

Charges sur un planeur en air agité du point de vue des principes généraux de résistance polonais

Par Mgr. inz. JUSTYN SANDAUER

Conférence au 7^e Congrès de l'OSTIV, Leszno (Pologne), juin 1958

I. - Remarques générales

Le problème des charges en air agité, essentiel pour chaque constructeur d'avions, prend encore plus de valeur dans le cas de la construction des planeurs. Ce fait ressort strictement des conditions d'utilisation très spécifiques pour les planeurs. L'étude du projet polonais sur les principes généraux de construction des planeurs et particulièrement sur leur partie concernant la résistance a provoqué la nécessité d'une analyse approfondie de l'état actuel des sciences dans le domaine des charges auxquelles est soumis un planeur attaqué par une rafale. L'analyse théorique du problème a été confrontée avec les principes généraux de résistance des planeurs étrangers et avec les longues expériences propres. Sous le terme d'expériences propres, je comprends aussi bien les méthodes de calcul actuellement en usage que les résultats de l'activité sportive de nos aéroclubset de l'Institut d'hydrométéorologie polonais (P. I. H. M.).

Les principes polonais concernant les charges en air agité et rédigés en conséquence de cette étude sont basés en principe sur le choix de quelques rafales standard qui caractérisent différents degrés de turbulence de l'atmosphère et sur le choix de vitesses de vol correspondantes. Le calcul des charges, réalisé à l'aide des conditions en question, outre les vitesses de vol, outre l'intensité et la structure des rafales, considère l'influence des perturbations d'équilibre des couples de tangage du planeur et l'influence de la rigidité en flexion de la voilure. Dans le cas de rafales appelées faibles, à courte zone de transition, le calcul tient compte aussi de l'influence de l'écoulement non-stationnaire (l'effet de Wagner).

Avant de passer à la description détaillée des charges d'un planeur en air agité du point de vue des principes généraux polonais, nous nous arrêterons sur la classification et la structure des rafales choisies. Les expériences obtenues ont permis de faire la classification des rafales suivantes

- | | |
|-------------------|---|
| a) rafale faible | — vitesse maximum
$W_0 = \pm 4$ m/sec |
| b) rafale normale | — vitesse maximum
$W_0 = \pm 10$ m/sec |
| c) rafale forte | — vitesse maximum
$W_0 = \pm 30$ m/sec |

La structure des rafales est envisagée comme linéaire dans la zone de transition, avec un gradient constant égal à

$$c = \frac{W_0}{s_0} = 1 \text{ } 1/\text{sec},$$

c'est-à-dire que la longueur de la zone de transition (en mètres) est égale à la vitesse maximum (en m/sec). La figure 1

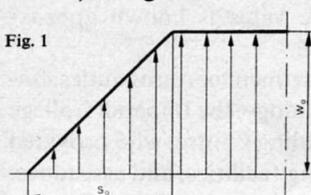


Fig. 1

représente la structure des rafales ainsi admise. Si les vitesses des rafales admises ne demandent pas d'explications supplémentaires (à part le fait que des rafales verticales de l'ordre

de 30 m/sec ont été observées en Pologne à plusieurs reprises dans des nuages du type CuNi et pendant les vols d'onde dans les rotateurs), le gradient des vitesses admis dans la zone de transition, par contre, a besoin de quelques commentaires.

De toutes les répartitions de vitesses admissibles dans la zone de transition des rafales: sinusoïdale, parabolique et linéaire, la répartition linéaire est la plus simple du point de vue mathématique, et les charges calculées de cette façon ne diffèrent que de quelques % par rapport aux charges calculées d'une autre manière. La figure 2 donne une image

