

A la recherche des AILES VOLANTES PURES

Bernard Rigoulot

Une curieuse histoire de l'Histoire de l'Aviation. On y trouve de grands ingénieurs, expérimentateurs infatigables, peu préoccupés de commerce ; poètes en quête de l'improbable perfection, ils ont droit à notre respect.

Colère

Un sénateur américain a remonté furieusement les bretelles des jeunots de chez Northrop en leur disant qu'il ne voterait pas un dollar pour leur mal foutue B2 qui n'égalait même pas les ailes du vieux "Jack" ; que leur gadget en plastique était tellement nul qu'il était infoutu de voler droit sans que ses crocodiles aient la gueule ouverte et que ceux-ci allaient de toutes façons le bouffer !

Commentaire

Le lecteur fera le sien mais auparavant, RCM l'invite à lire l'histoire des ailes volantes pures... ou presque.

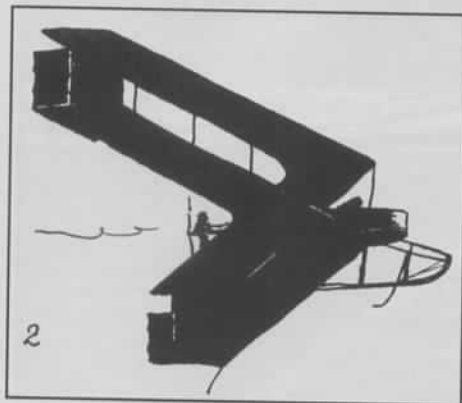
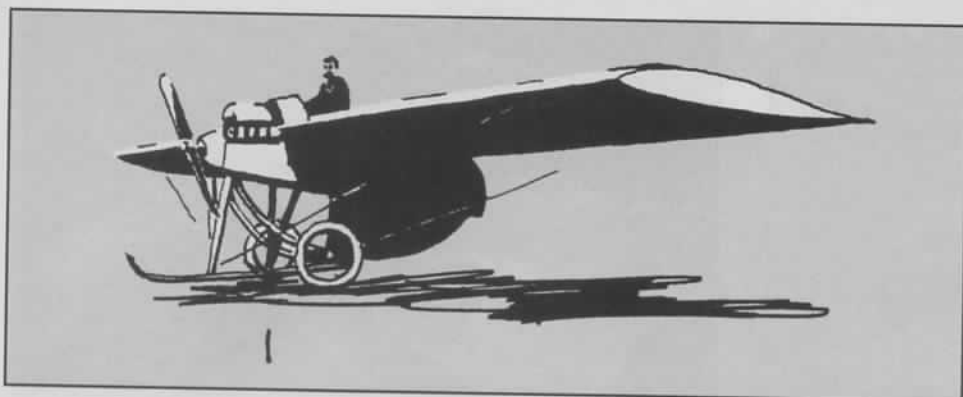
Rêve

Dès qu'on commença à mesurer trainée, portance et moments (la soufflerie Eiffel est centenaire), on rêva de supprimer les trainées inutiles. Puisqu'un profil à double courbure se passait de stabilisateur éloigné, on gomma celui-ci et le fuselage qui le tenait.

Arnoux

C'est ainsi qu'Arnoux fit voler en 1912 un "sans queue" qui s'avéra rapidement inutilisable tant il errait à l'encontre des vœux du pilote.

Si la stabilité longitudinale était présente, l'insuffisance des surfaces verticales ne fournissait pas assez de raideur en lacet (on disait "d'effet girouette"). Par ailleurs, l'absence de dièdre n'aidait pas la tenue en roulis (dessin 1).



