

Département d'aérophysique de l'Université d'Etat du Mississippi

Analyse des performances de l'aile volante Horten IV

par Deszo George-Falvy

*Présentée au 8^e congrès de l'OSTIV
à Cologne en Allemagne
en juin 1960*

Introduction

Il a été compris dès le début du développement des planeurs que la clef de l'amélioration de la performance réside dans la réduction de la traînée. Il a été également démontré que la traînée totale se divisait en trois grandes composantes : induite, de profil, et parasite. Le développement a commencé d'abord en réduisant la traînée parasite par l'élimination des mâts, câbles, cockpit ouvert, etc. Ensuite, on a continué sur cette voie en diminuant la traînée induite par l'utilisation d'allongements élevés. La troisième étape de la mise au point est en cours à l'heure actuelle (1960), où l'effort est concentré sur la réduction de la traînée de frottement du profil, dans la mesure où les possibilités de réduction des traînées induite et parasite sont presque épuisées.

Au cours de la deuxième phase de développement, les efforts continus pour rendre la traînée de plus en plus faible ont conduit à la conception de l'idée de l'aile volante. Cela offrait l'élimination complète de la traînée parasite en plus léger et moins coûteux. Mais, en même temps, de nombreux problèmes de stabilité et de contrôle devaient être surmontés. Ces difficultés ont découragé la plupart des concepteurs, mais les frères Horten ont abordé le problème avec beaucoup de détermination et l'ont fondamentalement résolu. Il est tout à fait remarquable que le quatrième de leurs modèles, le Horten IV, était déjà meilleur, ou au moins de rendement équivalent à ceux de conception conventionnelle, qui avaient été élaborées avec toute l'expérience acquise grâce à des dizaines de modèles précédents. Cet essor a cependant été interrompu par la guerre, et les deux derniers modèles de la ligne, le Horten IVb et Horten VI, sont restés non évalués.

Depuis la guerre, le développement des planeurs a été principalement concentré sur le profil ou la réduction de la traînée de frottement sur le planeur de type conventionnel. L'adoption des profils laminaires et les nouvelles technologies ont permis des progrès significatifs, et la finesse apparemment ultime de 40 a été atteinte. Mais, à ce stade de développement, lorsque le plus grand effort est nécessaire pour éliminer un ou deux millièmes de coefficient de traînée de profil, la présence de la traînée parasite due au fuselage et à la queue devient de plus en plus ennuyeuse, et l'idée de la configuration aile volante surgit à nouveau.

Pour cette raison, comme partie du programme de recherche sur planeur menée par le Département d'Aérophysique de l'Université d'Etat du Mississippi (MSU), une enquête a été projetée sur un planeur aile volante, et un Horten IV a été choisi à cet effet, comme représentant la conception la plus avancée de sa catégorie.

Auparavant, en 1943, des mesures de performances du Horten IV ont été faites par le Deutsche Forschungsanstalt für Segelflug (DFS), Institut allemand de recherche pour le vol à voile, en comparaison en vol avec le D-30 Cirrus, et rapportées par Hans Zacher [2].

Il y a été souligné déjà que, bien que le Horten IV ait été l'une des plus performants planeurs de l'époque, le rendement réel est bien inférieur à celui prévu.

L'objectif fondamental de notre recherche était de savoir pourquoi les performances prévues n'ont pas pu être atteintes et si oui ou non les facteurs à l'origine de ces moins bonnes performances sont inhérents au concept même d'aile volante.

Les essais en vol au Mississippi State University ont montré un rendement encore plus faible que rapporté par Zacher. Puisque le planeur n'était pas en bon état à l'époque, il a été décidé de le réviser, d'améliorer l'état de surface des ailes autant que possible, et de faire quelques modifications sur la section centrale, telles que la rationalisation des logements pour le ski escamotable et l'amélioration du contour de la verrière. Enfin, la campagne des essais en vol a été effectuée à l'automne 1959, et les résultats de l'évaluation sont présentés ici.

Résultats des mesures de performances

La figure 1 montre les courbes de rendement. Les emplacements de relevés de plusieurs mesures sont indiqués par des symboles différents. Les points ont été définis en fonction de l'appropriation à la méthode de mesure [3], et ceux à la masse maximale sont en symboles pleins. En plus de nos mesures, les résultats des anciens tests DFS sont également indiqués. Ils sont extrapolés pour $P = 366$ kg, le poids en ordre de vol des récents essais.

La meilleure finesse du Horten IV devrait être 37. Les essais en vol, toutefois, ont indiqué une considérablement plus faible performance. Néanmoins, il existe certaines divergences entre les points d'essai en vol. Bien que les polaires de traînée dans la figure 2 coïncident à peu près à faible coefficient de portance, l'écart entre les deux devient de plus en plus grand quand le coefficient de portance augmente. En d'autres termes, la polaire est plus plate selon les mesures du DFS, ce qui démontre une meilleure efficacité d'envergure. Il convient de noter, toutefois, que l'efficacité de l'envergure est affectée par la position du CG, et elle n'est pas donnée pour le test du DFS. Si le centre de gravité se trouvait considérablement plus arrière dans l'essai du DFS, ou si les deux planeurs ne sont pas identiques, le désaccord est compréhensible.

Les plus importantes données des performances aérodynamiques sont résumées dans le premier tableau.

Trois aspects de l'aérodynamique en sont les caractéristiques les plus remarquables.

1 - La valeur minimum du rapport portance/traînée $C_z/C_{x\min} = 0,0125$, est à peine inférieure à celle d'un produit de conception conventionnelle de l'époque, en dépit de l'élimination du fuselage et de l'empennage, c'était $C_z/C_x \min 0,0135$ pour le D-30 "Cirrus", et 0,015 pour la DFS "Reiher" [4].

2 - La traînée augmente rapidement avec le coefficient de portance, c'est que la pente de la polaire de traînée est très peu linéaire, ce qui signifie faible rendement efficace de l'envergure et de l'allongement.

3 - La valeur maximale du coefficient de portance, $C_z \max = 1,125$, est relativement faible également.

Analyse des composants de la traînée

Les mesures de la performance ne représentaient que la première étape de notre enquête. Comme indiqué précédemment, l'objectif fondamental était de savoir les raisons de ce comportement inhabituel et de préciser l'interaction de plusieurs facteurs influents. C'est pourquoi une étude détaillée des différents composants de la traînée était nécessaire, ou en d'autres termes, la polaire de traînée devait être décomposée en ses éléments.

La traînée de profil

La traînée de profil a été mesurée à plusieurs endroits le long de l'envergure au moyen d'un râ-

teau d'intégration de sillage. La méthode est décrite dans la référence 5. Les mesures de polaire de profil réparties en envergure (la figure 3) ont les caractéristiques suivantes: en allant vers l'extérieur le long de l'aile, la traînée augmente considérablement. C'est dû en partie à la diminution du nombre de Reynolds, mais plus probablement, c'est en raison du manque de propreté de l'aile causé par les perturbations de sa surface dues à la présence des élevons, des aérofreins et des spoilers de lacet.

Pour la section d'essai intérieure, le coefficient minimal de traînée du profil est $C_{xp \text{ min}} = 0,009$. Puis, la traînée augmente progressivement avec la hausse du coefficient de portance, et s'élève à $C_{xp} = 0,015$ à $C_z = 1,125$.

Bien que dans l'état actuel de la technique, une aile d'une telle traînée soit considérée comme très mauvaise, ce n'est pas pire que les autres ailes de son époque [4, 6]

Pour les autres sections d'essai, les profils ne sont pas propres en raison de la présence des aérofreins et des surfaces de contrôle. Pour les deuxième et troisième section de test, il ya une augmentation rapide de la traînée aux forts coefficients de portance. Ceci est généré par une séparation tumultueuse, qui se produit sur cette partie de l'aile comme une initiation de décrochage.

Pour la quatrième section d'essai, la pente d'augmentation de la traînée avec le coefficient de portance est beaucoup plus élevé que pour les sections intérieure, mais il n'y a pas de croissance rapide de la traînée aux hauts coefficients de portance.

C'est parce que le centre de la demi aile dispose de grands élevons dont la déflexion négative, pour augmenter le C_z global, débouche sur une plus forte traînée à coefficients de portance modérés, mais cette disposition évite tout décrochage aux coefficients de portance élevés.

La section d'essai externe a environ deux fois et demie plus de traînée que la section interne. De nombreux facteurs, tels que les imperfections de contour et de surface, les gouvernails de lacet, le faible nombre de Reynolds, le ratio important de la corde des grandes surfaces de contrôle par rapport à celle de l'aile, etc, contribuent à développer cette traînée extrêmement élevés à l'extrémité de l'aile. Il est curieux que le minimum de résistance se produise à $C_z = 0,4$, et qu'au-dessous la traînée augmente à nouveau. La raison probable de cette situation est la discontinuité dans le tracé du profil qui provoque une séparation de l'écoulement donc de la traînée quand les élevons ont un braquage zéro ou positif, tandis que le nez de l'aileron type frise crée rapidement une grande traînée quand on applique une forte déflexion négative pour obtenir de grands coefficients de portance.

