente) est générée sur la partie arrière du dessus de l'aile, là où elle rejoint le flanc du fuselage. Il est facile de voir que le gradient de pression positif prononcé (air décélérant, pression en augmentation) qui existe déjà sur cette portion du profil de l'aile devient encore plus raide en raison de la présence du fuselage.

Je vois deux raisons principales à cela :

Même si les flancs du fuselage sont droits et parallèles (comme les parois de la soufflerie utilisées par Hoerner comme exemple), la friction de peau ralentit l'air qui s'écoule le long du fuselage, ce qui accentue la décélération au-dessus de l'aile et aggrave le gradient de pression positif générateur de traînée.

Si les flancs du fuselage commencent à se resserrer avant d'avoir atteint le bord de fuite de l'aile (comme c'est le cas sur presque tous les avions à aile basse que j'ai examinés), la réduction de la surface de section transversale du fuselage au-dessus de la partie arrière de l'aile ralentit encore davantage l'écoulement, ce qui accentue à nouveau ce redoutable gradient de pression positif.

C'est pour cela que cet autre avion ne pouvait pas décoller jusqu'à ce qu'**Irv** utilise un carénage à rayon croissant pour combler l'espace laissé par le fuselage rétréci. Sans les carénages, lorsqu'on levait le nez pour générer une portance maximale au décollage, la traînée d'interférence — déjà élevée — montait en flèche.

Ma solution à ces deux problèmes – simplement pour revenir à la situation initiale, avant que le fuselage ne soit ajouté à l'aile – consiste à maintenir les flancs du fuselage parallèles depuis la partie la plus épaisse de l'aile jusqu'au bord de fuite ; et, pour compenser la décélération causée par la friction de peau le long des flancs, à ajouter des carénages à rayon croissant.

Cela pourrait ramener le gradient de pression positif sur la portion arrière de l'aile à la normale, à condition qu'aucun autre facteur ne vienne l'aggraver.

Mais la suggestion intrigante d'**Irv**, selon laquelle la traînée d'interférence peut être rendue négative (*«On peut faire croire à l'aile qu'elle est plus fine à l'emplanture»*), m'a poussé à aller plus loin.

J'ai tracé une courbe approximative sur une vue latérale de l'ancienne **AR-5,** représentant ce que je pensais être la distribution de pression au-dessus du fuselage. Je l'ai *«estimée à l'œil»* en me basant sur les distributions de pression d'avions de forme similaire, en me souvenant que la pression est basse sur les courbes convexes (extérieur), haute sur les courbes concaves (intérieur), et qu'elle augmente sur les parties arrière des corps profilés, là où ils se contractent. Ensuite, j'ai tracé la distribution de pression de l'aile à l'emplanture telle que je l'imaginais en montée.

Quand j'ai superposé les distributions de pression du cockpit (verrière) et de l'aile, j'ai regardé comment elles s'alignaient et là, surprise ! … la zone de haute pression à l'avant de la verrière se trouve directement au-dessus de la zone de basse pression au-dessus de l'aile et la zone de basse pression au sommet de la verrière est directement au-dessus du mauvais gradient de pression positive sur la partie arrière de l'aile. Elles tendent à s'annuler mutuellement lorsqu'elles sont alignées ainsi – ce qui réduit l'inclinaison prononcée du gradient de pression positif sur la portion arrière de l'aile.

Mais regardez ce qui se passe lorsque la verrière est déplacée, même légèrement, vers l'avant ou l'arrière par rapport à cette position idéale. Au lieu de s'annuler, les champs de pression s'additionnent là où ils se superposent sur le flanc du fuselage, ce qui accentue le gradient de pression positive au niveau du bord de fuite. Je pense que le bon alignement de ces champs explique en partie pourquoi la traînée d'échappement qui se forme sur le flanc du fuselage de l'**AR-5** est si droite, comparée à celles que je vois sur d'autres avions à aile basse. Sur les autres, elle plonge systématiquement à l'arrière de l'aile, mais sur l'AR-5, le flux chargé de suie reste bien haut et vient frapper de plein fouet l'empennage horizontal (je ne m'y attendais pas).

Je crois que faire correspondre inversement les gradients de pression en plaçant la verrière au bon endroit (et en évitant de rétrécir trop tôt le fuselage) permet d'éviter la séparation du flux (source de traînée), réduit les écoulements transversaux sur le fuselage, et diminue la traînée due aux expansions et contractions inutiles du flux (traînée de pression). Mais cela reste une hypothèse de ma part.