Dunne

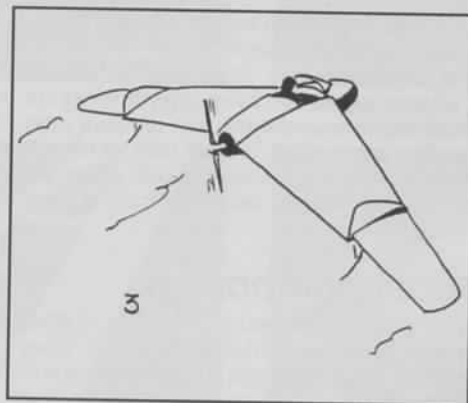
A la même époque, un génie, Dunne, rassemblait déjà tout le nécessaire pour faire incomparablement mieux : un fort vrillage sur une voilure en forte flèche procurait un effet dièdre (6° de flèche valent 1° de dièdre) et un peu de raideur en lacet qu'il complétait par des cloisons marginales verticales réunissant les deux plans de la cellule (dessin 2). L'appareil était bien mis au point et le pilote avait une vue imprenable sur la Manche qu'il franchit en vol.

Burgess et Dunne

En 1913, on retrouve la formule aux Amériques où même sur l'eau, elle donne satisfaction. Son architecture permettait le monoflotteur avant, au centre de gravité, deux ballonets en bouts de voilure, donc en arrière, tenant à flot... roulis et tangage. L'obéissance en vol était surtout le fait des cloisons/gouvernails marginaux qui donnaient le lacet ; le roulis verse suivait, induit par la forte flèche de voilure. Les ailerons suffisaient pour tenir le roulis et du fait du fort vrillage n'étaient pas trop générateurs de lacet inverse. Une réussite injustement oubliée, mais que de traînée avec toutes ces ficelles ! On est encore loin de l'aile pure !

Le grand problème

C'est le lacet inverse ! Dès la soufflerie, il apparaissait : les maquettes d'ailes pures monoplanes épaisses avec flèche et vrillage pour la stabilité tangage, effilement allégeant la structure et favorisant l'obéissance en roulis, étaient souvent jolies mais dès qu'on braquait les ailerons, la portance de l'aile à l'aileron levé décroissait... et sa traînée aussi ; le contraire pour l'autre... et le nez partait à l'encontre du virage souhaité. Les pilotes de planeur connaissent bien ce défaut croissant avec allongement et inci-



dence et que le "différentiel" n'atténue que peu... Et tous les expérimentateurs de peser contre le manque de raideur en lacet et le manque de gouvernail pour "conjuguer" et conserver bonne place au fil de laine.