Basé sur ces mesures par section de profil, la répartition selon l'envergure et les polaires résultantes de traînée de profil ont été déterminées. La figure 4 montre le coefficient local de traînée de profil selon l'envergure. Ces courbes, multipliées par la longueur de la corde locale, permettent de représenter efficacement la répartition et la traînée de profil résultante se calcule comme suit:

$$C_{Dp} = \frac{2}{S} \int_0^{b/2} (cd_p c) dy$$

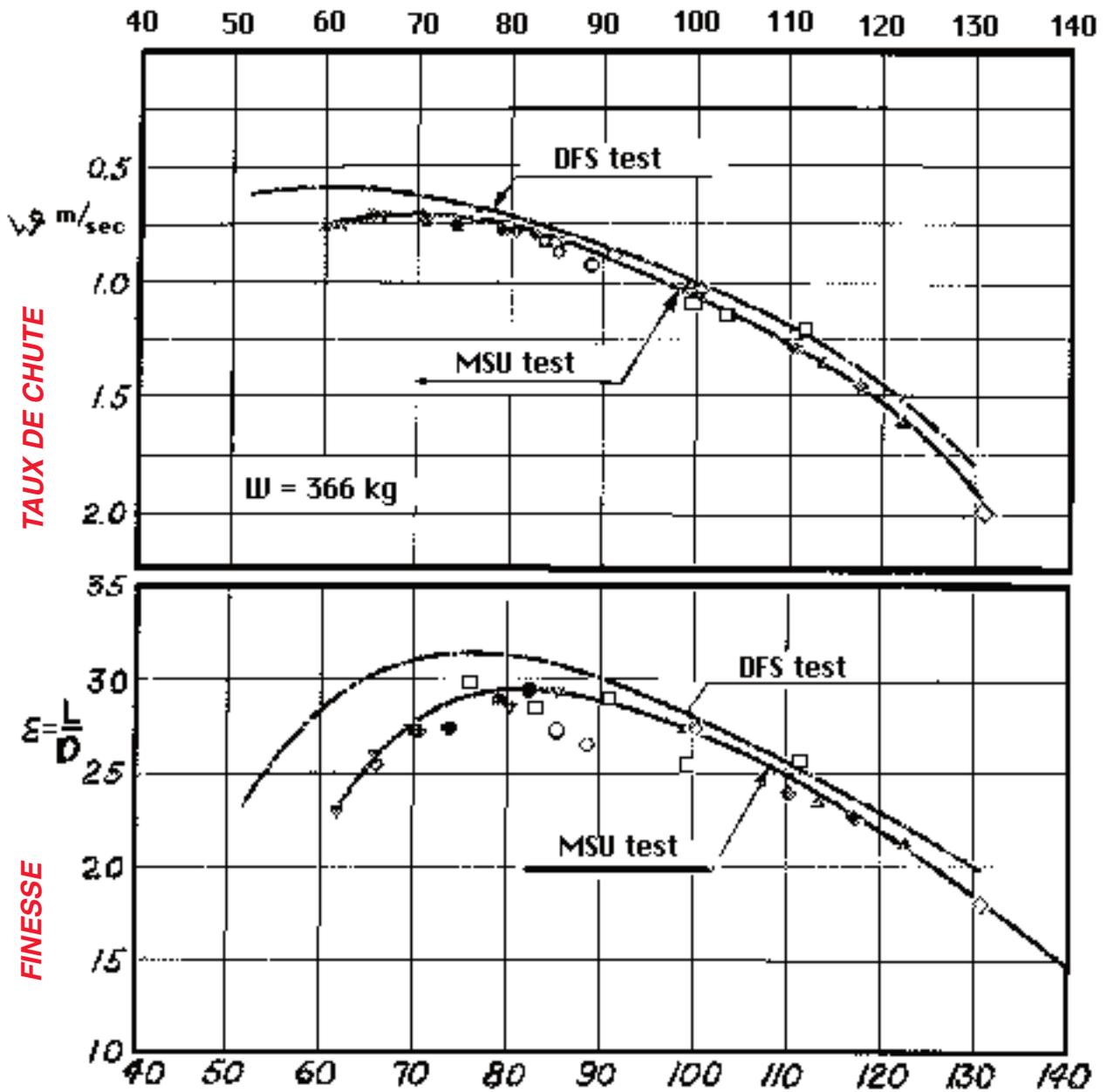
Les résultats sont indiqués ci-dessous :

Coefficients résultants de la traînée de profil

Cz	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,05	1,125
Cxp	0.0115	0.0120	0.0132	0.0151	0.0179	0.0208	0.0223

Figure 1

Courbes de performances

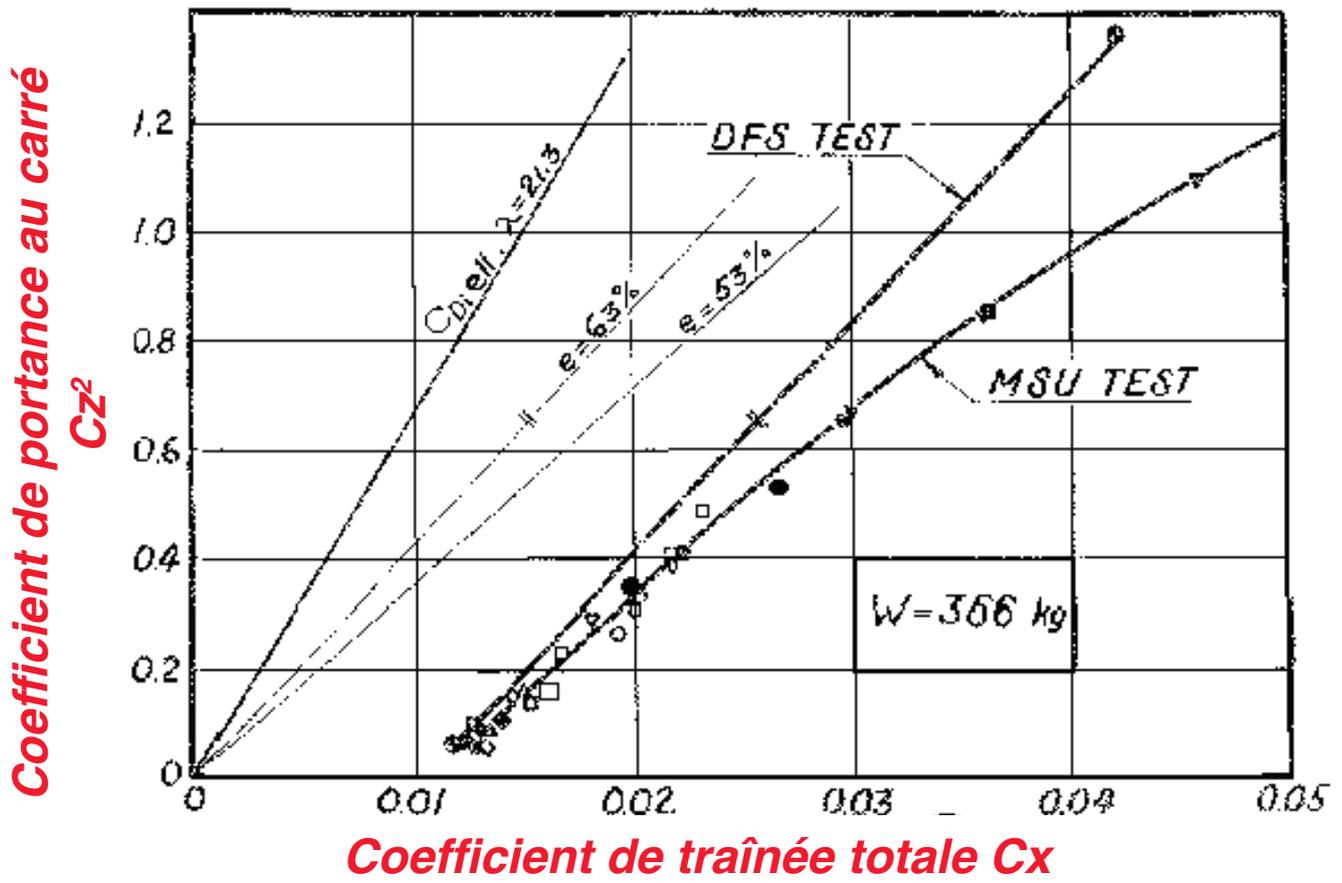


Dr Deszö George-Flavny (1926-2000)

Né en Hongrie Gyorgy-Flavny, émigré aux USA, a travaillé au MSU sous la direction du Dr August Raspert où il a mené à bien cette étude du Horten IV, puis chez Boeing où il a terminé sa carrière professionnelle. Il a participé au Symposium sur les ailes volantes en 1997 à Elmira et avait fait cette communication à l'OSTIV en 1960, juste après le décès de Raspert dans un accident d'avion.

Figure 2

Polaires de traînée linéarisées



Trainée induite

Le coefficient de traînée induite est définie comme suit:

$$C_{D_i} = \frac{C_L^2}{\pi \lambda} (1 + \delta)$$

Où le facteur δ représente l'augmentation de la traînée induite due à l'écart par rapport à une répartition elliptique de la portance selon l'envergure, ce qui donnerait le minimum de traînée induite. Il est d'usage d'exprimer le coefficient de traînée induite également par :

$$C_{D_i} = \frac{C_L^2}{\pi \lambda_{eff}}$$

C'est à dire, en considérant l'augmentation la traînée induite comme la conséquence de la baisse de l'allongement effectif :

$$\lambda_{eff} = e\lambda$$

Et e , l'efficacité d'envergure, est définie comme :

$$e = \frac{C_{D_{i,ell}}}{C_{D_i}} = \frac{1}{1 + \delta}$$

La faible efficacité d'envergure du Horten IV indique que l'augmentation de la traînée induite pourrait être très élevée en raison du vrillage important et des braquages de gouvernes. Par consé-

quent, un calcul détaillé a été réalisé concernant la répartition effective de portance selon l'envergure et la traînée induite réelle.

Le facteur δ est déterminé par la répartition effective de portance selon l'envergure qui est affectée principalement par les conicité, flèche, vrillage, et braquages de gouvernes. La répartition de portance selon l'envergure a été calculée selon la méthode approximative de Schrenk, complétée de la correction pour la flèche de Weissinger [7, 8, 9].

Le plus insolite parmi les facteurs pris en considération est le braquage des gouvernes. Aux faibles vitesses de vol, les élevons central et extérieur sont braqués vers le haut jusqu'à 15 degrés, ce qui aboutit à un angle d'attaque ou un coefficient de portance effectif considérablement diminués localement.

Les angles de braquage des deux profondeurs sont indiquées en fonction du coefficient de portance à la Figure 5. Ceci a été obtenu en récoltant les courbes $\delta_E^* = f(C_L)$ et $\delta_E^\circ = f(\delta^*)$

Où δ^* Représente le déplacement de la poignée du manche et δ° est le braquage en degrés de la surface de contrôle.