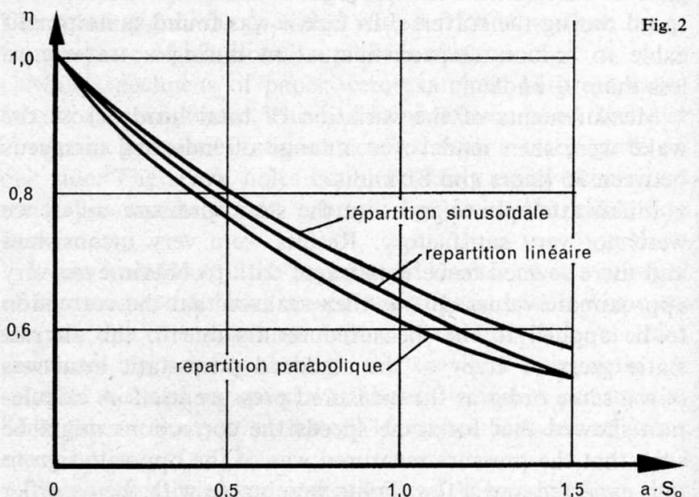


Fig. 2

de cette règle. Sur le graphique, on a montré le caractère du coefficient d'atténuation η (allévation factor), égal au rapport de la charge maximum d'un planeur attaqué par une rafale au caractère de la zone de transition défini, à une charge sur le même planeur attaqué par une rafale instantanée, c'est-à-dire sans zone de transition, en fonction du parcours « s_0 » et du paramètre du planeur.

$$a = \frac{1}{2} \rho \frac{s}{Q} \frac{dc_z}{da} \cdot g$$

Les valeurs du coefficient η ont été calculées de la façon la plus simple, en négligeant toute une série de facteurs qui ont été pris en considération dans les principes en question, mais qui ne sont pas de nature essentielle dans nos discussions de comparaison.

La répartition linéaire des vitesses dans la zone de transition a été choisie dans les principes internationaux de l'aviation ICAO et dans les principes généraux anglais ARB de construction et de résistance des avions et des planeurs. Avant de donner les motifs sur lesquels sont basés les principes polonais concernant le gradient $c = 1 \text{ } 1/\text{sec}$, il faut ajouter que les connaissances possédées actuellement sur la structure des rafales, et particulièrement sur la longueur s_0 de la zone de transition en fonction de la vitesse maximum W_0 de la rafale ne sont pas suffisantes à une stricte étude des charges. Il existe d'une part des mesures [1] qui démontrent qu'un accroissement de la vitesse W_0 entraîne une augmen-

tation de la longueur s_0 et que l'enveloppe des points au gradient

$$\frac{W_0}{s_0}$$

maximum, autrement dit une enveloppe qui charge d'une façon maximum un planeur, répond approximativement, dans la zone inférieure à $W_0 = 15$ m/sec à l'équation

$$\frac{W_0}{15} = \left(\frac{s_0}{30}\right)^{1/2}$$

D'autre part, il existe des mesures [2] qui donnent des résultats différents, et particulièrement dans la zone des vitesses inférieures à $W_0 = 10$ m/sec l'enveloppe est presque une droite répondant à l'équation

$$W_0 = s_0$$

Les principes généraux ICAO de construction des avions et les principes ARB de construction des avions et des planeurs considèrent la longueur de la zone de transition comme constante et égale à $s_0 = 30$ m, indépendamment de l'intensité de W_0 .

La valeur du gradient $c = 1$ 1/sec admise dans les principes polonais donne

pour $W_0 = 10$ m/sec $\rightarrow s_0 = 10$ m conformément à (2)

pour $W_0 = 30$ m/sec $\rightarrow s_0 = 30$ m conformément à l'ICAO et à l'ARB

Le deuxième élément essentiel des principes polonais, outre la classification des rafales, concerne la définition des vitesses limite du vol liées au degré de turbulence de l'atmosphère et à la catégorie des planeurs. On exige que les planeurs résistent aux rafales

faibles — à une vitesse V_{max}
normales } — à une vitesse $2,0 V_{min}$ pour les planeurs d'école et d'entraînement
ou fortes }

2,5 V_{min} }* pour les planeurs de performance
ou }
0,25 V_{lim} } et d'acrobatie

* Des deux vitesses la plus grande est obligatoire.

Il faut ajouter qu'on n'exige une documentation des charges dues à des rafales fortes que pour les planeurs destinés aux vols dans les nuages et aux vols d'onde.

Le calcul des valeurs maxima des charges sur un planeur est basé sur les principes simplifiants suivants:

1. La vitesse sur trajectoire du planeur attaqué par une rafale est constante.
2. La vitesse de la rafale est orthogonale à la trajectoire du planeur.
3. Les forces agissant sur l'empennage horizontal ne sont pas grandes en comparaison avec les forces agissant sur la voilure et n'influent que sur l'équilibre des couples de tangage, n'ayant pas d'influence directe sur la trajectoire du planeur.