Le moteur **Continental O-200** monté sur l'**AR-6** est large. Tout en gardant le capot moteur aussi compact que possible, j'ai aussi essayé de le rendre aussi plein et arrondi que possible, pour minimiser les variations de vitesse près de l'hélice et éviter la traînée générée par les intersections entre les capots à « bosses ». J'ai utilisé cette forme généreuse pour créer une autre zone de haute pression au-dessus de la partie avant de l'aile (là où elle connaît une basse pression), en intégrant doucement le capot aux flancs du fuselage, au niveau du point de plus grande épaisseur du profil (surface concave = haute pression).

Ce gros capot a également permis d'intégrer un système d'échappement accordé sous le moteur. Pour éviter les problèmes liés à la collision entre le pic de pression à l'avant de l'aile (point de stagnation) et la haute pression causée par le rétrécissement du capot moteur, j'ai gardé les flancs du capot parallèles et droits en bas, et j'ai façonné une petite pièce de carénage sur le bord d'attaque pour adoucir la transition au niveau de l'emplanture de l'aile.

Bruce souligne qu'il est important de garder les coins inférieurs du fuselage bien arrondis près du bord d'attaque afin d'éviter de perturber le flux d'air à haute pression provenant du dessous du fuselage lorsque le nez se cabre. **Irv** rappelle que, d'après lui, il n'y a pas autant à gagner à jouer sur les formes situées en amont du point de vitesse maximale (au niveau de l'épaisseur maximale de l'aile), car l'écoulement s'adapte naturellement dans cette zone – l'air crée, en quelque sorte, son propre carénage.

Mais selon moi, si une bosse (comme un capot ou une verrière) doit de toute façon se trouver dans cette zone, pourquoi ne pas la placer de façon à ce qu'elle aide, plutôt que nuise ?

La verrière, bien sûr, est conçue et positionnée pour générer une haute pression là où l'aile subit une basse pression, et une basse pression là où le gradient de pression positive culmine, c'est-à-dire au niveau du bord de fuite de l'aile.

Vous remarquerez que les empennages de l'**AR-6** sont assez grands pour un avion de course de la catégorie *Formula 1*. J'ai constaté que les marges de stabilité en tangage et en lacet de l'**AR-5** — même si j'avais utilisé de grandes surfaces de queue et un bras de levier arrière de longueur normale — étaient inférieures à ce que j'avais prévu. Je savais que le long nez allait être déstabilisant, mais il y a plus que ça.

Hoerner explique que les raccords à rayon croissant à l'emplanture des ailes sont déstabilisants, car ils déplacent le centre aérodynamique de l'aile vers l'arrière, au niveau de l'emplanture[14]. Je pense que cela s'applique également à toutes les autres modifications que nous avons apportées à l'emplanture. Rien n'est gratuit ! Si vous utilisez un système de compensation par inversion des gradients de pression dans votre

conception, soyez prêt à utiliser des coefficients de puissance de queue légèrement supérieurs (je dirais environ 5 % de plus) que ce que vous utiliseriez normalement.

Je pense que c'est un compromis plus que raisonnable, étant donné que la traînée générée par l'empennage n'augmente pas comme le font la traînée d'interférence et la traînée induite (lorsque la portance augmente).

Bien que la traînée d'interférence ne soit pas aussi importante au niveau des empennages, car ces intersections se trouvent dans l'écoulement beaucoup plus lent de la couche limite épaisse du fuselage, j'y ai vu une occasion d'utiliser à nouveau le principe de *«compensation inverse des gradients de pression»* (j'ai demandé à d'autres comment je devrais appeler ce phénomène… ce terme semble le décrire aussi bien que n'importe quel autre). J'ai donc placé la zone de haute pression du stabilisateur horizontal dans la zone de basse pression du stabilisateur vertical. Ça ne peut pas faire de mal.

Et j'ai aussi essayé de positionner les carénages de roues de façon à ce que leur point d'épaisseur maximale se situe directement sous le pic de pression qui se forme à l'emplanture de l'aile, comme je l'avais déjà fait sur l'**AR-5**. **Harry Riblett** pense également que c'est une bonne idée. C'est le seul à l'avoir remarqué. Nous pensons que cette compensation inverse des gradients de pression permet d'adoucir l'impact du bord d'attaque de l'aile (ou bien cela pourrait simplement réduire la traînée des carénages — dans les deux cas, ça me va).

J'ai été inspiré pour concevoir l'**AR-6** par le pilote de *Formula 1* **Troy Channing,** que j'ai rencontré à **Oshkosh** en 1993. J'étais juste en train de commencer la conception détaillée quand **Troy** a été tué dans un **Mustang II** près de **Livermore**, en **Californie**, et je n'ai jamais retrouvé l'enthousiasme nécessaire pour finir l'avion.