D'après la théorie, une petite déviation de contrôle se traduit par un changement d'angle d'attaque efficace défini par la dérivée de la puissance de contrôle.

$$\frac{d\alpha}{d\delta_E}, \text{ that is, } \Delta\alpha = \frac{d\alpha}{d\delta_E} \delta_E$$

Ce changement de l'angle d'attaque due à la déflexion de contrôle supplémentaire a été considéré comme un vrillage, et la distribution de portance calculée en conséquence.

La figure 6 illustre l'écart de la distribution de portance par rapport à l'aile elliptique avec le vrillage de base seulement, et avec le débattement des gouvernes inclus. Plusieurs exemples sont présentés: $C_z = 1,00$, $C_z = 0,25$. Comme on le voit, à haut coefficient de portance, le grand braquage négatif des volets de contrôle augmente grandement la déviation de $C_z.c$ par rapport à la courbe elliptique, tandis que les résultats du vrillage de base ont des différences mineures.

A contrario, à de faibles coefficients de portance, les braquage des gouvernes étant positifs, diminuent le vrillage de construction et la répartition de portance est plus proche de l'ellipse idéale. L'augmentation de la traînée induite a été calculée par la formule [référence 10]:

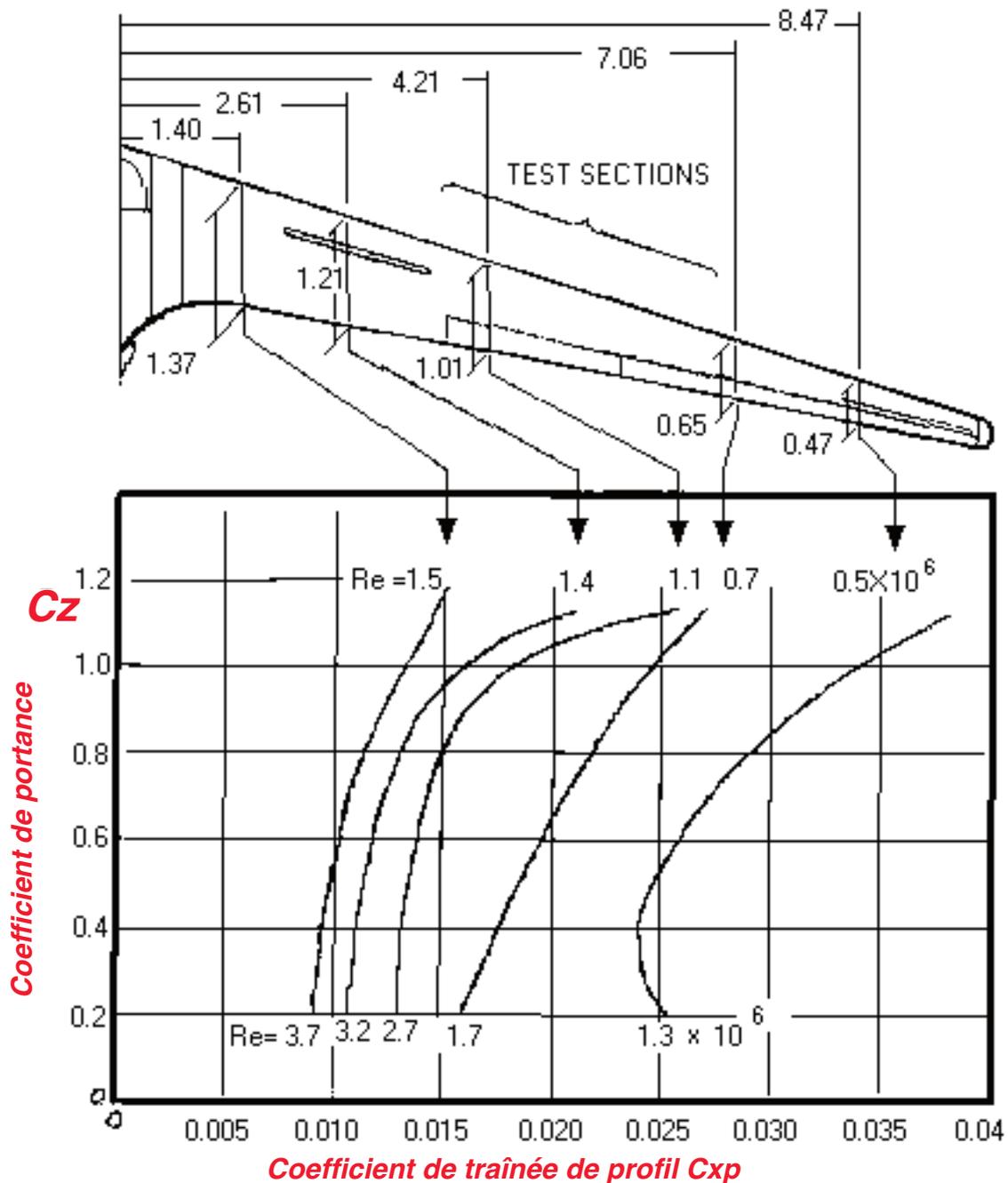
$$1 + \delta = \frac{\sum_n (na_n^2)}{a_1^2}$$

Où a_1 et a_n sont les courbes de coefficient de répartition de $C_z.c$ de Fourier.

Les résultats sont résumés dans la figure 7, où δ est tracée en fonction de C_z . L'effet de l'effilement (la conicité), de la flèche, du vrillage, et des braquages des gouvernes, peut être clairement délimité. L'extrême conicité provoque une augmentation de la traînée induite d'environ 2,5 pour cent, comparativement à une aile elliptique en plan. La flèche, en déplaçant la charge vers les extrémités, réduit l'effet de la conicité et réduit δ à environ 1,5 pour cent. Contrairement à la figure 2, où la traînée était considérée selon le carré du C_z , dans ce cas δ est considérée selon le C_z . La torsion se traduit par une augmentation rapide δ quand le C_z diminue. Cela est du au fait que la répartition de la charge due au vrillage demeure inchangée, tandis que la répartition supplémentaire des portances déterminée par la forme en plan, diminue proportionnellement avec le C_z , et, comme la répartition de la portance est la somme des deux, à de faibles C_z , les effets de la torsion deviennent de plus en plus prépondérants.

Alors que $\delta = 2,5$ pour cent à fort C_z , il augmente à $\delta = 59$ pour cent à $C_z = 0,25$. L'abaissement des gouvernes nécessaire pour diminuer l'assiette a un effet sur l'augmentation de la traînée induite due à la torsion au plus faible C_z . Les conditions réelles sont représentées par la courbe défavorable qui inclut les effets de tous les facteurs influençant la situation. En s'y référant, on peut constater que $\delta = 35$ pour cent à $C_{z_{max}}$ et diminue progressivement à $\delta = 24$ pour cent à $C_z = 0,5$. En dessous de $C_z = 0,5$, δ augmente à nouveau, mais pas aussi rapidement que dans le cas de l'aile sans déformation par le braquage des gouvernes.