Les principes 1 et 3 sont compréhensibles et n'ont pratiquement pas d'influence sur la précision du calcul; le principe 2, par contre, demande quelques explications.

L'analyse de l'influence de la direction de la rafale instantanée sur la valeur des charges qui a été basée sur des principes simplifiants supplémentaires (sans diminuer la valeur comparative des résultats) a démontré que pour un rapport entre la vitesse de la rafale et la vitesse de vol de

$$r = \frac{W_0}{V} \leq 0,3$$

et pour un angle d'attaque de $\alpha \leq 0,1$, le maximum de la charge répond à une rafale qui forme un angle φ de 70° – 80° avec le vecteur de la vitesse sur trajectoire. Cette charge ne diffère cependant que de quelques % par rapport à la charge due à une rafale orthogonale. Les avis ci-dessus sont illustrés sur le diagramme de la figure 3. Parmi les principes sim-

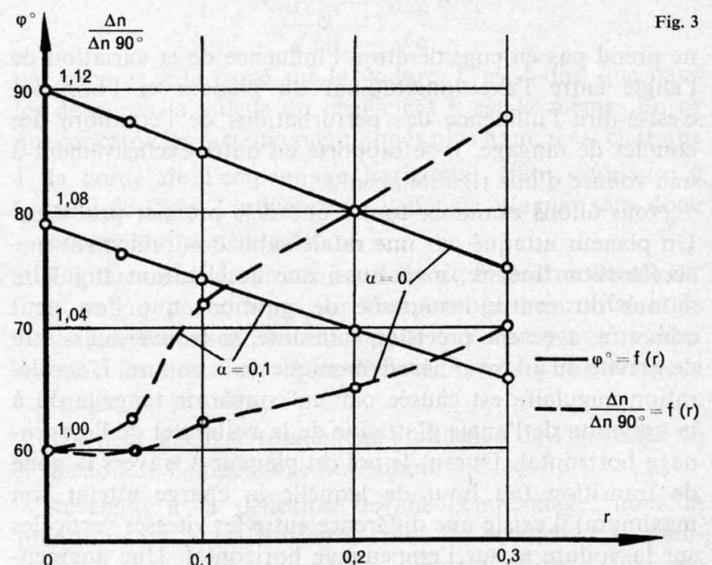


Fig. 3

plifiants, à la base desquels on a construit ce diagramme, se trouve la négligence de l'influence de l'écoulement non-stationnaire. Cette influence a été considérée par Küssner [3] et ne change pas, comme il a été démontré, la précision suffisante des calculs des charges, fondés sur une rafale orthogonale. L'emploi d'une rafale orthogonale comme base pour les calculs de résistance est donc justifié et, par conséquent, a trouvé sa place dans tous les principes généraux.

II. - Les charges sur la voilure

Les calculs fondamentaux des charges sur la voilure dues à une rafale réelle sont menés d'une façon analogue aux calculs des charges dues à une rafale instantanée, la différence étant considérée par l'intermédiaire du coefficient d'atténuation η . Ce coefficient qui est en fonction du paramètre du planeur « a » et de la longueur de la zone de transition « s_0 » a été mentionné dans les principes généraux comme

$$\eta = f(a \cdot W_0) \quad (\text{figure 4})$$

en tenant compte du principe fondamental $s_0 = W_0$.

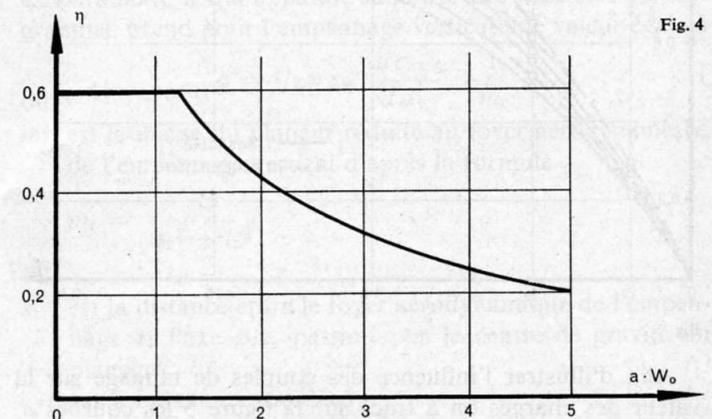


Fig. 4

La considération de l'influence de l'écoulement non-stationnaire a démontré que, pour des valeurs de $a \cdot W_0 \leq$

