RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 485 470**
(A n'utiliser que pour les commandes de reproduction).

A2

DEMANDE DE CERTIFICAT D'ADDITION

(21) **N° 80 14511**

Se référant : **au brevet d'invention n° 79 20454 du 10 août 1979.**

---

(54) **Profil de pale pour voilure tournante d'aéronef.**

(51) Classification internationale (Int. Cl. ³). **B 64 C 11/18, 27/46.**

(22) Date de dépôt..... 30 juin 1980.
(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 53 du 31-12-1981.

---

(71) Déposant : Société anonyme dite : SOCIETE NATIONALE INDUSTRIELLE AEROSPATIALE et OFFICE NATIONAL D'ETUDES ET DE RECHERCHES AEROSPATIALES (ONERA), résidant en France.

(72) Invention de : Jacques René Gallot, Georges Jean Henri Vingut, Michel Vincent de Paul et Jean-Jacques Thibert.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : PROPI conseils,
23, rue de Leningrad, 75008 Paris.

Certificat(s) d'addition antérieur(s) :

Dans le brevet principal, on a décrit des profils aérodynamiques utilisés pour la sustentation des aéronefs à voilure tournante et, plus particulièrement, une famille de profils pour pales de rotor d'hélicoptère. Comme il a été montré, cette famille de profils aérodynamiques pour pale de rotor d'hélicoptère est capable de très hautes performances à la fois en vol stationnaire et en vol à grande vitesse, sans pour autant altérer les performances de l'appareil en évolution.

Pour cela, selon le brevet principal, un profil de pale pour voilure tournante d'aéronef, comportant entre le bord d'attaque et le bord de fuite un extrados convexe et un intrados non concave, est remarquable en ce que, au point de courbure maximale du bord d'attaque, le rayon de courbure Ro est approximativement défini par l'expression $Ro = 1,7\ C.\ e_{max}^2$, dans laquelle C représente la corde et e_{max} l'épaisseur maximale relative dudit profil, et en ce que la portion d'intrados voisine dudit bord d'attaque comporte une première zone d'intrados immédiatement adjacente au bord d'attaque et s'étendant jusqu'à quelques pour cent de la corde C, dans laquelle la courbure diminue rapidement en direction du bord de fuite et une seconde zone d'intrados prolongeant la première et s'étendant jusqu'à environ 20 % de la corde à partir dudit bord d'attaque, cette seconde zone d'intrados présentant une courbure générale très faible diminuant de façon continue en direction du bord de fuite jusqu'au point de courbure minimale de l'intrados qui se trouve à l'extrémité de ladite seconde zone.

Ainsi, on évite l'apparition d'une onde de choc intense dans la partie de l'intrados proche du bord d'attaque,

ce qui empêche le décollement de la couche limite, de sorte que le coefficient de traînée est faible et que le Mach de divergence de traînée est élevé dans le cas de vol rapide.

Pour pouvoir définir et engendrer facilement les profils de la famille, on a indiqué dans le brevet principal un procédé consistant en ce que l'on établit un squelette continu, ou ligne moyenne, qui passe par le point de courbure maximale du bord d'attaque et par le bord de fuite du profil à construire et qui comporte d'une part, une première partie convexe vers l'extrados s'étendant entre ledit point de courbure maximale du bord d'attaque et le point dudit squelette le plus éloigné de la corde dudit profil, et, d'autre part, une seconde partie sensiblement rectiligne s'étendant approximativement dudit point le plus éloigné de la corde jusqu'au bord de fuite, en ce que l'on établit par ailleurs un profil biconvexe symétrique qui présente une corde identique à celle du profil à construire et dont l'épaisseur maximale relative se trouve environ au tiers de la corde et est comprise entre 6 et 13 % de la corde, après quoi, pour chaque point de la corde dudit profil biconvexe on mesure la distance des points d'intrados et d'extrados à la corde et l'on reporte, en chaque point correspondant de la ligne moyenne du profil à construire, orthogonalement et de part et d'autre de celle-ci, la distance ainsi mesurée de façon à obtenir le profil à construire.