Figure 3 **Polaires de traînées de profil locales**



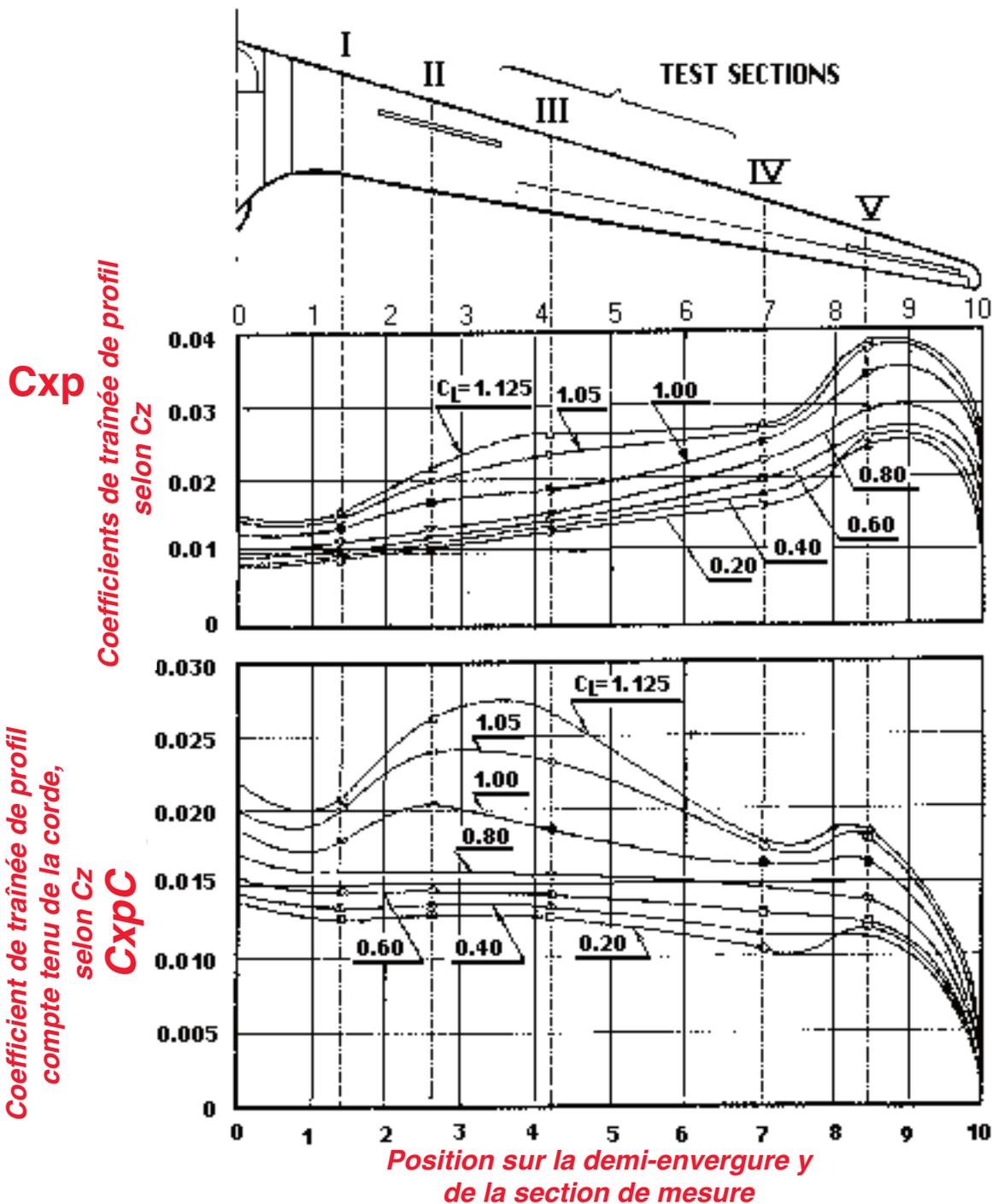
Trainée parasite

La traînée parasite d'une aile volante est censé être négligeable, étant donné que les surfaces mouillée et frontale du fuselage sont très faibles par rapport à l'ensemble de la surface alaire. Les observations de brins de laine sur le Horten IV ont toutefois indiqué une intense séparation de l'écoulement sur la partie arrière du capot du poste de pilotage, qui implique une source de traînée parasite. La figure 8 montre des photographies typiques de la canopée à deux vitesses. Comme on le voit, la zone séparée diminue à mesure que la vitesse augmente. La figure 9 représente la mesure de la séparation évaluée à partir des photographies. L'attitude de l'avion ainsi que l'angle de la trajectoire de vol, la hauteur, et l'angle d'attaque, sont également donnés. L'attitude fortement cabrée de l'habitacle à hauts coefficients de portance, qui génère d'indésirables sévères gradients de pression, est apparemment la principale source de la séparation.

Comme il n'existe pas de méthode pratique pour mesurer la traînée parasite numériquement, elle est déterminé indirectement en soustrayant la traînée de profil et la traînée induite de la traînée totale mesurée. Le reste est considéré comme la traînée parasite.

FIGURE 4

Répartition de la traînée de profil



Analyse de la polaire de traînée

Dans la figure 10 la polaire de traînée est divisée en ses composantes majeures discutées dans les paragraphes précédents. La traînée induite est constituée de deux parties: la valeur théorique pour une répartition elliptique, et l'augmentation en raison de la situation réelle. La valeur de base, pour l'ellipse, étant proportionnelle au carré du coefficient de portance, apparaît dans la polaire de traînée linéarisée comme une ligne droite avec une pente déterminée par l'allongement géométrique ($Envergure^2 / S$). Au coefficient de portance maximal, cette part s'élève à environ 35 pour cent du total de la traînée. L'autre partie, l'augmentation de la traînée induite, se produit progressivement avec le coefficient de portance, et à $C_z = 1,00$, les résultats dans environ 30 pour cent plus élevés que la traînée induite théorique (note du traducteur : Reimar Horten admet que sa ré-

partition de portance en cloche sinus³ augmente la traînée induite de 33 % à $C_z = 1$. Les mesures MSU ne font que le confirmer). Ainsi, la traînée induite totale est augmentée d'environ 46 pour cent à faible vitesse de vol.

La traînée parasite est négligeable à de faibles coefficients de portance, mais commence à se développer progressivement entre $C_z = 0,4$, et $0,7$. Au-dessus de $C_z = 0,7$, la séparation sur l'habitacle se développe rapidement et la traînée parasite augmente de 3 à 14 pour cent du total.

La traînée de profil représente une partie importante de la traînée totale tout au long de la plage de vitesse, et devient de plus en plus prépondérante à faibles coefficients de portance. Elle est de 90 pour cent à $C_z = 0,2$. On peut voir que la principale responsabilité pour la performance plus faible que prévue incombe en grande partie à la traînée de profil qui augmente énormément avec le C_z .

Sur l'analyse de la figure 10 la faible efficacité d'envergure peut s'expliquer aussi. L'efficacité d'envergure est définie comme le rapport entre les pentes de la polaire théorique et la polaire de traînée induite réelle tracée dans la forme linéarisée: $C_z^2 C_x$ vs. En d'autres termes, il s'agit du rapport entre l'allongement effectif et l'allongement géométrique. Des considérations théoriques simplifiées supposent souvent cependant que la traînée de profil et la traînée parasite sont constantes, alors la polaire de traînée totale est parallèle à la polaire de traînée induite. Par conséquent, il s'agit d'une pratique générale servant à exprimer que l'efficacité de l'envergure est le rapport entre les pentes de la polaire de traînée induite théorique et de la polaire de traînée totale. Ce n'est toutefois pas exact, car dans la pratique à la fois la traînée de profil et la traînée parasite sont susceptibles de changer avec le coefficient de portance, et la pente de la polaire de traînée totale est donc différente de celle de la polaire de traînée induite réelle.

Dans le cas du Horten IV, considérant la pente de la polaire de traînée totale, la valeur d'efficacité semble être de 53 pour cent, cependant, l'efficacité réelle d'envergure, en considérant l'augmentation de la traînée induite, est de 76 pour cent.

Figure 5

Braquages des gouvernes

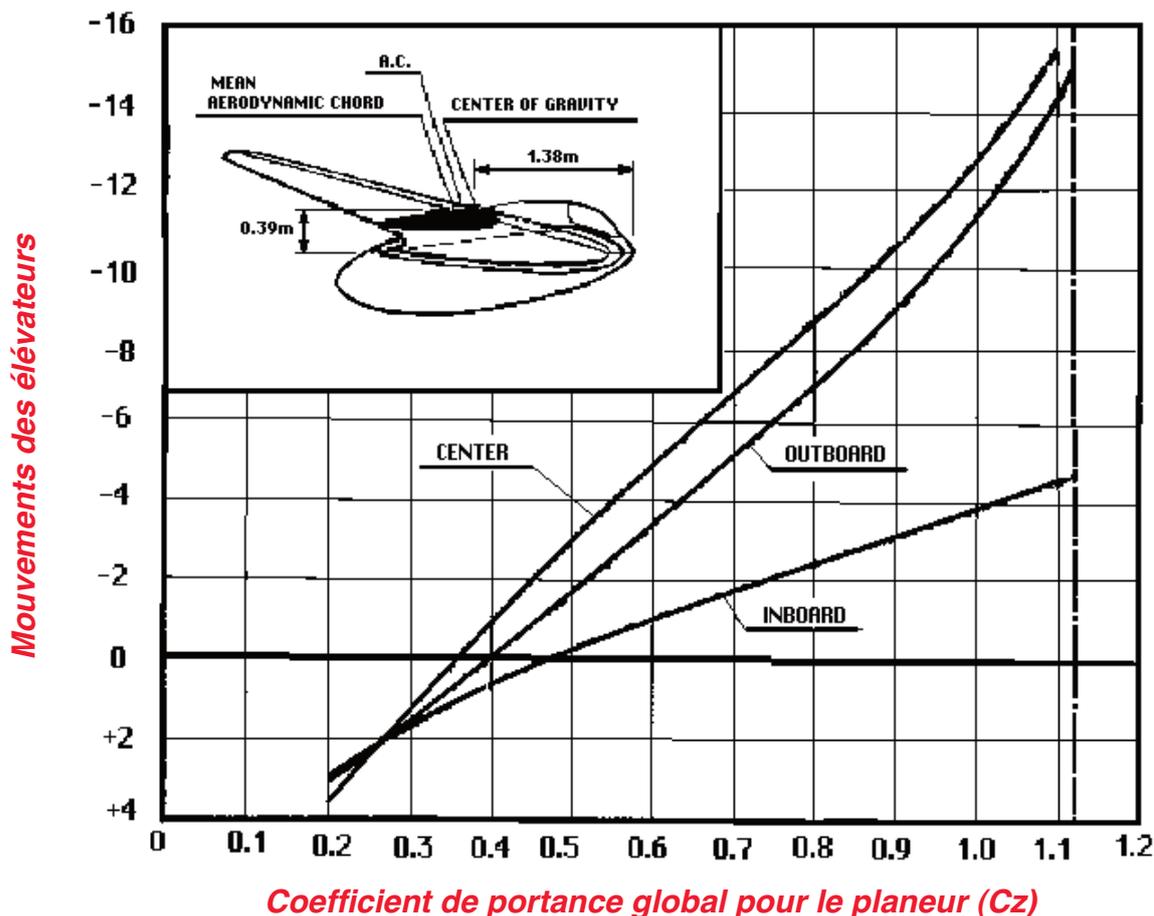
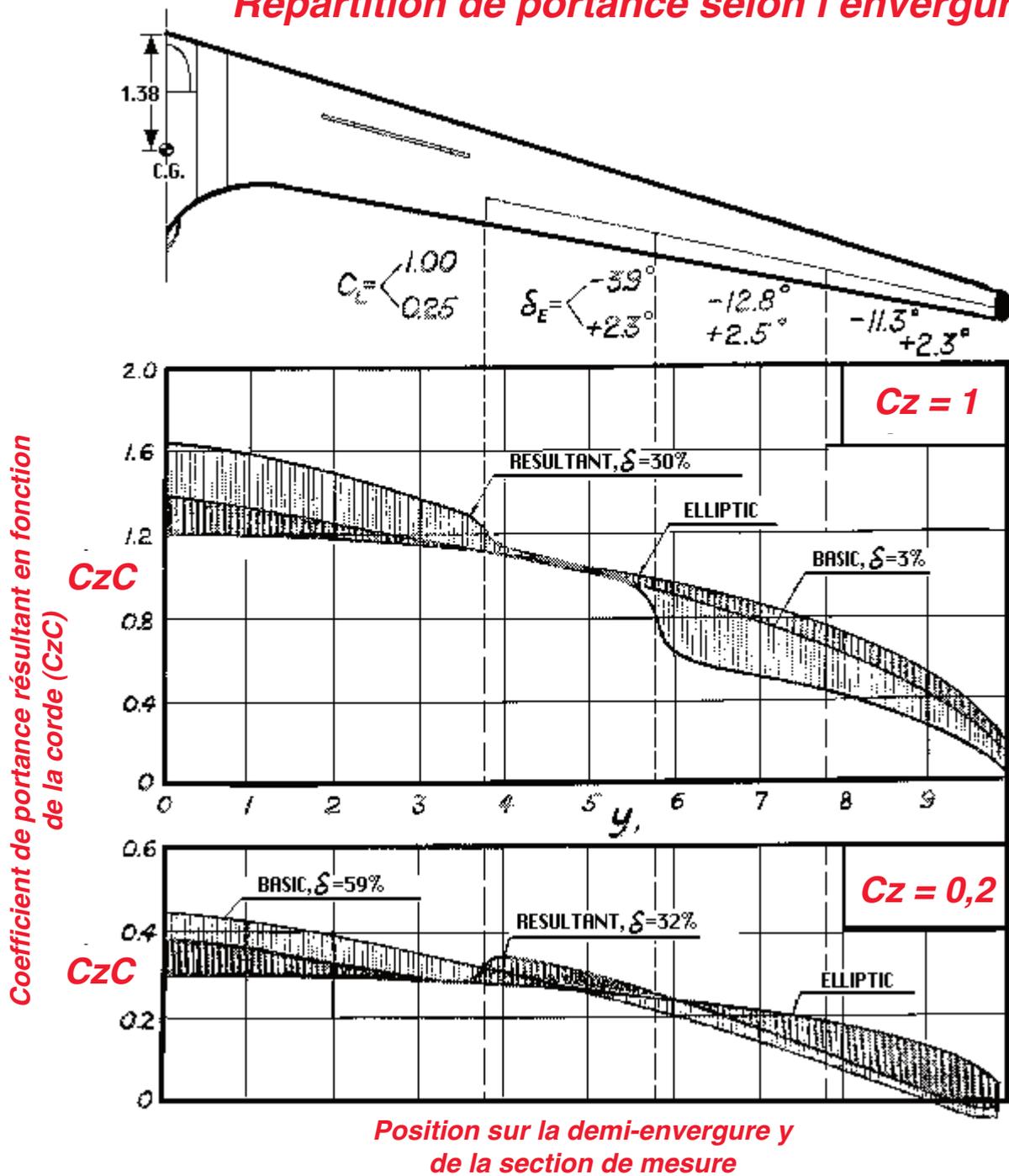