1,15, la valeur du coefficient η est constante et égale à $\eta = 0,6$. Pour $a \cdot W_0 > 1,15$, la différence entre les valeurs du coefficient η , calculées pour l'écoulement non-stationnaire, est de l'ordre de quelques %, ce qui a permis de négliger l'effet de Wagner. Le calcul de l'accroissement du facteur de charge, d'après l'équation

$$\Delta \eta = \frac{a W_0 \eta}{g} V$$

ne prend pas en considération l'influence de la variation de l'angle entre l'axe longitudinal du planeur et l'horizon, c'est-à-dire l'influence des perturbations de l'équilibre des couples de tangage. Il se rapporte en outre exclusivement à une voilure d'une rigidité absolue.

Nous allons examiner tout d'abord le premier problème. Un planeur attaqué par une rafale subit non seulement une accélération linéaire, mais aussi une accélération angulaire autour du centre instantané de rotation, que l'on peut admettre, avec une précision suffisante, se trouver au centre de gravité ou au foyer aérodynamique de la voilure. L'accélération angulaire est causée par un couple de tangage dû à la variation de l'angle d'attaque de la voilure et de l'empennage horizontal. Durant le vol du planeur à travers la zone de transition (au bout de laquelle la charge atteint son maximum) il existe une différence entre les vitesses verticales sur la voilure et sur l'empennage horizontal. Une augmentation identique des vitesses verticales sur la voilure et l'empennage horizontal cause un couple du même signe que celui du facteur de la stabilité longitudinale (en principe négatif, c'est-à-dire piqueur). La différence de vitesses est par contre l'origine d'un couple cabreur qui augmente la charge de la voilure. Au gradient des rafales donné, la valeur de cette charge supplémentaire dépendra donc, en premier lieu, de la marge de stabilité longitudinale.

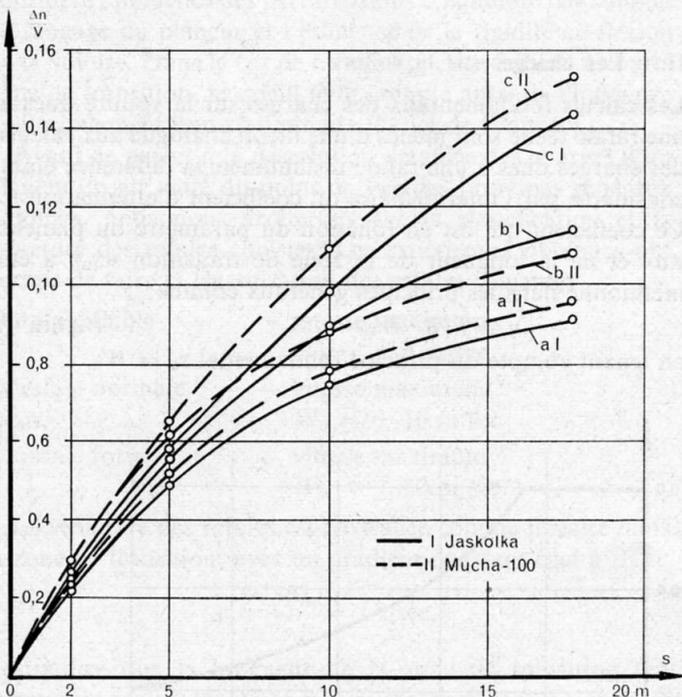


Fig. 5

Afin d'illustrer l'influence des couples de tangage sur la valeur des charges on a tracé sur la figure 5 les courbes *a*, *b*, et *c* pour les planeurs Jaskolka (index I) et Mucha 100 (index II). Les courbes *a* ne prennent pas en considération l'influence des couples de tangage. Les courbes *b* se rappor-

tent aux valeurs réelles des marques de stabilité longitudinale des planeurs étudiés

$$\left(\frac{dc_{mG}}{dc_z}\right)_I = -0,16; \left(\frac{dc_{mG}}{dc_z}\right)_{II} = -0,20$$

et les courbes *c*, à la valeur

$$\frac{dc_{mG}}{dc_z} = 0$$

Comme il s'ensuit de la figure 5, la négligence de l'influence des couples de tangage peut amener, surtout dans le cas du planeur à la marge de stabilité longitudinale peu élevée, à une sous-appréciation inadmissible des charges dues à une rafale. Les principes généraux polonais tiennent compte de cette influence à l'aide du coefficient $k_1 = 1,2$.