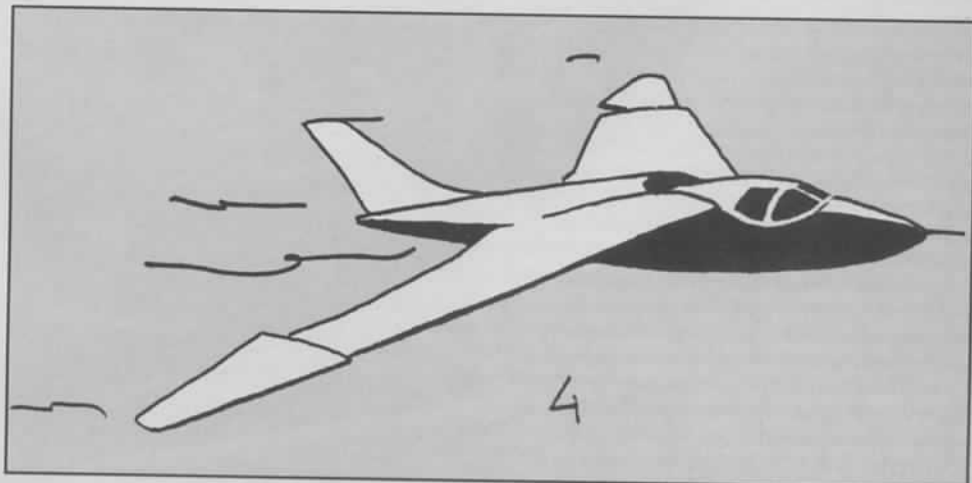
Hill

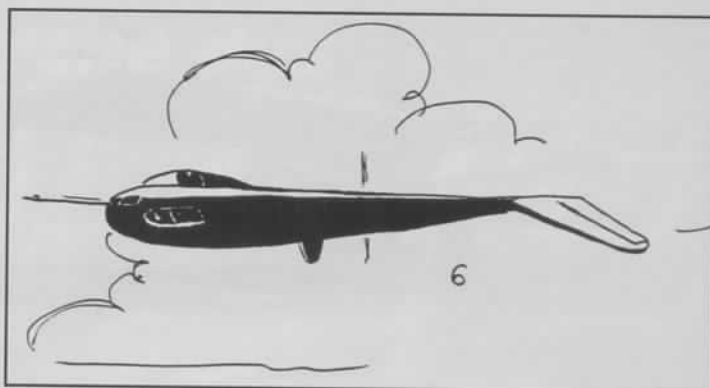
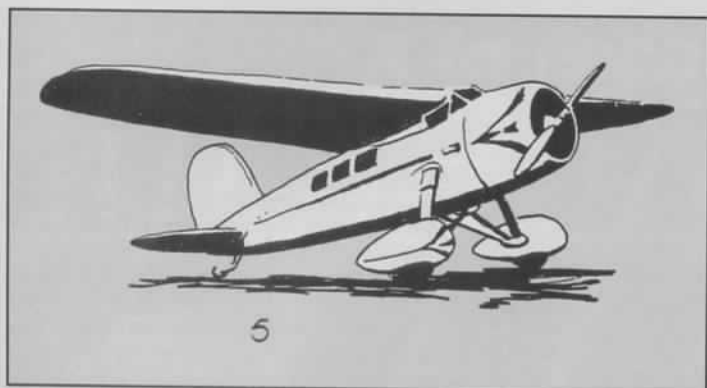
Pensant que pour régner il fallait séparer, il prit sa scie et, en 1925, tomba ses bouts d'ailes. L'idée était simple : les monter "monobloc" sur un axe perpendiculaire au vent et les caler fortement négatifs : plus besoin de vrillage à la construction de l'aile (dessin 3) ! Comme ça baille au raccord, il cache la misère et tempère les remous par cloison verticale qui vient à point pour raidir le lacet... Et ça marche parce que le monobloc calé très négatif voit sa traînée augmenter quand son bord de fuite se lève tandis qu'à l'autre extrémité de voilure celui dont le bord de fuite se baisse et rejoint le profil de la partie fixe vient à une incidence moindre à traînée réduite... et on a du lacet dans le bon sens. Mais ces monoblocs (Blériot les avait essayés à ses débuts) ont

un défaut dangereux : ils décrochent plus tôt qu'une gouverne avec partie fixe et volet ; alors, si on les règle trop négatifs, un ordre important peut décrocher la gouverne en un moment inopportun. Gouverne qui sert aussi au tangage et l'avenir de la machine s'assombrit ! On est coincé entre un réglage très négatif, au centrage avant, et qui donne le lacet verse souhaité mais fait décrocher la gouverne et un réglage moins négatif, plus sûr pour la gouverne mais qui ramène l'indésirable lacet inverse. L'idée poursuivait pourtant son chemin jusqu'au "Sherpa" à réaction, en 53, sans cloison mais avec dérive. (dessin 4)

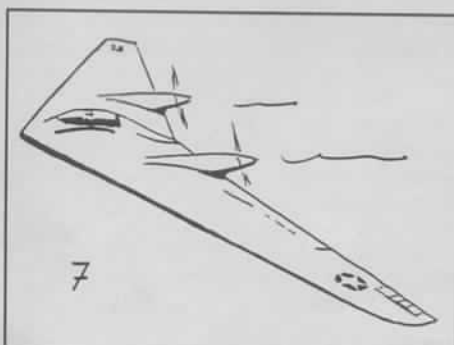
Hortens "Bruder"