Figure 6

Répartition de portance selon l'envergure



Le coefficient de portance maximal

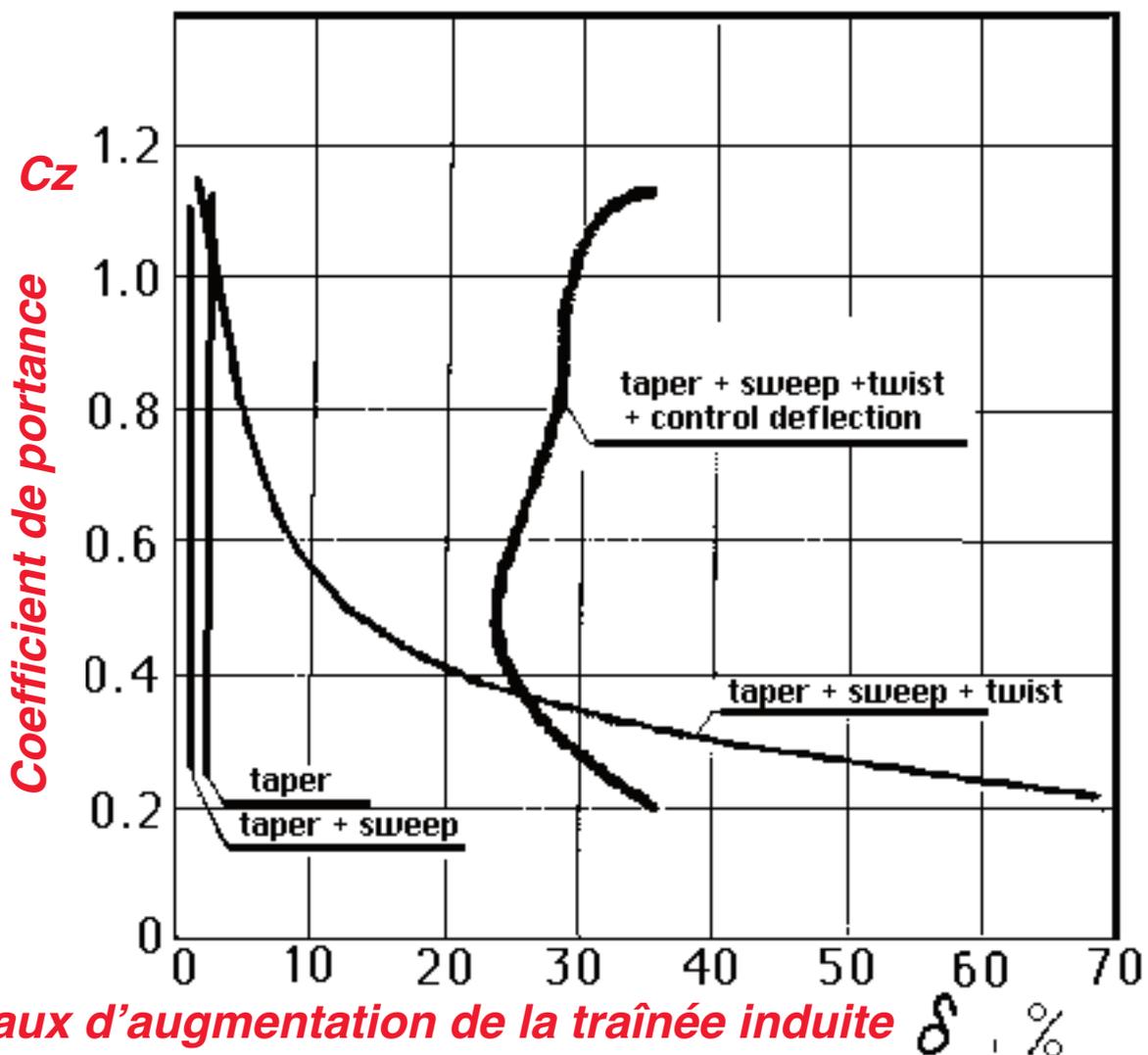
Une autre faiblesse du Horten IV, qui n'a pas été bien comprise, est son faible coefficient de portance maximal. Cela peut aussi être éclairci par l'étude de la répartition de portance à la vitesse minimale.

Dans la figure 11, le coefficient de portance local réel est tracé le long de l'envergure pour $C_z = 1,125$. La valeur de crête, $C_{z \max} = 1,36$, se produit à environ 35 pour cent de la demi-envergure, c'est un peu à l'intérieur des élevons. D'intenses observations par brins de laine ont révélé qu'une séparation de l'écoulement existe à cet endroit lorsque l'avion vole à la vitesse minimale. Cela signifie que le décrochage est initié là, que le coefficient de portance local y atteint sa valeur maximale possible (note du traducteur : C'est voulu par les Horten, selon eux le comportement de l'aile en dépend). Puisque $C_z \max$ pour un profil aérodynamique dépend considérablement du nombre

de Reynolds, le coefficient de portance maximale disponible pour le reste de l'aile peut être estimé. En conséquence, alors que $C_z \max = 1,4$ pour l'emplanture de l'aile ($Re = 1.7 \times 10^6$) il n'est que $C_z \max = 1,00$ au bord marginal ($Re = 0.4 \times 10^6$). Dans la figure 11, la valeur maximale possible du coefficient de portance local est également indiquée. La différence entre cette courbe et le coefficient de portance réel, désignée comme réserve de portance, indique la marge de sécurité envers le décrochage.

Comme on peut le constater, le coefficient de portance local atteint la limite du décrochage une première fois au premier tiers de la demi-envergure et une seconde fois à l'extrémité extérieure de l'élevon intérieur, mais reste bien en deçà de la limite sur la partie extérieure de l'aile, à cause du fort braquage des surfaces de contrôle. Cela implique une grande marge de sécurité contre le décrochage en bout d'aile, mais en même temps se traduit par une perte considérable dans la portance. C'est pourquoi, le coefficient de portance maximal résultant, $Cz_{\max} = 1,125$, est si faible alors que l'aile a un normal $Cz_{\max} = 1,3$ à $1,4$, au nombre de Reynolds concerné. A titre de comparaison, la distribution de coefficients pour le contrôle de l'aile, sans braquage des gouvernes est également donné à la figure 11. Cela montre que le coefficient de portance local dépasserait le plafond disponible sur la partie extérieure de l'aile, provoquant un décrochage de l'extrémité éminemment dangereux. En conséquence, une certaine déflexion négative des gouvernes à l'extrémité est nécessaire, cependant, beaucoup moins devrait être suffisant pour assurer des caractéristiques de décrochage satisfaisantes.