La valeur du facteur de charge calculé de la façon suivante

$$n = 1 + 1,2 \Delta n$$

ne peut pas correspondre au coefficient de portance supérieur à $c_{z \max}$, soit

$$n \leq 1,25 \frac{V^2}{V_{\min}^2}$$

Le coefficient 1,25 considère aussi bien l'accroissement dynamique de $c_{z \max}$ que la possibilité d'attaque d'une rafale oblique, pour laquelle l'augmentation de la portance est due non seulement à l'accroissement de l'angle d'attaque, mais aussi de la vitesse.

Le dernier facteur dont l'influence sur la charge d'un planeur en air agité est considérée dans les principes polonais, c'est la flexibilité de la voilure. L'accroissement du facteur de charge en fonction du temps pour une voilure flexible a été calculé en négligeant l'effet de Wagner et l'influence des couples de tangage d'après la formule qui suit:

$$\Delta \eta_{\text{elast}} \approx - \frac{ac V^2}{g\omega} l^{-rt} \sin \omega t + \Delta \eta_{\text{rig}}$$

où

$\Delta \eta_{\text{rig}}$ est l'accroissement du facteur de charge pour une voilure rigide;

ω la pulsation des vibrations propres en flexion;

c le gradient de la zone de transition de la rafale;

r le facteur d'amortissement aérodynamique des vibrations.

Si nous envisageons un écoulement stationnaire, nous obtiendrons

$$r = 0,5 \cdot a \cdot V \cdot \frac{M_{\text{plan}}}{M_{\text{voil}}}$$

Le calcul du facteur r , fondé sur ce principe simplifiant, conduit à une erreur considérable due à une grande vitesse de variation de l'angle d'attaque. Cette erreur nous mènerait à des résultats trop optimistes; il est donc nécessaire de diminuer la valeur de r d'une façon suffisante jusqu'à

$$r = 0,35 \cdot a \cdot V \cdot \frac{M_{\text{plan}}}{M_{\text{voil}}}$$

Les maxima des valeurs absolues de la fonction $\Delta \eta_{\text{elast}}$ répondront aux valeurs suivantes:

$$t = \frac{3}{2\omega} \pi; \frac{7}{2\omega} \pi; \frac{11}{2\omega} \pi$$

Le maximum du rapport

$$\frac{\Delta \eta_{\text{elast}}}{\Delta \eta_{\text{rig}}}$$

répondra naturellement à une valeur proche de la suivante:

$$t = \frac{3}{2\omega} \pi$$

et sera égale à

$$\left(\frac{\Delta \eta_{\text{elast}}}{\Delta \eta_{\text{rig}}}\right)_{\text{max}} \approx 1 + \frac{a v}{\omega} \frac{l}{1-l} \frac{3 r \pi}{2 \omega} - \frac{3 a v \pi}{2 \omega}$$

Ce raisonnement a trouvé son illustration dans la figure 6, où sont représentées les courbes d'accroissement du facteur de charge pour le planeur Jaskolka et la rafale au gradient $c = 1$ aux différentes vitesses de vol. Les courbes *a* répondent à un planeur absolument rigide ($\omega = \infty$), les courbes *b* à la flexibilité réelle de la voilure ($\omega = 16 \text{ }^1/\text{sec}$); quant aux courbes *c*, elles répondent à une valeur fictive de comparaison, égale à $\omega = 20 \text{ }^1/\text{sec}$.

Comme il s'ensuit de la figure 6, dans le cas où la durée de la traversée de la zone de transition est égale à

$$t = \frac{s_0}{V} \geq \frac{4}{2 \omega} \pi$$

il est admissible de négliger l'influence de l'élasticité de la voilure. Dans le cas contraire, c'est-à-dire pour

$$\omega \leq \frac{2 \pi V}{s_0}$$

il est nécessaire de prendre cette influence en considération.