En 1935, leurs ailes volantes furent les premières véritablement pures. Pour avoir une raideur suffisante en lacet, il leur fallait beaucoup de flèche au B.A. Comme la flèche n'est pas bonne pour la portance, ils en mirent moins au B.F. pour que la valeur moyenne de flèche ne soit pas excessive et se retrouvèrent avec un effilement impressionnant. On sait que les forts effilements décrochent aux marginaux d'abord : c'est pas bon ! Heureusement, les ailes Horten sont très fortement vrillées puisque cela leur est nécessaire pour obtenir le lacet verse recherché et on retrouve un décrochage sain-centre d'abord, préservant les gouvernes. Par ailleurs, l'effilement favorise la maniabilité roulis par moins d'amortissement. Les Horten sont célèbres parce qu'ils sont les premiers à avoir complètement nettoyé l'aile : ni fuselage (le pilote est dans l'épaisseur de l'aile), ni surface verticale. L'inconvénient est que l'énorme vrillage nécessaire au lacet verse (les marginaux travaillent en négatif comme sur la Hill), génère une traînée certes favorable à la raideur lacet puisque à l'arrière, dont la finesse se ressent. Pour retrouver la finesse, les Horten réalisèrent un monstre à très grand allongement : la H 4 (Ulmer en a fait voler une maquette lors d'une des premières "Banne"), très fine en ligne droite mais qui devait poser, comme la maquette, des problèmes en spirale à cause de la différence sensible de vitesse entre les marginaux. Problème ordinaire aux grands allongements mais sur la Horten, il n'y a pas de puissante gouverne de lacet ("symétrie" disent les vélivoles), pour se sortir des pièges de l'attaque oblique fortuite toujours possible en turbulence. Attendons donc de revoir spiraler serré une H 4 pour en connaître davantage.





Jack Northrop, le grand précurseur des ailes volantes.



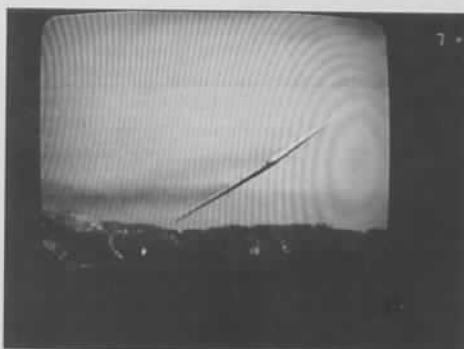
Northrop

Si les Horten furent les rois des planeurs ailes volantes, "Jack" (photo 1) était bien celui des avions extraordinaires. En 1927, il est en avance de 10 ans et célèbre grâce à son "Véga" (dessin 5) qui va plus vite que les chasseurs à ficelles à la mode et plus loin que les avions de ligne dinosaures de l'époque. Le Véga est le premier avion moderne et il aura des dérivés fabuleux aux noms d'étoiles : Orion, Sirius... Puis Jack calcule et essaie pendant 10 ans, et en 1939 vole enfin la N1M (dessin 6). Sa masse de structure est ridiculement faible, le gain en traînée est sensible par rapport à un classique et le rayon d'action est énorme (voir formule de Bréguet sur le rayon d'action). La finesse a gagné par rapport aux Horten car Jack a peu vrillé, ayant trouvé une astuce pour la gouverne de lacet : les marginaux qui portent les ailerons sont inclinés vers le bas ; leur projection sur le plan vertical fournit un peu de surface pour la raideur en lacet et sa gouverne. (en modélisme, cf. la Robbe "Vampyr"). Mais il préfère voir alignées ces oreilles tombantes. S'il veut conserver son faible vrillage, il n'aura plus de lacet verse sur ordre en roulis donc il doit trouver autre chose... Simple ! Il faut

freiner du côté où on tourne ; alors, il installe des crocodiles. Normalement fermés, un seul s'ouvre du côté du virage souhaité. Ils n'affectent pas le rayon d'action car un bombardier ne passe pas son temps à tourner. Et c'est en 1942, la N9M (elle va bientôt revoler grâce à des amateurs U.S. qui la restaurent) qui est un secret militaire et une merveille (dessin 7).