De préférence, rapporté à un système d'axes orthogonaux OX, OY, dans lequel l'origine O est le point de courbure maximale du bord d'attaque, OX, la corde du profil orientée du bord d'attaque vers le bord de fuite et OY

un axe perpendiculaire à OX et orienté de l'intrados vers l'extrados, le profil biconvexe symétrique est tel que la partie de son intrados ou de son extrados comprise entre le bord d'attaque et l'épaisseur maximale, est approximativement définie par une relation de la forme :

$$y = k_5 x^3 + k_6 x^2 + k_7 x + k_8 x^{1/2} + k_9$$

alors que la partie de l'intrados ou de l'extrados dudit profil biconvexe comprise entre l'épaisseur maximale et le bord de fuite est approximativement définie par une relation de la forme

$$y = k_{10} x^2 + k_{11} x + k_{12}$$

les différents k_i étant des coefficients constants et x et y les coordonnées rapportées à la longueur de la corde du profil.

Dans le cas où l'épaisseur maximale dudit profil biconvexe est choisie environ égale à 9 % de la corde, lesdits coefficients ont avantageusement les valeurs approximatives suivantes :

$k_5 = -0,1172$	$k_9 = 0,0006$
$k_6 = 0,0071$	$k_{10} = -0,1153$
$k_7 = -0,1068$	$k_{11} = 0,0844$
$k_8 = 0,1446$	$k_{12} = 0,0295$

L'objet de la présente addition est d'indiquer des profils de la famille définie ci-dessus, qui, tout en conservant les qualités d'écoulement communes à la famille (c'est-à-dire pas de décollement de la couche limite, notamment à la partie inférieure du profil

et pas d'onde de choc élevée), présentent soit un coefficient de portance C_z, soit un Mach de divergence de trainée M_{DX}, encore amélioré par rapport aux autres profils de la famille.

Aussi, selon un premier aspect de la présente addition, pour obtenir, par la mise en oeuvre du procédé décrit dans le brevet principal, un profil de la famille présentant un coefficient de portance amélioré, on choisit pour le squelette continu une courbe qui, rapportée au système d'axes défini ci-dessus, satisfait au moins approximativement aux équations suivantes :

- pour $0 \leq x \leq 0,32$

$$y = a_1\sqrt{x} + a_2x + a_3x^2 + a_4x^3 + a_5x^4, \text{ avec}$$

$a_1 = -0,024977$
$a_2 = 0,25251$
$a_3 = -0,41567$
$a_4 = -0,58234$
$a_5 = 1,7003$

- et pour $0,32 \leq x \leq 1$

$$y = a_6 + a_7\sqrt{x} + a_8x + a_9x^2 + a_{10}x^3 + a_{11}x^4 + a_{12}x^5 + a_{13}x^6 + a_{14}x^7, \text{ avec}$$

$a_6 = 0,04993$
$a_7 = -0,16019$
$a_8 = 0,24674$
$a_9 = -0,071867$
$a_{10} = -0,3883$
$a_{11} = 0,47224$
$a_{12} = 0,010966$
$a_{13} = -0,38092$
$a_{14} = 0,22137$

les coordonnées x et y étant rapportées à la longueur de la corde du profil, tandis que, pour le profil biconvexe symétrique, on choisit une épaisseur relative maximale e_{max} voisine de 12 %, ce profil biconvexe étant obtenu à partir du profil biconvexe d'épaisseur maximale de 9 % rappelé ci-dessus par multiplication des ordonnées de ce dernier profil par un rapport d'homothétie égal à $\frac{12}{9}$.

Par ailleurs, selon le second aspect de la présente addition, pour obtenir, par la mise en oeuvre du procédé décrit dans le brevet principal, un profil de la famille présentant un Mach de divergence traînée M_{DX} amélioré , on choisit pour le squelette continu une courbe qui, rapportée au système d'axes défini ci-dessus, satisfait au moins approximativement aux équations suivantes :

- pour $0 \leqslant x \leqslant 0,24$

$$y = b_1\sqrt{x} + b_2x + b_3x^2 + b_4x^3 + b_5x^4, \text{ avec}$$

$b_1 = - 0,013741$
$b_2 = 0,21824$
$b_3 = - 1,4504$
$b_4 = 5,022$
$b_5 = - 7,0651$

- et pour $0,24 \leqslant x \leqslant 1$

$$y = b_6 + b_7\sqrt{x} + b_8x + b_9x^2 + b_{10}x^3 + b_{11}x^4, \text{ avec}$$

$b_6 = 0,012714$ $\quad$ $b_9 = 0,028575$
$b_7 = -0,004936$ $\quad$ $b_{10} = -0,060413$
$b_8 = -0,012855$ $\quad$ $b_{11} = 0,03702$

Les coordonnées x et y étant rapportées à la longueur de la corde du profil, tandis que, pour le profil biconvexe symétrique, on choisit une épaisseur relative maximale e_{max} voisine de 6 %, ce profil biconvexe étant obtenu à partir du profil biconvexe d'épaisseur maximale de 9 % rappelé ci-dessus par multiplication des ordonnées de ce dernier profil par un rapport d'homothétie égal à $\frac{6}{9}$.