Une analyse détaillée du problème nous a amenés à formuler dans les principes généraux de résistance polonaise une condition qui demande dans le cas où

$$\omega (+ \text{ }^1/\text{sec}) \leq 0,6 V (\text{m/sec})$$

la considération de l'influence de la flexibilité de la voilure à l'aide de la formule

$$n = 1 + k_2 (n_{\text{rig}} - 1)$$

où

$$k_2 = 1 + \frac{a V}{3 \omega}$$

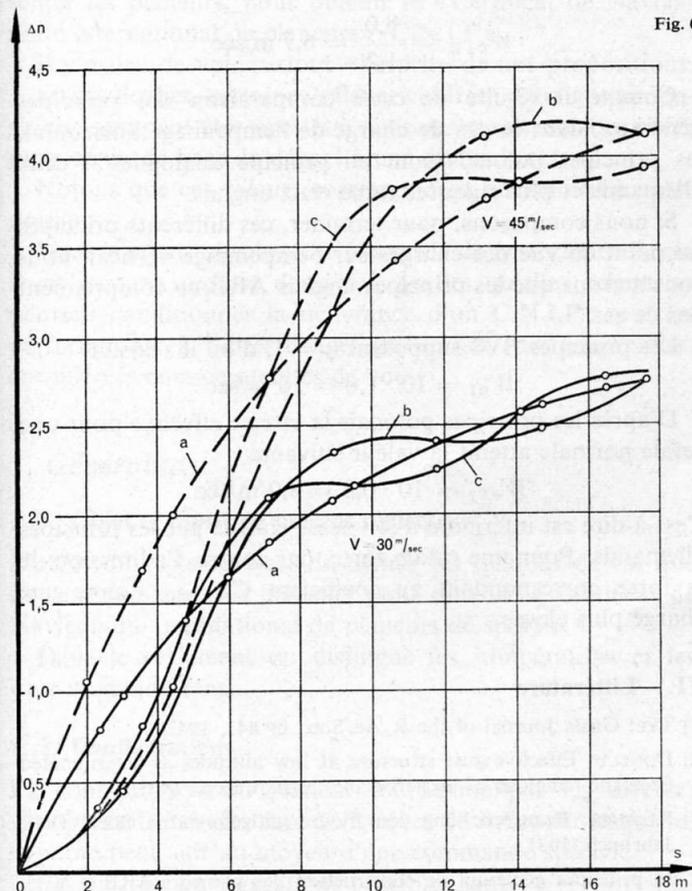


Fig. 6

III. - Charges sur l'empennage horizontal

En comparant les charges sur l'empennage horizontal en air agité avec les charges sur la voilure, il faut constater que, si l'on néglige pour le moment la déflexion devant l'empennage, la forme agissant sur l'empennage horizontal augmente dans la proportion suivante:

$$\frac{d c_{zH}}{d a_H} : \frac{d c_z}{d a}$$

par rapport à la force sur la voilure. C'est-à-dire que dans les deux cas la valeur du coefficient η est la même. En ce qui concerne les facteurs mentionnés plus haut, il est clair que

1. la corde de l'empennage horizontal étant inférieure à celle de l'aile, l'influence de l'effet de Wagner sera donc encore moins significative.
2. L'influence de la giration autour de l'axe transversal sur la valeur des charges sur l'empennage horizontal et la voilure est assez identique pour que l'on puisse utiliser dans les deux cas le coefficient $k_1 = 1,2$ d'une façon également justifiée.
3. On peut négliger totalement l'influence de l'élasticité en flexion de l'empennage horizontal.

Revenant à la déflexion devant l'empennage, nous la prendrons en considération à l'aide du coefficient k_3 diminuant la charge sur l'empennage. Le produit des coefficients

$$k_1 \cdot k_3 = 1,2 k_3$$

prend pour les planeurs à allongement 9 : 20 une valeur entre 0,8 et 1,0. La valeur $k_1 \cdot k_3 = 1,0$ choisie dans les principes généraux donne au calcul de la force sur l'empennage sa forme la plus simple, qui ne demande que la considération du coefficient d'atténuation η , mais qui est sûre et ne surcharge que légèrement les planeurs à l'allongement peu élevé.