Super bombardiers

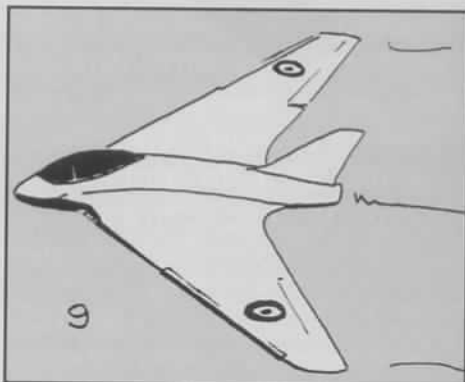
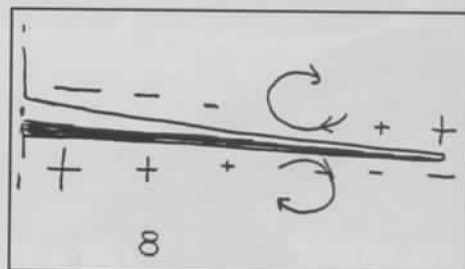
Vous connaissez la suite : l'Atlantique aller-retour sans ravitaillement par les ailes géantes quadrimotrices à hélices contrarotatives (1946) puis octomotrices à réaction (1948) est possible ! Même masse et envergure que la B2 actuelle mais davantage de grâce et de performances car elles ne volaient pas aérofreins ouverts ! Leur maniabilité en roulis est spectaculairement montrée dans le chapitre sur la réaction de "l'Histoire de l'Aviation", série Télé de D. Costelle (photo 2).



L'aile volante de Jack et sa maniabilité inégalée

Le vice caché

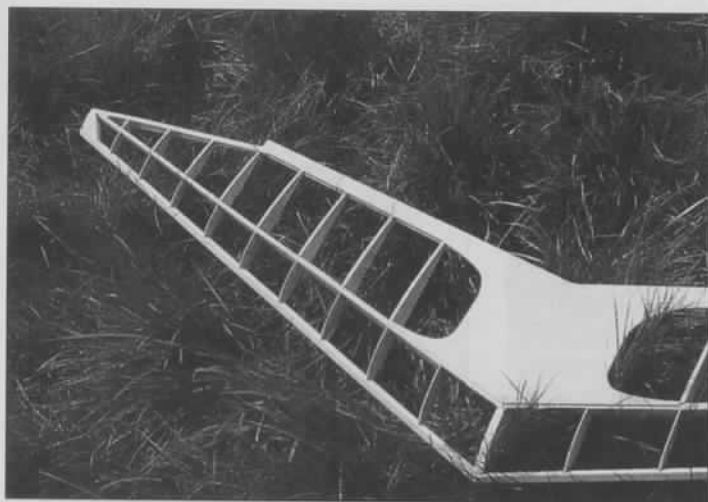
Plus on vrille, plus la répartition des pressions sur la voilure chagrine l'aérodynamicien. La Hill n'est pas vrillée. La Northrop



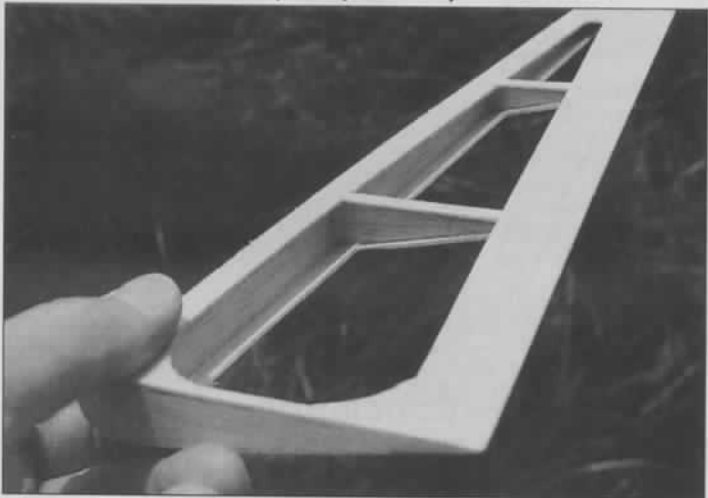
est très vrillée et on connaît sa célèbre répartition de portance "en cloche". (Les mauvaises langues disent "de cloche"). Ce qui veut dire qu'à son extrados, en partant du centre vers le marginal, on a quelque part la dépression d'extrados qui passe par zéro puis en pression ! "Lycée de Versailles" pour l'intrados. Ce qui fait qu'au bord de fuite, en cet endroit, les vortex se contrarient (dessin 8). D'où problème de décrochage local à position baladeuse fonction de la vitesse et/ou du facteur de charge, affectant les gouvernes, générant du flutter et s'étendant parfois à l'aile entière. Toutes les ailes vrillées ont eu des problèmes et leurs pilotes aussi : Edwards avec la Northrop, De Havilland fils avec la "Swallow" (dessin 9), H. Reitsch avec le Me. 163, Nadot avec la S.E. 2100. Les deux premiers ne sont pas revenus.