Ainsi, ces trois profils de la famille présentant respectivement des épaisseurs maximales de 6 % , 9 % et 12 % sont obtenus à partir du même profil biconvexe de base (celui du profil à 9 %), qui, après adaptation à l'épaisseur maximale désirée, subit une transformation autour d'un squelette propre à chaque profil.

Cette particularité est spécialement intéressante, car il s'est révélé que, dans une voilure tournante de rayon R, :

- le profil à 9 % était particulièrement approprié à la réalisation de la section d'une pale comprise entre 0,75 R et 0,9 R à partir de l'axe de rotation de la voilure (comme indiqué dans le brevet principal)

- le profil à 12 % , à coefficient de portance C_z amélioré, était particulièrement approprié à la réalisation de la section d'une pale comprise entre 0 et 0,75 R, c'est-à-dire à la réalisation de la partie d'emplanture de la pale, au voisinage

des attaches de celle-ci au moyeu du rotor.

- le profil à 6 %, à Mach de divergence de traînée M_{DX} amélioré, était particulièrement approprié à la réalisation de la section d'extrémité d'une pale, comprise entre 0,9 R et R.

Ainsi, il est possible de réaliser les trois sections d'une pale selon l'invention, présentant les particularités intéressantes décrites dans le brevet principal à partir du seul profil biconvexe à 9 %.

Par suite, pour ces profils d'emplanture (12%) et d'extrémité (6%), on conserve les mêmes caractéristiques géométriques essentielles (rayon du bord d'attaque, évolution de la courbure dans la zone d'intrados avant) et des lois de transformation semblables pour les profils biconvexes, mais on utilise un squelette qui leur est propre.

Les figures du dessin annexe feront bien comprendre comment l'invention peut être réalisée.

La figure 1 montre les squelettes des deux profils selon la présente addition.

La figure 2 donne, pour le profil à 9% d'épaisseur maximale décrit dans le brevet principal et pour les profils à 6 % et 12 % d'épaisseur maximale conformes à l'addition, la variation du coefficient de portance C_z en fonction de l'incidence α.

Dans le brevet principal, pour faciliter la description, le profil selon l'invention a été rapporté à un système

d'axes OX, OY, orthogonaux entre eux au point O, lequel est confondu avec le point de la région du bord d'attaque où le rayon de courbure est minimum.

L'axe OX, qui passe par le point du bord de fuite, est de plus confondu avec la corde du profil.

Le système d'axes OX, OY, dont les sens positifs sont choisis du bord d'attaque vers le bord de fuite et de l'intrados vers l'extrados, sert de référence à des coordonnées réduites, c'est-à-dire à des abscisses x et à des ordonnées y, rapportées respectivement à la longueur C de la corde du profil.Par ailleurs, il avait été notamment considéré, pour déterminer le contour extérieur d'un profil de la famille selon l'invention, une ligne moyenne ou squelette, passant par le point O et le bord de fuite, laquelle représente le lieu géométrique des points équidistants des lignes d'intrados et d'extrados.

En effet, c'est par déformation d'un type de profil biconvexe symétrique, autour d'une ligne moyenne particulière, que l'on a, entre autres, définit le profil conforme au brevet principal.

Dans la présente addition, on reprend un tel système d'axes OX, OY. La figure 1 montre, rapporté à ce système d'axes, le squelette 10' d'un profil à coefficient de portance amélioré et le squelette 10" d'un profil à Mach de divergence de traînée amélioré.

Le squelette 10' comporte deux parties 10'a et 10'b, raccordées au point i, d'abscisse x = 0,32.