FIGURE 7



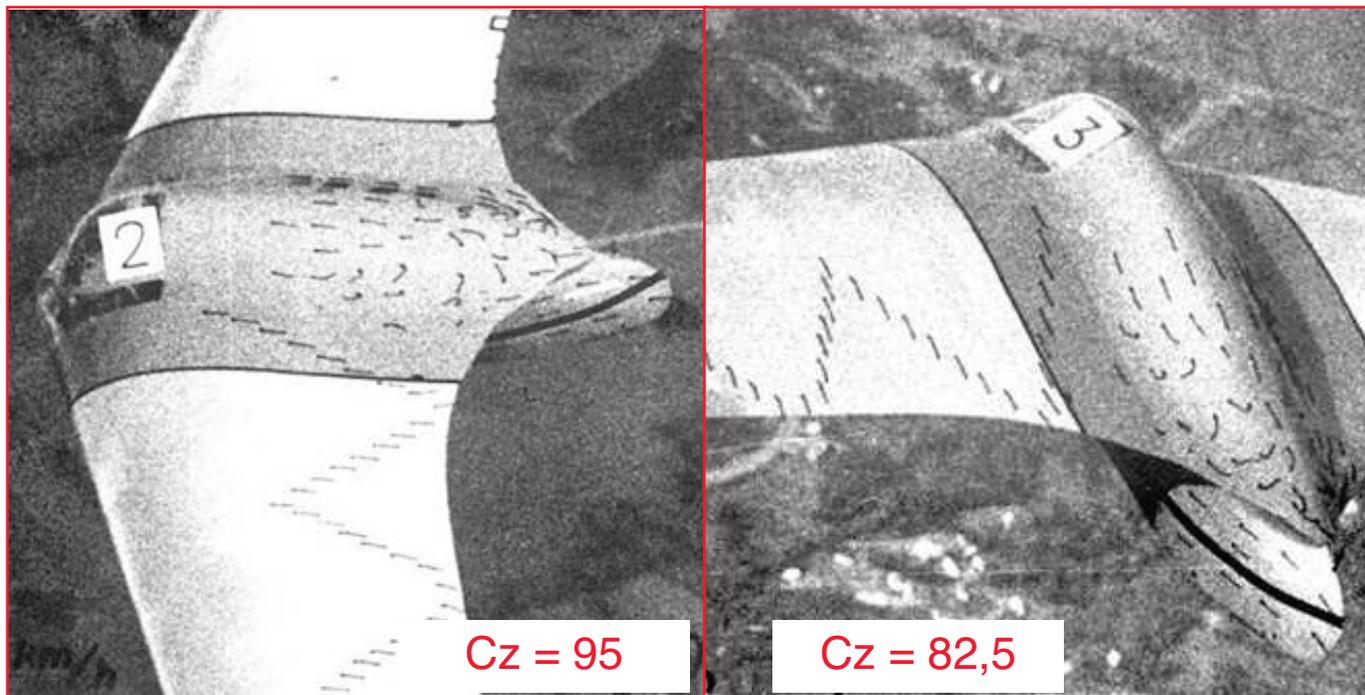
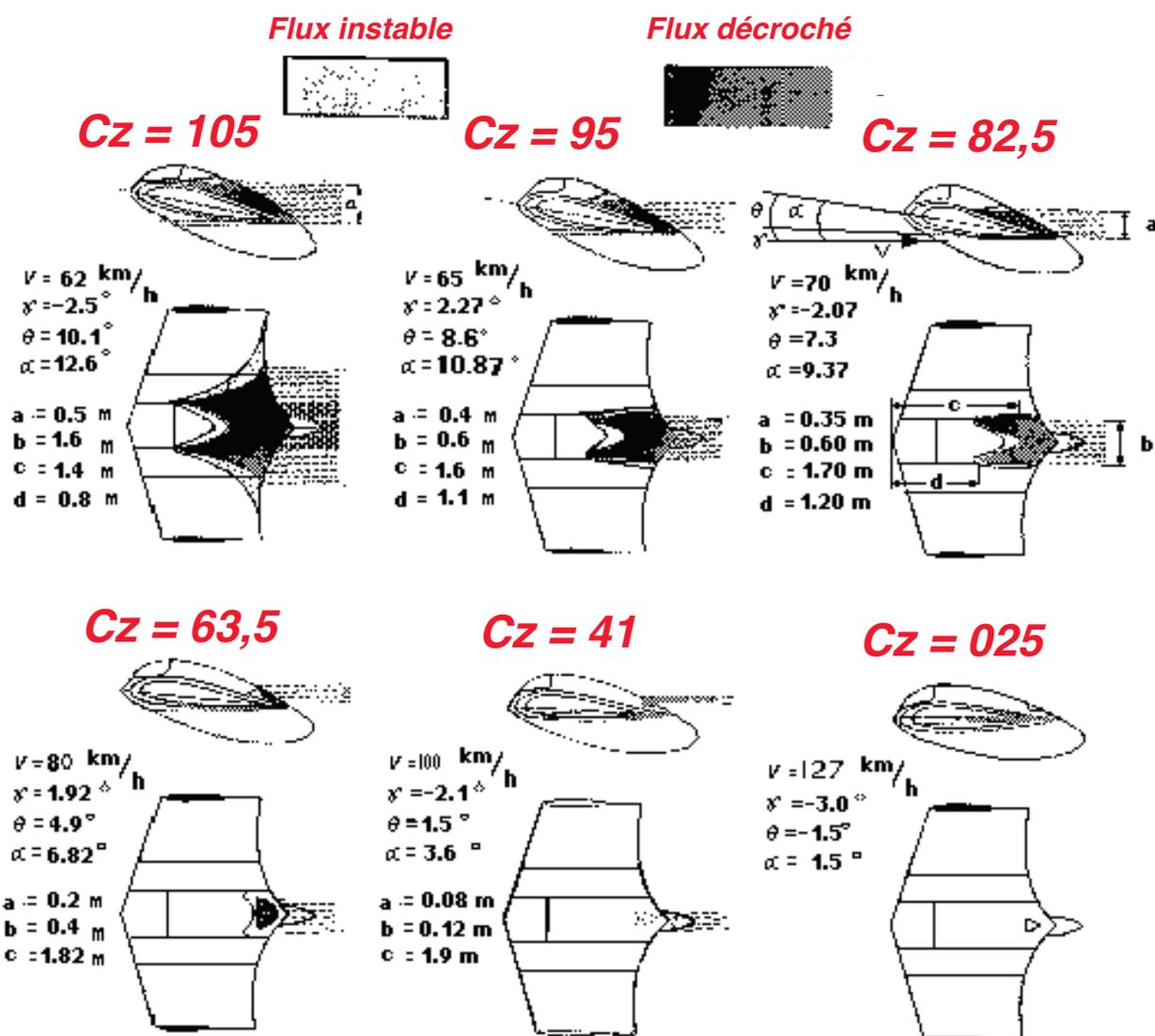


Figure 9

Décrochage turbulent au dessus de la section centrale



Possibilité d'amélioration des performances

Sur la base de cette analyse de la traînée, nous allons examiner les possibilités d'amélioration de la performance. Ceci est basé sur un calcul dans lequel nous avons pris en compte plusieurs améliorations successives des composantes de la traînée qui semblent raisonnables dans l'état actuel des connaissances. Ces améliorations sont les suivantes:

1. Une réduction de la traînée du profil au niveau de celle des ailes laminaires actuelles (1960). À titre de comparaison, la polaire de la traînée de profil du Horten IV et du Phoenix sont présentées dans la figure 12. En outre, deux polaires imaginaires pour le Horten IV, utilisées dans le présent calcul, sont dessinées. Une avec la traînée de plus en plus sévère, comme l'original, et une autre, qui a une traînée presque constante jusqu'à $C_z = 0,8$. Cela ne pourra être atteint que si la surface des élevons, et leur débattement pour assurer le trim, ont été considérablement réduits par tous les moyens.

2. L'augmentation de la traînée induite, qui est de 25 à 30 pour cent, pourraient être réduites à un minimum de 8 à 10 pour cent si l'excès de vrillage et de grande déformation de braquage négatif ont été réduites au maximum. Les solutions à ce problème peuvent être, la flèche, le vrillage et la position du CG variables.

3. La traînée parasite est considéré comme complètement éliminée si on obtient un compartiment du pilote complètement exempt de décrochage.

La figure 13 montre le résultat de ces améliorations sur les performances en vol plané. L'image de la courbe n ° 1 est l'état actuel, les n ° 2, 3 et 4, montrent les performances si la traînée d'un seul de ces trois éléments a été améliorée à la fois. Ainsi, l'importance de chaque modification peut être vue clairement. À savoir que l'élimination complète de la traînée parasite est de nature à affecter les performances principalement à faible vitesse, la finesse max serait à peine augmentée (courbe n ° 2). La réduction de la traînée induite de 10 pour cent ferait passer la finesse max de 29,5 à 32 seulement (courbe n ° 3). Mais une amélioration considérable survient lorsque la traînée de profil est réduite. Le tracé de la courbe n ° 4 a été obtenu en utilisant une polaire de traînée de profil imaginaire marquée comme «A» dans la figure 12. La finesse max passe à 40, et les performances à haute vitesse, c'est à dire la capacité de pénétration, sont grandement accrues. Les courbes n ° 5 et 6 montrent l'amélioration, si en plus de ces réductions de la traînée de profil, les traînées parasites ont été éliminées et la traînée induite a diminué de la manière décrite. Dans ce cas, une amélioration remarquable apparaît dans le domaine des basses vitesses, et les meilleures finesses atteignent 41,5 et 43,5 respectivement. Enfin, la courbe n ° 7 représente l'ultime performance qui pourrait être obtenue avec l'autre polaire de traînée de profil imaginaire marquée «B» dans la figure 12, en supposant naturellement réalisées les améliorations dans les traînées parasite et induite. Dans ce cas on atteint une vraiment phénoménale finesse max de 48.