Les modélistes

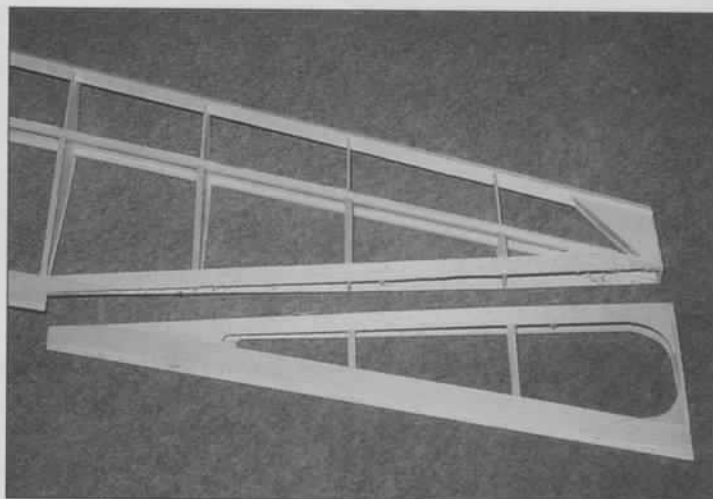
A-t-on trouvé ailleurs quelque chose qui aille bien, plus fin que les Horten, sans les crocodiles des Northrop, sans les monoblocs des Hill ? Dès les origines, les modélistes ont tout essayé ; en fouillant les archives, on trouve par exemple un plan de Fillon en 1948. (dessin 10).



La simplicité de l'aile de l'auteur est ici bien illustrée. D'autant plus facile à construire que le profil est plan convexe.



La "queue" du profil est inversée, l'extrados devient intrados.



L'élévon coupé à gauche passe à droite : voilà le secret de la simplicité de l'aile Paoli.



Toute la radio tient dans l'épaisseur de l'aile.

Et voilà le travail. Plus simple, ça n'existe pas !

Fillon

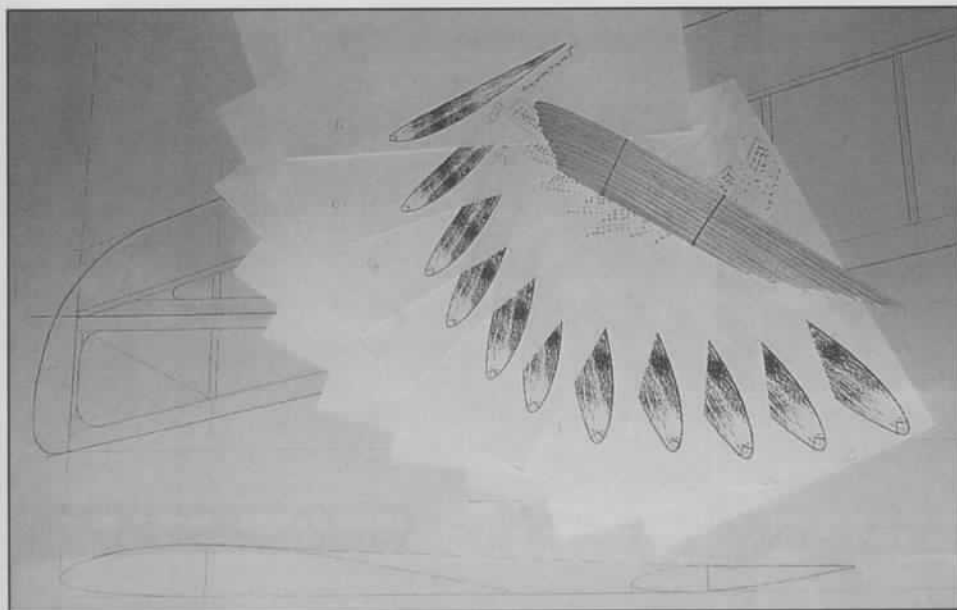
Le profil est constant sans vrillage. Les élévons, relevés pour la stabilité longitudinale, sont à corde constante et leur charnière perpendiculaire à l'écoulement. Cette disposition est avérée plus efficace par le biréacteur de chasse anglais "Lightning". Le rédacteur a vu voler l'aile Fillon, en libre, vers 1950 à Autun ; il serait intéressant de mettre une radio dedans.