La partie 10'a a pour équation

$$y = a_1\sqrt{x} + a_2x + a_3x^2 + a_4x^3 + a_5x^4, \text{ avec}$$

$$a_1 = -0,024977$$
$$a_2 = 0,25251$$
$$a_3 = -0,41567$$
$$a_4 = -0,58234$$
$$a_5 = 1,7003$$

tandis que la partie 10'b a pour équation

$$y = a_6 + a_7\sqrt{x} + a_8x + a_9x^2 + a_{10}x^3 + a_{11}x^4 + a_{12}x^5 + a_{13}x^6 + a_{14}x^7, \text{ avec}$$

$a_6 = 0,04993$
$a_7 = -0,16019$
$a_8 = 0,24674$
$a_9 = -0,071867$
$a_{10} = -0,3883.$
$a_{11} = 0,47224$
$a_{12} = 0,010966$
$a_{13} = -0,38092$
$a_{14} = 0,22137$

De même , le squelette 10" comporte deux parties 10"a et 10"b, raccordées au point j, d'abscisse x = 0,24.

La partie 10"a a pour équation

$$y = b_1\sqrt{x} + b_2x + b_3x^2 + b_4x^3 + b_5x^4, \text{ avec}$$

$$b_1 = -0,013741$$
$$b_2 = 0,21824$$

$b_3 = -1,4504$
$b_4 = 5,022$
$b_5 = -7,0651$

tandis que la partie 10"b a pour équation

$y = b_6 + b_7\sqrt{x} + b_8x + b_9x^2 + b_{10}x^3 + b_{11}x^4$, avec

$b_6 = 0,012714$ $\quad$ $b_9 = 0,028575$
$b_7 = -0,004936$ $\quad$ $b_{10} = -0,060413$
$b_8 = -0,012855$ $\quad$ $b_{11} = 0,03702.$

Comme mentionné dans le brevet principal, pour obtenir un profil de la famille , on déforme symétriquement de part et d'autre de tels squelettes, un profil biconvexe symétrique.

Un tel profil biconvexe symétrique comprend une ligne supérieure d'extrados et une ligne inférieure d'intrados disposées symétriquement de chaque côté de l'axe OX et admet la même corde de longueur C que le profil à obtenir.

Le maître-couple du profil biconvexe symétrique est par ailleurs situé à une abscisse égale au tiers de la corde C et la hauteur de ce maître-couple qui constitue en fait l'épaisseur maximale est au moins égale à 6 %, et au plus égale à 13 %, de la valeur de la corde dudit

profil. La ligne supérieure d'extrados est composée d'une première partie courbe débutant au point O et s'arrêtant au niveau du maître-couple, prolongée à partir de celui-ci par une seconde partie courbe limitée vers l'arrière du profil par le bord de fuite 8.

Selon une forme préférentielle de définition décrite dans le brevet principal et admettant au tiers de la corde une épaisseur maximale de 9 %, ladite première partie courbe est principalement déterminée dans le système d'axes OX, OY par la relation (3).

$$(3)\quad y = k_5\, x^3 + k_6\, x^2 + k_7\, x + k_8\, x^{1/2} + k_9$$

avec : $0 \leqslant x \leqslant 0{,}33$

(4) $k_5 = -0{,}1172 \quad k_6 = 0{,}0071 \quad k_7 = -0{,}1068$

$k_8 = 0{,}1446 \quad k_9 = 0{,}0006$

tandis que la seconde partie courbe est principalement déterminée par la relation (5) suivante :

$$(5)\quad y = k_{10}\, x^2 + k_{11}\, x + k_{12}$$

avec : $0{,}33 \leqslant x \leqslant 1$

(6) $k_{10} = -0{,}1153 \quad K_{11} = 0{,}0844 \quad k_{12} = 0{,}0295$

Les différentes relations mathématiques mentionnées ci-dessus sont bien entendu valables pour une corde unitaire.

Pour construire le profil symétrique biconvexe devant

être associé au squelette 10', on prend le profil symétrique biconvexe d'épaisseur maximale de 9 % défini ci-dessus et on multiplie les ordonnées de sa ligne d'intrados et de sa ligne d'extrados par le rapport $\frac{12}{9}$. On obtient donc un profil symétrique biconvexe d'épaisseur maximale de 12 %. Celui-ci est déformé autour du squelette 10' et l'on obtient un profil qui présente un coefficient de portance élevé.

De même, pour construire le profil symétrique biconvexe devant être associé au squelette 10", on prend le profil symétrique biconvexe d'épaisseur maximale de 9 % défini ci-dessus et on multiplie les ordonnées de sa ligne d'intrados et de sa ligne d'extrados par le rapport $\frac{6}{9}$. On obtient alors un profil symétrique biconvexe d'épaisseur maximale de 6%. Celui-ci est déformé autour du squelette 10" et on obtient un profil qui présente un Mach de divergence de traînée supérieur.