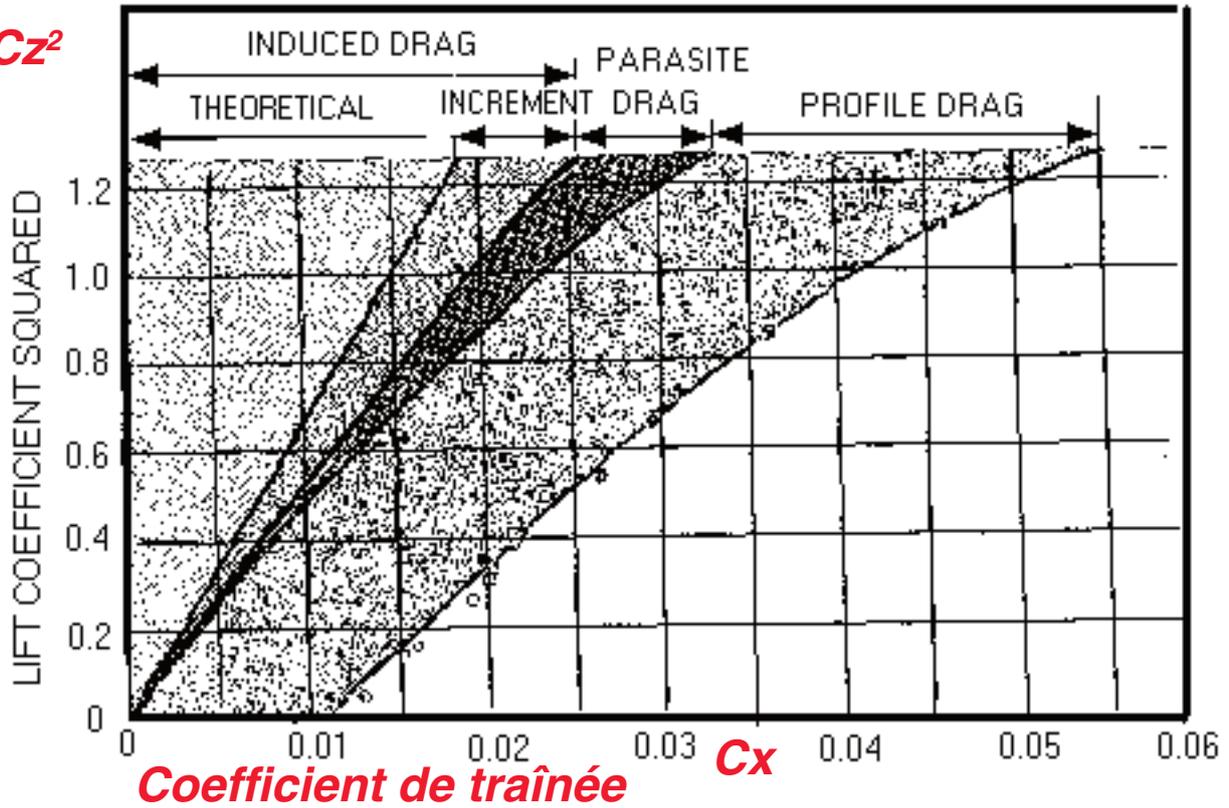
Conclusions

La présente enquête a essentiellement mis en évidence les causes par lesquelles les performances de l'Horten IV sont limitées. Mais aussi qu'une grande marge d'amélioration semble être possible par la réduction de la traînée. Une aile volante "dernier cri" de la taille de la Horten IV devrait être en mesure d'atteindre une finesse maximale de près de 50. Dans le cas d'un des meilleurs modèles classiques, comme le Phoenix, une telle performance ne semble réalisable que si un vaste contrôle de la couche limite peut être appliqué. Ceci démontre que la configuration aile volante n'est pas une idée obsolète, mais qu'elle est digne de recherches.

Figure 10

Analyse de la polaire de traînée

C_z^2

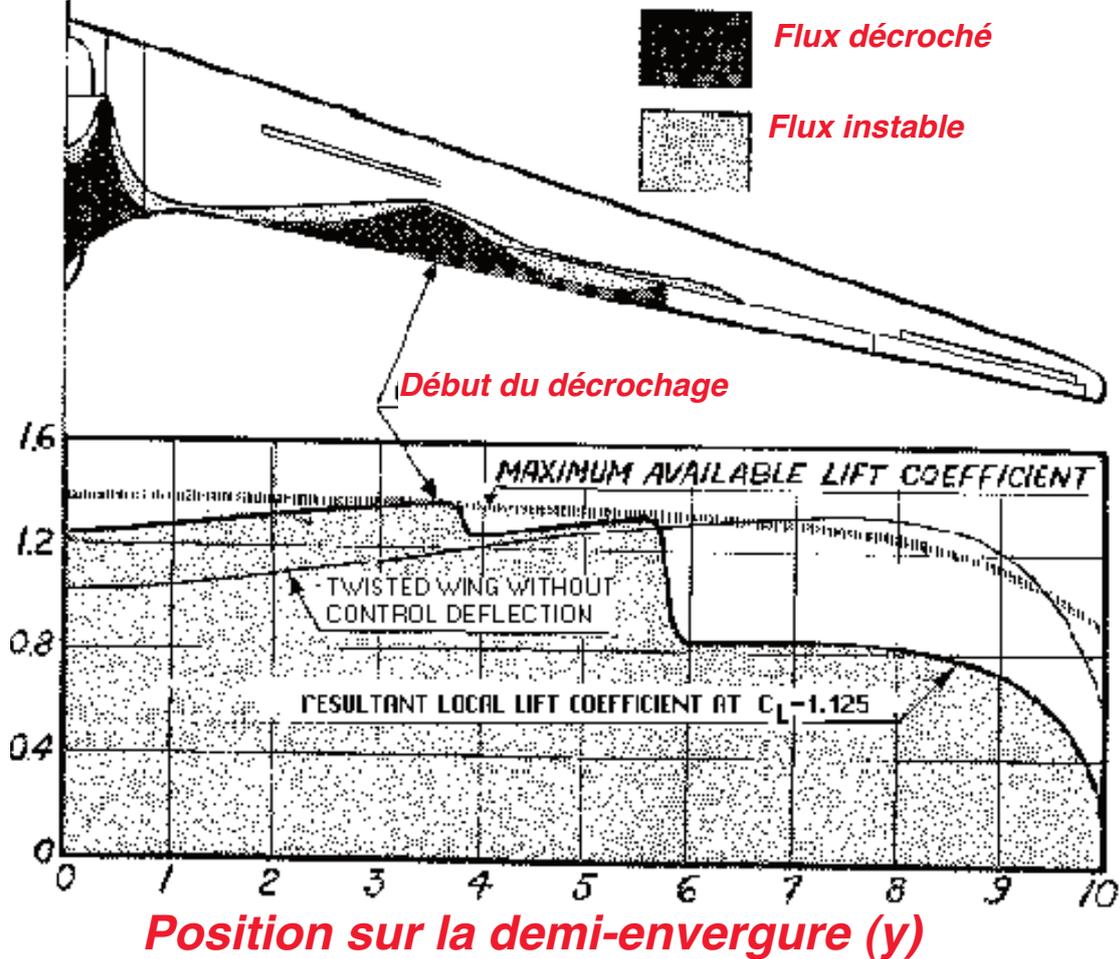


Coefficient de traînée C_x

Figure 11

Conditions au minimum de vitesse

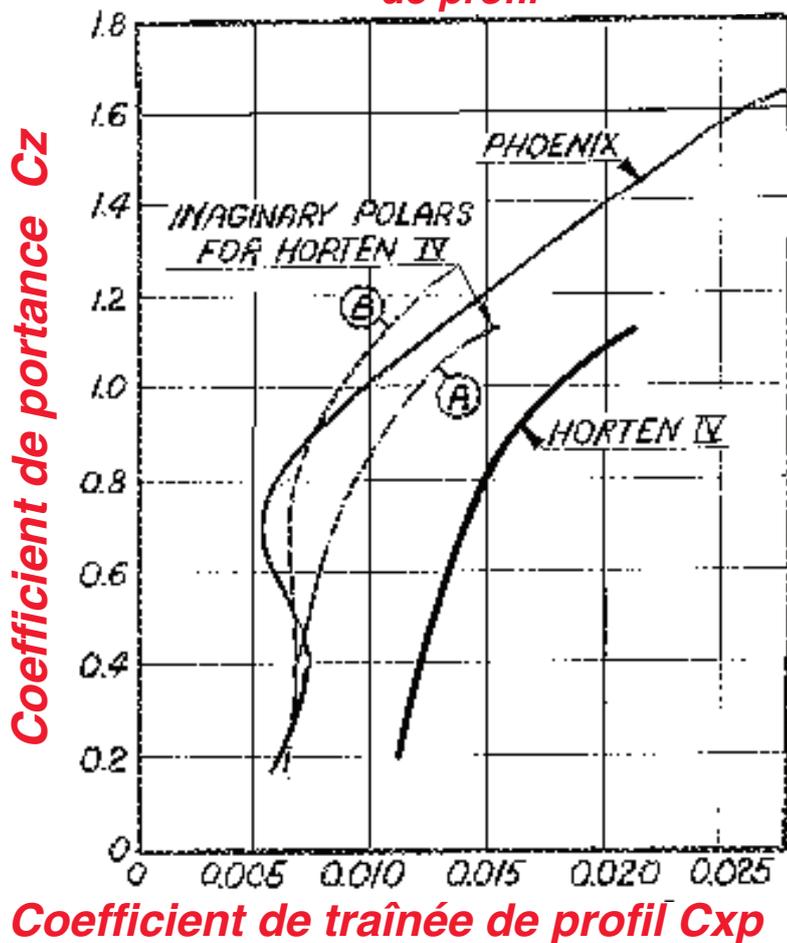
Coefficient de portance local C_z



Position sur la demi-envergure (y)

Figure 12

Gain possible en traînée de profil



Il est au-delà de la portée du présent document d'analyser la stabilité et les caractéristiques de vol dans le détail, néanmoins, l'auteur tient à faire observer que, à son avis, le pilotage de la Horten IV n'est pas fondamentalement plus difficile que celui de tout autre planeur de haute performance. Le caractère extrêmement bon des caractéristiques de décrochage et de spirale, ainsi que l'excellente maniabilité à l'atterrissage sont à noter en particulier. La position couchée du pilote est censé donner une sensation plus naturelle que la plus conventionnelle position assise, en outre, elle fournit une visibilité incomparable pour l'atterrissage et la navigation. De l'autre côté de la balance, cependant, la stabilité directionnelle marginale, la réponse inhabituelle du gouvernail de direction couplé avec le contrôle de tangage, et surtout, le flutter du bout de l'aile apparaissant au-dessus de 140 km / h, doivent être signalés.

Tirant les conclusions finales, une fois de plus, nous résumons les principales lacunes de la Horten IV et es-

quissons les possibilités d'amélioration dans le tableau II.