IV. - Charges sur l'empennage vertical

Le problème du calcul des forces agissant sur l'empennage vertical attaqué par une rafale orthogonale se complique sérieusement du fait de la liaison qui existe entre les moments de lacet dus à l'attaque oblique et les couples de roulis, d'où il résulte une dépendance des charges d'un grand nombre de paramètres du planeur outre l'empennage vertical. En simplifiant la question par la négligence de l'influence des paramètres de la voilure et du fuselage, on peut la résoudre d'une façon analogue au calcul de la charge sur la voilure, c'est-à-dire en utilisant le coefficient d'atténuation η de la figure 4. Le paramètre a qui apparaît sur l'axe des abscisses du diagramme, prend pour l'empennage vertical une valeur égale à

$$a = \frac{1}{2} \rho s_v \frac{d c_{zV}}{d a_V} \cdot \frac{1}{m_r}$$

où

m_r est la masse du planeur réduite au foyer aérodynamique de l'empennage vertical d'après la formule

$$m_r = \frac{J_z}{s_r^2 + i_z^2}$$

où

s_r est la distance entre le foyer aérodynamique de l'empennage et l'axe $z-z$, passant par le centre de gravité du planeur.

Pour les planeurs standard

$$0,02 \leq a \leq 0,03$$

ce qui dicte des valeurs du coefficient η relativement élevées. Pour les vitesses de rafales égales à $W_0 = 10 \text{ m/sec}$, il est

calculable de prendre en considération l'effet de Wagner, grâce auquel nous obtenons

$$0,75 \leq \eta \leq 0,8 \text{ et non } 0,86 \leq \eta \leq 0,91$$

Pour les vitesses de rafale égales à $W_0 = 30$ m/sec

$$0,65 \leq \eta \leq 0,75$$

ce qui, automatiquement, nous donne une valeur de l'angle d'attaque supérieure à la valeur critique.

Restant d'accord avec les résultats de l'analyse ci-dessus et ayant pour but d'obtenir la rédaction la plus simple possible des principes généraux de construction des planeurs polonais, on a choisi pour les vitesses de rafale $W_0 = 10$ m/sec

$$\eta = \text{const} = 0,8$$

et pour les planeurs prédestinés aux vols dans les nuages et aux vols d'onde on exige une vérification de la résistance de l'empennage vertical soumis à une charge répondant à $C_{zv \text{ max}}$.

V. - Comparaison des principes généraux polonais aux principes étrangers

Pour donner une appréciation plus précise du projet des principes généraux avant leur adaptation finale, on l'a comparé aux principes généraux anglais ARB et allemands BVS.

Les principes ARB prennent pour base de calcul des charges sur la voilure une rafale à la zone de transition linéaire de longueur égale à $s_0 = 30$ m. La vitesse de la rafale atteint

1. dans un air moins agité: $W_0 = \pm 15$ m/sec

2. dans un air très agité: $W_0 = \pm 20$ m/sec

Les vitesses de vol en air agité dépendent du degré de la turbulence et s'élèvent à $2 V_{\text{min}}$ pour le premier cas et $2,5 V_{\text{min}}$ dans le deuxième cas. Dans les deux cas le coefficient d'atténuation possède la même valeur égale à

$$\eta = 0,2 \left(\frac{Q}{s} \right)^{1/4}$$

Les principes BVS prennent pour base de calcul des charges sur la voilure une rafale instantanée à la vitesse de $W_0 = 10$ m/sec sans introduire de différentiation des rafales et sans préciser la valeur des vitesses V . La valeur W_0 est diminuée à l'aide du coefficient

$$\eta = 0,6$$

qui prend en considération l'effet de Wagner (correspondant au paramètre du planeur $a \cdot 1_{\text{moy}} = 0,15$).

Afin de pouvoir comparer les différents principes généraux cités ci-dessus, il faut admettre une certaine valeur standard du paramètre du planeur. Supposons

$$\frac{Q}{s} = 20 \text{ KG/m}^2$$

$$a = 1/2 \rho \frac{s}{Q} \frac{d c_z}{d a} g = 0,15.$$

$$\frac{d c_z}{d a} = 4,9$$

Nous calculerons ensuite les vitesses effectives des rafales, c'est-à-dire les vitesses équivalentes des rafales instantanées d'après la formule $W_{\text{ef}} = W_0 \cdot \eta$

Les valeurs W_{ef} ainsi calculées sont le meilleur criterium de comparaison des principes généraux en question.