On a effectué des essais comparatifs, dans les mêmes conditions, entre ces nouveaux profils d'épaisseur maximale respective de 12% et 6% selon l'addition, et celui d'épaisseur maximale de 9% selon le brevet principal. Une partie des résultats obtenus est montrée par la figure 2. Sur cette figure, les courbes L,L' et L" représentent la variation du coefficient de portance C_z en fonction de l'incidence α du profil, respectivement pour les profils à 9%, 12% et 6% d'épaisseur maximale, pour un nombre de Mach voisin de 0,5.

La figure 2 montre que, par rapport au profil à 9% d'épaisseur maximale (courbe L), le profil à 12% d'épaisseur maximale présente une forte augmentation du coefficient de portance. On peut voir que le coefficient de

portance maximal présente une augmentation d'environ 15%. Cette augmentation se produit sans pratiquement changer le coefficient de moment C_{mo}, à portance quasiment nulle, du profil à 9% d'épaisseur maximale.

De plus, les essais ont montré que le coefficient de traînée C_x du profil à 12% d'épaisseur maximale restait très faible.

En ce qui concerne le profil à 6% d'épaisseur maximale, les essais ont montré que, pour un coefficient de portance quasiment nul, son Mach de divergence de traînée est voisin de 0,91, alors qu'il est de 0,85 pour le profil à 9% d'épaisseur maximale, soit une augmentation de l'ordre de 7%.

De plus, comme le montre la figure 2, le coefficient de portance maximal du profil à 6% d'épaisseur maximale est voisin de 1, c'est-à-dire présente pratiquement la même valeur que le coefficient de portance maximal obtenu à Mach 0,4 pour un profil NACA 0012 de référence, dont l'épaisseur est deux fois plus forte.

Ainsi, les profils à 12% et 6% d'épaisseur maximale sont particulièrement appropriés à réaliser les sections d'emplanture et d'extrémité de pale de voilure tournante dont la partie intermédiaire est constituée par le profil à 9% d'épaisseur maximale: en effet, on obtient dans la zone d'emplanture une augmentation du coefficient de portance sans modification sensible du coefficient de moment C_{mo} à portance quasiment nulle, tandis que dans la zone mince d'extrémité on améliore la portance de la pale

reculante et on évite l'apparition prématurée de la perte de portance, sans pour autant pénaliser la traînée de la pale, lorsque celle-ci est en position avançante.

REVENDICATIONS

1 - Profil de pale pour voilure tournante d'aéronef, comportant entre le bord d'attaque et le bord de fuite un extrados convexe et un intrados non concave, et tel que, au point de courbure maximale du bord d'attaque, le rayon de courbure Ro est approximativement défini par l'expression $Ro = 1,7C. e^2_{max}$ dans laquelle C représente la corde et e_{max} l'épaisseur maximale relative dudit profil, et que la portion d'intrados voisine dudit bord d'attaque comporte une première zone d'intrados immédiatement adjacente au bord d'attaque et s'étendant jusqu'à quelques pour cent de la corde C dans laquelle la courbure diminue rapidement en direction du bord de fuite et une seconde zone d'intrados prolongeant la première et s'étendant jusqu'à environ 20% de la corde à partir dudit bord d'attaque, cette seconde zone d'intrados présentant une courbure générale très faible diminuant de façon continue en direction du bord de fuite jusqu'au point de courbure minimale de l'intrados qui se trouve à l'extrémité de ladite seconde zone, profil engendré par le fait que l'on établit un squelette continu ou ligne moyenne, qui passe par le point de courbure maximale du bord d'attaque et par le bord de fuite du profil à construire et qui comporte d'une part une première partie convexe vers l'extrados s'étendant entre ledit point de courbure maximale de bord d'attaque et le point dudit squelette le plus éloigné de la corde dudit profil, et, d'autre part, une seconde partie sensiblement rectiligne s'étenddant approximativement dudit point le plus éloigné de la corde jusqu'au bord de fuite, que l'on établit par ailleurs un profil biconvexe symétrique qui présente une corde identique à celle du profil à construire et