Paoli

En 1945, Paoli, (pilote de guerre sur M. 405 et D. 520) présente son modèle (voir photos d'une aile formule Paoli) au Congrès de l'Aéronautique où le Professeur Perez l'a invité. Pas de vrillage, profil constant, stab.



par relèvement des élévons, charnière perpendiculaire à l'écoulement, forme de voilure classique : flèche modérément effilée. Les aléas de l'époque empêchèrent le passage en soufflerie demandé par les Autorités ; alors, Paoli, modéliste, expérimente et met au point, en libre puis en radio. Il constate qu'on peut utiliser des profils constants et porteurs et qu'on a du lacet verse comme sur Horten et Hill sans construction ouvragée. L'an dernier enfin, la Faculté de Marseille soumet l'engin à la soufflerie qui



confirme (Projet expérimental de mémoire de maîtrise de mécanique de M. Martinez, Migayrou, Rover et Tatoud, sous la responsabilité de P. Bournot).

Essayez donc

Les photos représentent une aile Paoli de votre serviteur : profil plan convexe, allongement 10, cordes 30 et 15, flèche de 20° au bord d'attaque, élevons triangulaires à charnière perpendiculaire au vent et occupant les 1/3 des bords de fuite extérieurs, centrage de 18 à 22 % de la corde moyenne. Construisez à votre façon, découpez les élevons, installez le gauche à droite et inversement, relevez-les à la demande... Essayez, vous verrez. L'auteur remercie pour leur aide toujours fructueuse messieurs Boubouleix, Brunel, Champenois, Pain, Paoli... et Arlette sans laquelle rien ne se peut faire.