D'après les principes ARB

$$\eta = 0,2 \cdot (20)^{1/4} = 0,42$$

$$\text{et } W_{\text{ef I}} = \pm 15 \cdot 0,42 = \pm 6,3 \text{ m/sec}$$

$$W_{\text{ef II}} = \pm 20 \cdot 0,42 = \pm 8,4 \text{ m/sec}$$

D'après les principes BVS

$$\eta = 0,6$$

$$\text{et } W_{\text{ef}} = \pm 10 \cdot 0,6 = 6,0 \text{ m/sec.}$$

D'après les principes polonais

$$a \cdot W_{0I} = 0,15 \cdot 10 = 1,5 \rightarrow \eta = 0,5$$

$$a \cdot W_{0II} = 0,15 \cdot 30 = 4,5 \rightarrow \eta = 0,22$$

$$k_1 = 1,2$$

$$\text{et } W_{\text{ef I}} = \pm 1,2 \cdot 10 \cdot 0,5 = 6,0 \text{ m/sec}$$

$$W_{\text{ef II}} = \pm 1,2 \cdot 30 \cdot 0,22 = 8,0 \text{ m/sec}$$

Comme il s'ensuit des calculs ci-dessus, les résultats obtenus par les principes polonais sont complètement analogues aux résultats allemands en ce qui concerne les charges dues aux rafales normales ($W_{\text{ef}} = 6,0$ m/sec); par rapport aux principes anglais elles donnent pour les deux espèces de rafales une charge inférieure de 5%; mais dans la plupart des cas, ce qui résulte de l'emploi du coefficient k_2 , cette différence non seulement est nivelée, mais change de signe, et la charge calculée d'après les principes polonais est supérieure d'environ 5%. Les principes allemands ne déterminent pas les vitesses de vol en air agité; quant aux vitesses admises dans les principes anglais, elles sont tout à fait analogues aux principes polonais.

Passons maintenant aux charges sur l'empennage horizontal. La vitesse effective de la rafale, sur cet empennage, selon les principes ARB est deux fois inférieure à la vitesse sur l'aile, c'est-à-dire

$$W_{\text{ef I}} = 0,5 \cdot 6,3 = 3,15 \text{ m/sec}$$

$$W_{\text{ef II}} = 0,5 \cdot 8,4 = 4,2 \text{ m/sec}$$

Suivant les principes BVS, la vitesse effective sur l'empennage est égale à la vitesse effective sur l'aile, autrement dit

$$W_{\text{ef}} = 6,0 \text{ m/sec}$$

Selon les principes polonais, la vitesse effective sur l'empennage est inférieure à celle sur la voilure, ce qui se manifeste par l'absence du coefficient $k_1 = 1,2$ et par suite

$$W_{\text{ef I}} = \frac{6,0}{1,2} = 5,0 \text{ m/sec}$$

$$W_{\text{ef II}} = \frac{8,0}{1,2} = 6,7 \text{ m/sec}$$

Comme il résulte de cette comparaison des principes généraux, dans le cas de charge de l'empennage horizontal, les principes polonais sont en principe analogues à ceux allemands et plus rigoureux que ceux anglais.

Si nous comparons, pour terminer, ces différents principes du point de vue des charges sur l'empennage vertical, nous constaterons que les principes anglais ARB ne comprennent pas ce cas.

Les principes BVS supposent $\eta = 1$, d'où il s'ensuit

$$W_{\text{ef}} = 10 \cdot 1,0 = 10 \text{ m/sec}$$

D'après les principes polonais la vitesse effective pour une rafale normale atteint la valeur suivante

$$W_{\text{ef I}} = 10 \cdot 0,8 = 8,0 \text{ m/sec}$$

c'est-à-dire est inférieure à la vitesse choisie par les principes allemands. Pour une rafale forte, par contre, l'admission de la force correspondant au coefficient $C_{zv \text{ max}}$ donne une charge plus élevée.

VI. - Littérature

[1] TYE: Gusts Journal of the R. Ae. Soc., n° 441, 1947.

[2] DONELY: Effective gust structure at low altitudes as determined from the reactions of an aeroplane, NACA Rep., n° 692.

[3] KÜSSNER: Beanspruchung von Flugzeugflügeln durch Böen, DVL Jahrbuch, 1931,

et les principes généraux de construction des planeurs ARB et BVS.