dont l'épaisseur maximale relative se trouve environ au tiers de ladite corde et est comprise entre 6 et 13% de la corde, après quoi, pour chaque point de la corde dudit profil biconvexe on mesure la distance des points d'intrados et d'extrados à la corde et l'on reporte en chaque point correspondant de la ligne moyenne du profil à construire orthogonalement et de part et d'autre de celle-ci, la distance ainsi mesurée, de façon à obtenir le profil à construire, caractérisé en ce que, pour obtenir un profil présentant un coefficient de portance amélioré, on choisit pour le squelette continu une courbe qui, rapportée à un système d'axes orthogonaux OX,OY, dans lequel l'origine O est le point de courbure maximale du bord d'attaque, OX la corde du profil orientée du bord d'attaque vers le bord de fuite et OY un axe perpendiculaire à OX et orienté de l'intrados vers l'extrados, satisfait au moins approximativement aux équations suivantes :

- pour $0 \leqslant x \leqslant 0,32$

$y = a_1\sqrt{x} + a_2x + a_3x^2 + a_4x^3 + a_5x^4$, avec

$a_1 = - 0,024977$
$a_2 = 0,25251$
$a_3 = - 0,41567$
$a_4 = - 0,58234$
$a_5 = 1,7003$

- et pour $0,32 \leqslant x \leqslant 1$

$y = a_6 + a_7\sqrt{x} + a_8x + a_9x^2 + a_{10}x^3 + a_{11}x^4 + a_{12}x^5 + a_{13}x^6 + a_{14}x^7$, avec

$a_6 = 0,04993$

$a_7 = 0,16019$

$a_8 = 0,24674$

$a_9 = -0,071867$

$a_{10} = -0,3883$

$a_{11} = 0,47224$

$a_{12} = 0,010966$

$a_{13} = -0,38092$

$a_{14} = 0,22137.$

les coordonnées x et y étant apportées à la longueur de la corde du profil, tandis que, pour le profil biconvexe symétrique, on choisit une épaisseur relative maximale voisine de 12 %.

2.- Profil selon la revendication 1, caractérisé en ce que, rapporté audit système d'axes, le profil biconvexe symétrique est tel que la partie de son intrados et de son extrados comprise entre le bord d'attaque et l'épaisseur maximale, est approximativement définie

par une relation de la forme :

$$y = k'_5 x^3 + k'_6 x^2 + k'_7 x + k'_8 x^{\frac{1}{2}} + k'_9 \quad ,$$

alors que la partie de l'intrados et de l'extrados dudit profil biconvexe comprise entre l'épaisseur maximale et le bord de fuite est approximativement définie par une relation de la forme :

$$y = k'_{10} x^2 + k'_{11} x + k'_{12} \quad ,$$

les différents k'_i étant des coefficients constants et x et y les coordonnées rapportées à la longueur de la corde du profil.

3 - Profil selon la revendication 2, caractérisé en ce que lesdits coefficients ont les valeurs approximatives suivantes :

$k'_5 = \frac{12}{9}$ x (-0,1172) $k'_9 = \frac{12}{9}$ x (0,0006)

$k'_6 = \frac{12}{9}$ x (0,0071) $k'_{10} = \frac{12}{9}$ x (-0,1153)

$k'_7 = \frac{12}{9}$ x (-0,1068) $k'_{11} = \frac{12}{9}$ x (0,0844)

$k'_8 = \frac{12}{9}$ x (0,1446) $k'_{12} = \frac{12}{9}$ X (0,0295)

4 - Profil de pale pour voilure tournante d'aéronef, comportant entre le bord d'attaque et le bord de fuite un extrados convexe et un intrados non concave, et tel que, au point de courbure maximale du bord d'attaque, le rayon de courbure Ro est approximativement