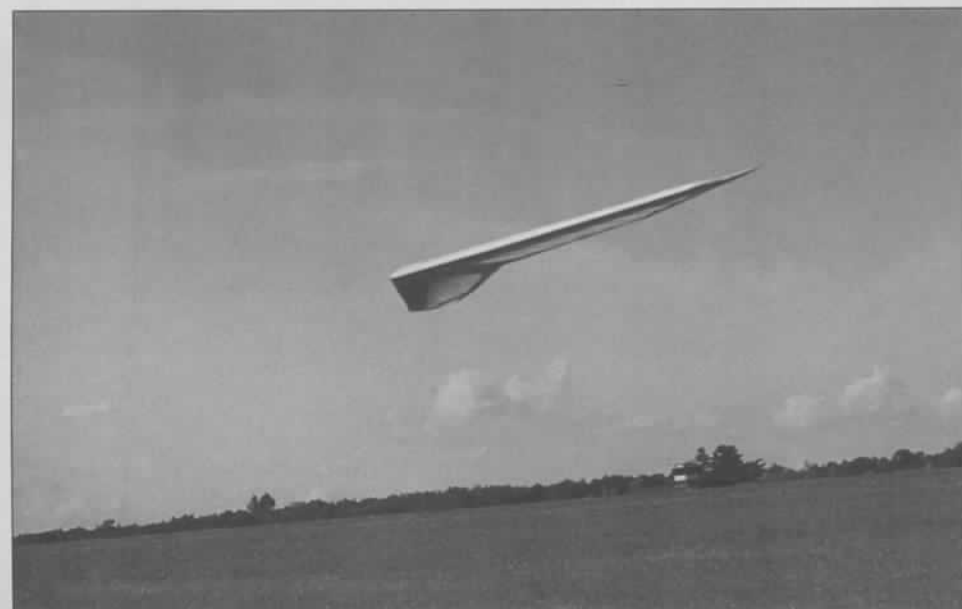
Rapport des essais en vol

L'engin est normal, son pilotage classique, les décrochages sont classiques, doux et sains : on garde le contrôle en roulis. Si on

Utilisation de la photocopieuse pour tracer les différentes nervures.

maintient manche arrière, ils se répètent à environ 5 secondes d'intervalle avec divergence faible perceptible après 3 cycles. Le roulis induit un léger lacet verse et les virages sont corrects quoique légèrement plus paresseux que sur classique. L'inclinaison tenable en spirale est un peu moindre que sur classique mais la faible charge alaire permet des rayons de même ordre. La polaire des vitesses est intéressante car assez plate et on avance en chutant peu. On passe souverainement dans les rafales... On a constaté au pire des oscillations lacet d'environ 10° qui s'amortissent en moins de trois cycles sans préjudice sur le contrôle. On peut ballaster jusqu'à doubler la charge alaire, ce qu'acceptent mal les autres ailes volantes. Avec la position recommandée, maxi avant, de la cheville de treuillage la montée au sandow est autostable en tangage et roulis. Les débattements indiqués sont des minimums en dessous desquels on a un contrôle insuffisant, on pourra les augmenter d'un tiers.

L'aile en vol : la beauté de la "chose" ne fait aucun doute !



Coordonnées du profil utilisé sur la maquette de soufflerie.

X	Yi	Ye
0	36,00	36,00
5	28,00	45,00
10	25,00	50,00
20	20,90	57,80
30	17,90	64,30
40	15,40	69,80
50	13,50	74,60
75	10,30	84,50
100	7,90	92,60
150	4,40	104,00
200	2,00	111,90
250	1,00	116,95
300	0,00	119,20
350	0,00	120,00
400	0,0	118,95
450	0,00	115,80
500	0,00	111,00
550	0,00	105,00
600	0,00	99,00
650	0,00	91,00
700	0,00	81,00
750	0,00	69,80
800	0,00	57,10
850	0,00	44,00
900	0,00	30,50
950	0,00	16,30
1000	0,00	1,00

Conclusion

Monsieur Paoli a remarquablement progressé en simplifiant à l'extrême la construction d'une aile volante utilisable et performante ; seules les articulations d'élevons réclament une compétence à la portée du modéliste digne de ce nom. Plutôt que de poursuivre, je préfère vous prier d'essayer... La simplicité ultime, la science-fiction, le rêve à Jack Northrop ? Vous pouvez l'avoir au bout des manches.

Caractéristiques

Envergure : 2080 mm
Cordes : 310 et 160 mm
Surface : 47 dm² dont 42 portants
Flèche de bord d'attaque : 20 °
Allongement : 10
Profil : RB PC 12
Poids : 790 g
Charge alaire : 20 g/dm²
Centre de gravité : à 20 % de la corde moyenne, soit 100 mm. du bord de fuite de la corde centrale.
Relèvement élevons à Vz mini : 12° mesurés à l'intrados
excursion mini. gouvernes : profondeur : +/- 4°
roulis : +/- 8°
Taux de roulis à Vz mini : 30°/seconde
Vz mini inférieure à 0,5 m/seconde vers 20 km/h.
Finesse max : 10 vers 25 km/h.
Charnières Robert sur 1/2 rond
Cheville treuillage : 50 mm en avant du centre de gravité