Mais je me réfère encore souvent à cette maquette pour me rappeler à quoi ressemble la compensation inverse des gradients de pression, si on la prend vraiment au sérieux. Je la partage ici dans le même esprit.

ÇA RESSEMBLE À UNE « LOI DES AIRES »

Dans mon article de janvier 1993 dans ***Sport Aviation*** (*Getting the Most Out of 65 HP*), j'ai dit que j'avais arrangé l'aile, la verrière, le fuselage et les carénages de roues de manière à former une sorte de *«loi des aires du pauvre»*. J'avais lu quelque part que **John Thorp** avait dit cela à propos de son **T-18.**

Des aérodynamiciens ont rapidement fait remarquer que la *«loi des aires»,* à proprement parler, n'était valable que pour les vitesses transsoniques et qu'il était donc trompeur de dire que je l'avais appliquée pour réduire la traînée en régime subsonique. La loi des aires stipule que les avions conçus pour le vol transsonique ou supersonique doivent avoir une aire totale de section transversale qui s'étend et se contracte de façon fluide tout au long de leur longueur, afin de retarder et de réduire la montée brutale de la traînée qui se produit lorsque l'avion approche de la vitesse du son. Suivre cette *«loi»* impliquerait, par exemple, de soustraire l'aire de section transversale de l'aile (d'un bout à l'autre) de celle du fuselage, afin d'éviter une augmentation soudaine de l'aire totale de l'avion en présence de l'aile. Si je devais soustraire toute l'aire transversale de l'aile de 6 pouces d'épaisseur de l'**AR-5** à son fuselage… il ne me resterait plus de fuselage du tout !

C'est pour cette raison que les avions supersoniques ont des ailes très fines (et des fuselages en forme de bouteille de Coca).

Mais, je n'ai pas besoin de compenser toute l'aile sur l'**AR-5**, car en vol subsonique les choses fonctionnent différemment. En dessous des vitesses transsoniques (disons, sous 350 mph ou 560 km/h), le fuselage ne *«ressent»* pas la présence de l'aile au niveau des extrémités, car la pression, à cette vitesse, se dissipe rapidement dans toutes les directions à partir de sa source. Contrairement à ce qui se passe à des vitesses transsoniques, où la pression prend une forme plate, comprimée, semblable à un disque. À des vitesses plus lentes, je n'ai à prendre en compte que la portion de l'aile située à proximité immédiate du fuselage. Ce n'est pas totalement différent, mais c'est suffisamment différent.

Alors, découragé d'utiliser encore le terme *«loi des aires»,* je l'appelle désormais *«compensation inverse des gradients de pression»* et tout le monde est content.

Cela décrit d'ailleurs bien mieux ce que je fais.

REFERENCES

1. Why it goes so fast. » Jan. 1993, The Arnold Company, 5960 So Land Park Dr., #361, Sacramento, CA 95822.
2. Hoerner, Sighard F., « Fluid Dynamic Drag, » 1965, Hoerner Fluid Dynamics,
P.O. Box 65283, Vancouver, WA 98665.
3. Carmichael, Bruce, noted aerody namicist specializing in laminar flow, 34795 Camino Capistrano, Capistrano Beach, CA 92624.

3a. Carmichael, Bruce. « Bruce Carmichael’s Personal Aircraft Drag Re duction, » Fall l995. (Selfpublishcd-see address above) page 152. This wonderfully informative book is the only one I’ve ever seen that spells out the advantage of paral lel fuselage sides. It’s about time!
4. On August 30, 1992, the AR-5 set a 3 km straight line speed record of 213.18 mph in F.A.1. Class ClaO, near Davis, CA.
5. Riblett, Harry C., author and pub lisher of « GA Airfoils, » June 1990, 416 Riblett Lane, Wilmington, DE 19808.
6. Culver, Irv H., noted aerodynamicist specializing in interference drag, propellers and lots of other stuff, 225 Redlands St., Playa Del Rey CA 90293.
7. Arnold, Mike S., « The AR-5 – Get ting the Most Out of 65 HP, » Sport Aviation, Jan. 1993, pg. 35.
8. « Fluid Dynamic Drag, » pg. 14-7
9. Ditto, pg. 8-11
10. Hall, Stan., « High Aspect Ratio Wings for Formula One Racers, » Sport Aviation, Sept. 1988, pg. 33
11. Lert, Peter, « Crockett Rockett » (AR-5 pilot report), Air Progress Maga zine, July 1995, pg. 38
12. Carmichael, Bruce, « Drag Analysis of the Arnold AR-5 Airplane, » CON TACT Magazine, Jan-Feb. 1994, pg. 15
13. « Fluid Dynamic Drag, » pgs. 8-10 and 8-12
14. « Fluid Dynamic Lift » (Hoerner), pg. 11-19