défini par l'expression Ro =1,7 C.e^2_{max} dans laquelle C représente la corde et e_{max} l'épaisseur maximale relative dudit profil, et que la portion d'intrados voisine dudit bord d'attaque comporte une première zone d'intrados immédiatement adjacente au bord d'attaque et s'étendant jusqu'à quelques pour cent de la corde C dans laquelle la courbure diminue rapidement en direction du bord de fuite et une seconde zone d'intrados prolongeant la première et s'étendant jusqu'à environ 20 % de la corde à partir dudit bord d'attaque, cette seconde zone d'intrados présentant une courbure générale très faible diminuant de façon continue en direction du bord de fuite jusqu'au point de courbure minimale de l'intrados qui se trouve à l'extrémité de ladite seconde zone, profil engendré par le fait que l'on établit un squelette continu ou ligne moyenne, qui passe par le point de courbure maximale du bord d'attaque et par le bord de fuite du profil à construire et qui comporte d'une part une première partie convexe vers l'extrados s'étendant entre ledit point de courbure maximale de bord d'attaque et le point dudit squelette le plus éloigné de la corde dudit profil, et, d'autre part, une seconde partie sensiblement rectiligne s'étendant approximativement dudit point le plus éloigné de la corde jusqu'au bord de fuite, que l'on établit par ailleurs un profil biconvexe symétrique qui présente une corde identique à celle du profil à construire et dont l'épaisseur maximale relative se trouve environ au tiers de ladite corde et est comprise entre 6 et 13% de la corde, après quoi, pour chaque point de la corde dudit profil biconvexe on mesure la distance des points d'intrados et d'extrados à la corde et l'on reporte en chaque point correspondant

de la ligne moyenne du profil à construire orthogonalement et de part et d'autre de celle-ci, la distance ainsi mesurée, de façon à obtenir le profil à construire, caractérisé en ce que, pour obtenir un profil présentant un Mach de divergence de traînée amélioré, on choisit pour le squelette continu une courbe qui, rapportée à un système d'axes orthogonaux OX, OY, dans lequel l'origine O est le point de courbure maximale du bord d'attaque, OX la corde du profil orientée du bord d'attaque vers le bord de fuite et OY un axe perpendiculaire à OX et orienté de l'intrados vers l'extrados, satisfait au moins approximativement aux équations suivantes :

- pour $0 \leqslant x \leqslant 0{,}24$

$$y = b_1\sqrt{x} + b_2x + b_3x^2 + b_4x^3 + b_5x^4, \text{ avec}$$

$$\begin{aligned} b_1 &= -0{,}013741 \\ b_2 &= 0{,}21824 \\ b_3 &= -1{,}4504 \\ b_4 &= 5{,}022 \\ b_5 &= -7{,}0651 \end{aligned}$$

- et pour $0{,}24 \leqslant x \leqslant 1$

$$y = b_6 + b_7\sqrt{x} + b_8x + b_9x^2 + b_{10}x^3 + b_{11}x^4, \text{ avec}$$

$b_6 = 0,012714$

$b_7 = -0,004936$

$b_8 = -0,012855$

$b_9 = 0,028575$

$b_{10} = -0,060413$

$b_{11} = 0,03702$

Les coordonnées x et y étant rapportées à la longueur de la corde du profil, tandis que, pour le profil biconvexe symétrique, on choisit une épaisseur relative maximale voisine de 6 %.

5.- Profil selon la revendication 4, caractérisé en ce que, rapporté audit système d'axes, le profil biconvexe symétrique est tel que la partie de son intrados et de son extrados comprise entre le bord d'attaque et l'épaisseur maximale, est approximativement définie par une relation de la forme :

$$y = k"_5 x^3 + k"_6 x^2 + k"_7 x + k"_8 x^{\frac{1}{2}} + k"_9,$$

alors que la partie de l'intrados et de l'extrados

dudit profil biconvexe comprise entre l'épaisseur maximale et le bord de fuite est approximativement définie par une relation de la forme :

$$y = k"_{10}\, x^2 + k"_{11}\, x + k"_{12} \quad ,$$

les différents $k"_i$ étant des coefficients constants et x et y les coordonnées rapportées à la longueur de la corde du profil.

6 - Profil selon la revendication 5, caractérisé en ce que lesdits coefficients ont les valeurs approximatives suivantes :

$k"_5 = \frac{6}{9}\ x(-0,1172)$ $\qquad$ $k"_9 = \frac{6}{9}\ x(0,0006)$

$k"_6 = \frac{6}{9}\ x(0,0071)$ $\qquad$ $k"_{10} = \frac{6}{9}\ x(-0,1153)$

$k"_7 = \frac{6}{9}\ x(-0,1068)$ $\qquad$ $k"_{11} = \frac{6}{9}\ x(0,0844)$

$k"_8 = \frac{6}{9}\ x(0,1446)$ $\qquad$ $k"_{12} = \frac{6}{9}\ x(0,0295)$

7 - Pale pour voilure tournante d'aéronef, caractérisée en ce que sa zone d'emplanture présente un profil conforme à celui de la revendication 3, en ce que sa zone d'extrémité libre présente un profil conforme à celui de la revendication 6 et en ce que sa zone intermédiaire présente un profil tel que celui spécifié par les revendications 4 et 6 du brevet principal.