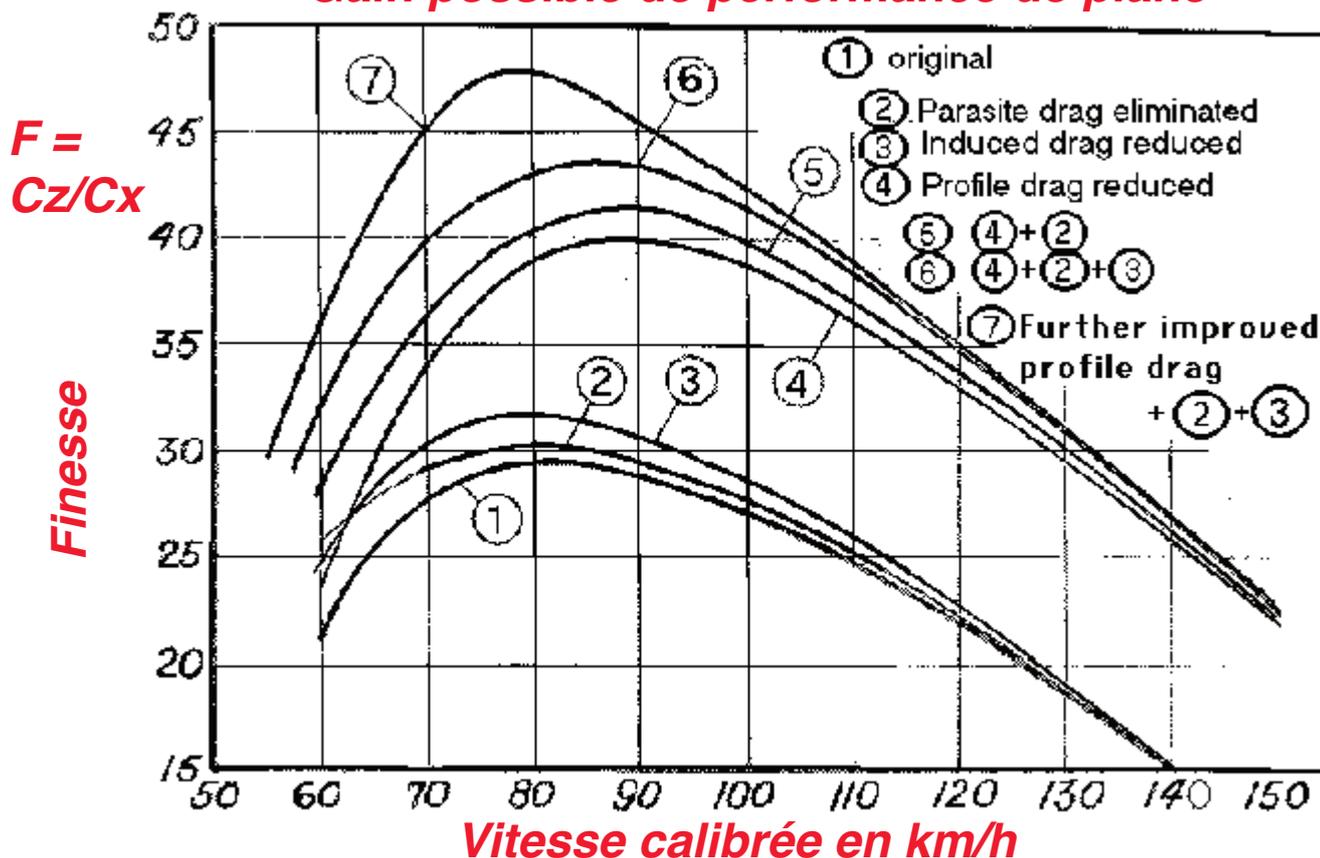
Deux des améliorations suggérées sont d'une importance primordiale, ce sont l'utilisation d'un profil laminaire à faible traînée et l'élimination des grands braquages de gouverne par quelque moyen, par exemple, la variation de flèche ou de centre de gravité. La flèche variable semble assez pratique, toutefois, un examen plus détaillé est nécessaire pour savoir ce qui serait le plus favorable. Pour ce faire, bien sûr, la stabilité et le pilotage sont les caractéristiques à prendre également en considération.

Puisque la clef de voûte de l'amélioration de la performance réside dans l'utilisation d'une aile laminaire, cela signifierait dans le cas du Horten IV, une reconstruction complète de la cellule. Par conséquent, la poursuite du développement semble plus raisonnable grâce à un nouveau design, dans lequel toutes les expériences acquises jusqu'à présent, ainsi que les dernières technologies de la construction pourraient être utilisées. Cela ne signifie pas, cependant, qu'il n'y a pas d'autres recours pour le Horten IV en ce qui concerne de nouvelles recherches. Par exemple, dans un souci de développement, il serait nécessaire d'évaluer les caractéristiques de stabilité et de contrôle, comme cela a été fait pour les performances. En outre, il serait très utile d'effectuer un test sur la flèche variable avant de l'adopter pour une nouvelle conception et le Horten IV semble être adapté à cette expérience.

Nous, au Mississippi State University, avons prévu de poursuivre ce travail à travers une évaluation plus poussée et l'étude d'une nouvelle conception d'aile volante, dans laquelle le brave vieux Horten IV serait réincarné. La mort tragique du docteur August Raspert qui était le principal inspirateur de cette étude, fait que les chances de réaliser ce plan sont très incertaines.

Figure 13

Gain possible de performance de plané



Remerciements

Ce travail a été fait sous l'égide de l'United States Army Transportation Command and Office of Naval Research. Le docteur August Raspel, Chef du Département Aerophysics, a pris l'initiative de cette étude et a donné son plein appui et l'inspiration. Une reconnaissance particulière est due à monsieur Rudolf Opitz qui a sauvé le Horten IV de la destruction, l'a reconstruit et l'a fait voler avec un succès remarquable dans la US National Contest de 1951, ainsi que dans les premiers essais en vol au Mississippi State University. Il a ensuite instruit l'auteur pour piloter le planeur et lui a transmis la plus grande partie de sa vaste expérience de vol sur les ailes volantes.

Références

1. Wilkinson, KG: "le Horten Tailless Aircraft", RAE Rapport FA 259 / 1, TN Aero n° 1703, octobre, 1945.
2. Zacher, Hans.: "Ergebnisse der Leistungsmessung Flugeigenschaft und prufung des Segelfugzeuges D-30'Cirrus". Mitteilungen der Flugtechnischen Fachgruppen et Arbeitsgemeinschaften, Folge 6 / septembre 1944.
3. Machin, CE: "Le Contrôle de la performance Slingsby Sky", Journal of the Royal Aeronautical Society, juillet 1954.
4. Raspel, A.: "Leistungssteigerung von Segelflugzeugen durch die Berücksichtigung der Grenzschichtforschung". Hirth, W.: "Handbuch des Segelfliegens 125/145 pp.
5. Silverstein, A. et Katzoff, S.: "méthode simplifiée pour déterminer la traînée de profil." Journal of Aeronautical Sciences, vol. 7, n° 7, 1940, 295/301 pages.
6. Raspel, A.: «Études de la couche limite dans un planeur», Aeronautical Engineering Review, juin 1952, p. 52/60.
7. Schrenk, O.: "A Simple Approximation Method pour l'obtention de la répartition de portance", NACA TM 948, 1940.

8. Weissinger, 1.: "The Lift Distribution de Swept Retour Wings" NACA 1120 TM, 1947.
9. Racz, E.: "Airplane Design", Tankonyvkiado, Budapest, 1965.
10. Gruber, J., Blaho, M.: "mécanique des fluides", Tanbuyvkiado, Budapest, 1956.

Symboles

AC	M	Centre aérodynamique
B	M	Envergure
C	--	Longueur de la corde
CG	--	Centre de gravité
CD	--	Coefficient de traînée totale
CL	--	Coefficient de portance résultante
CL	--	Coefficient de portance local
C _{Dp}	--	Coefficient de traînée de profil résultant
C _{dp}	--	Coefficient de traînée de profil local
C _{Di}	--	Coefficient de traînée induite
E	--	Efficacité d'envergure
Re	--	Nombre de Reynolds
S	M ²	Surface alaire
V	Km / h	Vitesse à l'anémomètre étalonné
W	Kg	Poids brut
W	M / sec	Vitesse de chute
Y	M	Distance perpendiculaire à l'axe de symétrie
Un	Deg.	Angle d'attaque
δ	--	Facteur d'augmentation de la traînée induite
δ E	Deg.	Angle de déflexion d'élevon
ε	--	Finesse
Y	Deg.	Angle de la trajectoire de descente
θ	Deg.	Angle d'incidence
Л	--	Allongement géométrique
Л EFF	--	Allongement effectif

Principales dimensions du Horten IV

Envergure :	20 m
Surface alaire :	18,8 m ²
Allongement :	21,3
Dièdre :	5 degrés
Flèche positive (à 1 / 4 corde) :	17 degrés
Vrillage :	7,1 degrés
Corde de l'aile :	1,55 mètres
Corde à l'extrémité de l'aile :	0,28 mètres
Effilement :	5,55
Profil :	Réflex (dessin personnel)
Superficie totale des élevons :	3,16 m ²
Ratio de la surface totale des élevons	
à la surface alaire :	16,8 %
Total surface mouillée :	41 m ²
Ratio de la surface mouillée	
à la surface alaire totale :	2,18
Poids à vide (état actuel) :	266 kg
Poids en ordre de vol (récents essais) :	366 kg
Charge alaire (récents essais) :	19,5 kg / m ²

TABLEAU II

Résumé de l'évaluation du Horten IV relativement à la performance

Deficience	Raison	Les moyens possibles d'amélioration
Forte traînée de profil	Aile obsolète	Utilisation d'une aile laminaire
	Perturbation de l'aile par les gouvernes de profondeur, les aérofreins et les gouvernails de direction.	Plus petites mais plus efficaces surfaces de contrôle et raccords étanches. Conception différente des aérofreins et gouvernails
	Trop grands débattements	CG ou flèche variable pour donner l'assiette
Forte traînée induite	Faible nombre de Reynolds, à l'extrémité en raison de la forte conicité	Modérer l'effilement
Forte traînée parasite	Vrillage, effilement, braquages excessifs	CG ou flèche variable pour donner l'assiette
	Décrochage derrière la canopée	Conception de cockpit différente
Faible Cz maximal	Trop grands braquages de gouvernes, conicité excessive	CG ou flèche variable et peut-être vrillage variable, moins d'effilement