8 - Pale selon la revendication 7, pour une voilure de rayon R, caractérisée en ce que sa zone d'emplanture s'étend depuis l'axe de rotation de la voilure jusqu'à 0,75 R, tandis que sa zone d'extrémité depuis 0,9R jusqu'au bord libre extrême de la pale.

Fig.1

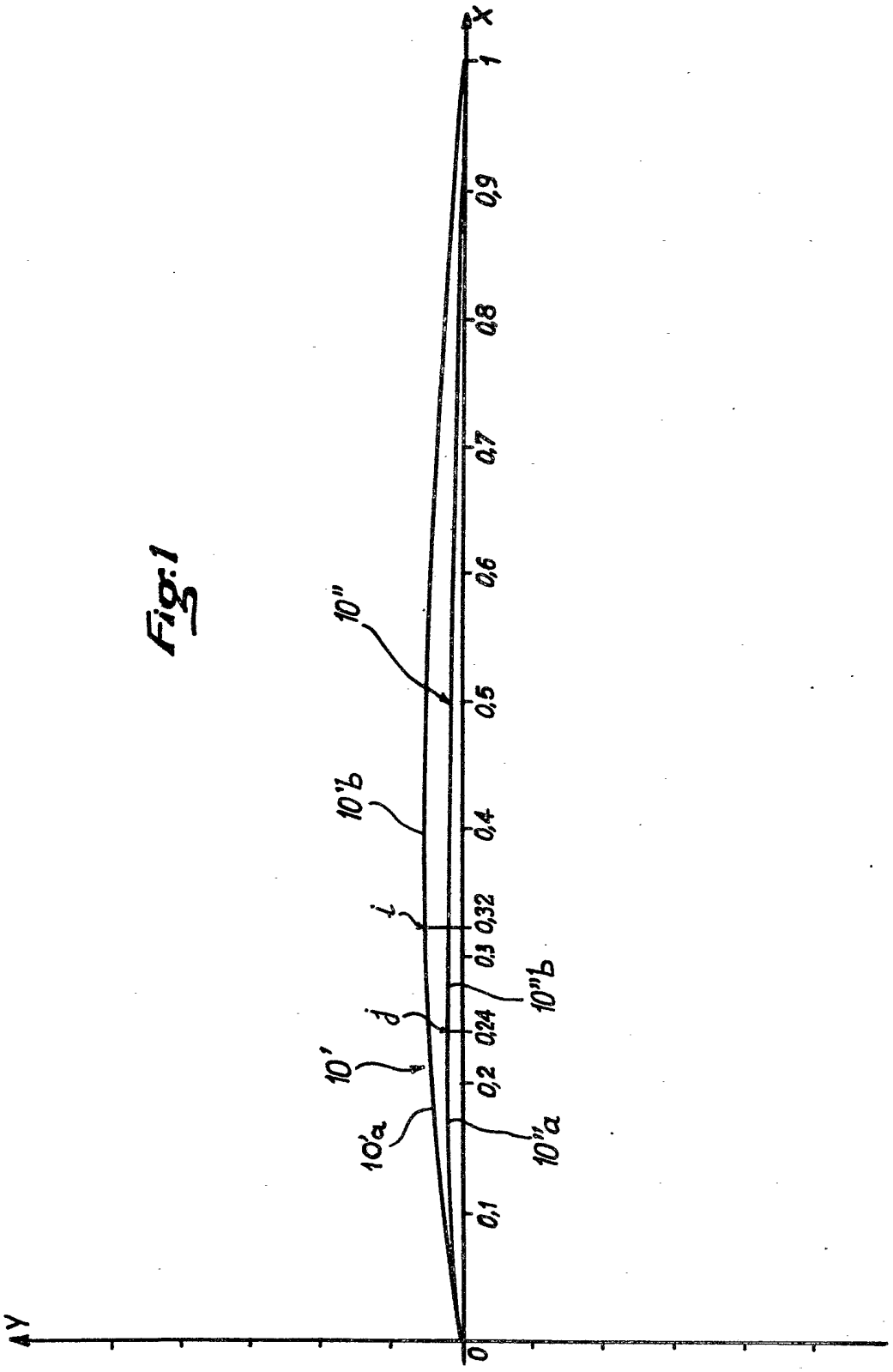


Fig:2

