



(22) Date de dépôt/Filing Date: 2011/11/25

(41) Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.: 2012/06/15

(45) Date de délivrance/Issue Date: 2013/09/17

(30) Priorité/Priority: 2010/12/15 (FR10 04891)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *B64C 27/82* (2006.01),
B64C 11/18 (2006.01), *B64C 27/467* (2006.01)

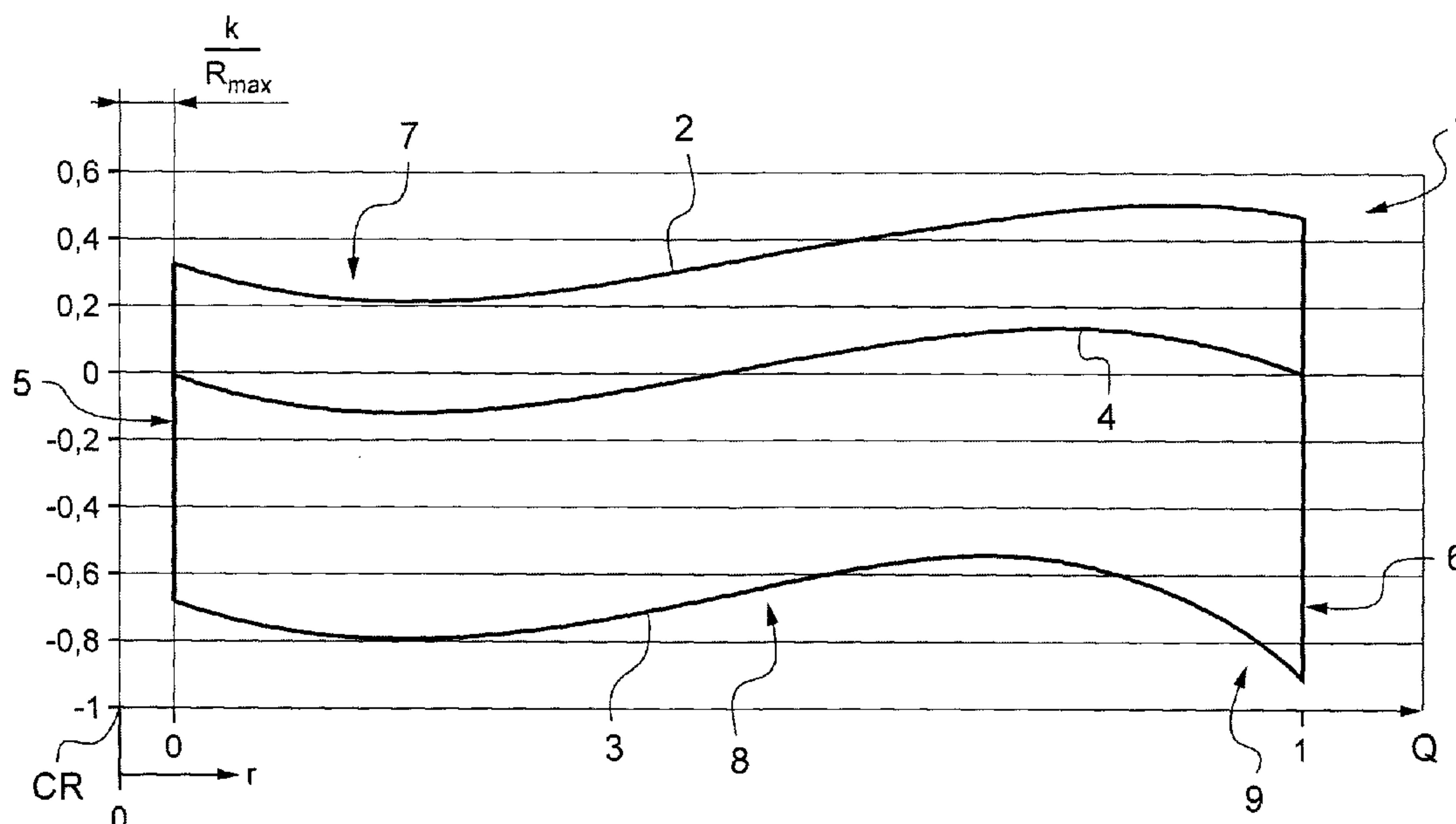
(72) Inventeurs/Inventors:
GERVAIS, MARC, FR;
GRESLE, BENOIT, FR;
FINCK, SEBASTIEN, FR;
SUDRE, LAURENT, FR

(73) Propriétaire/Owner:
EUROCOPTER, FR

(74) Agent: FASKEN MARTINEAU DUMOULIN LLP

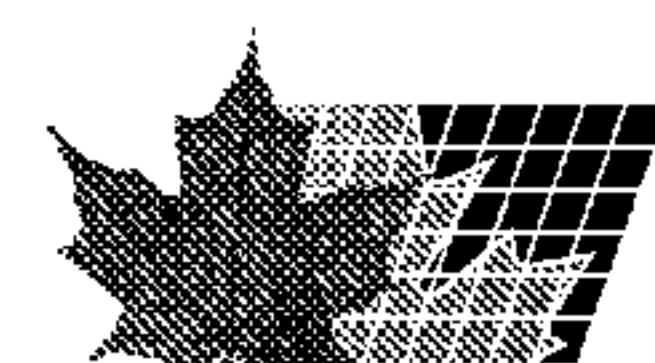
(54) Titre : PALE POUR DISPOSITIF ANTI-COUPLE D'HELICOPTERE

(54) Title: BLADE FOR HELICOPTER ANTI-TORQUE DEVICE



(57) Abrégé/Abstract:

La présente invention concerne une pale pour dispositif anti-couple arrière d'un hélicoptère, ledit dispositif comportant un rotor caréné et ladite pale comportant un assemblage de sections distinctes, un bord d'attaque et un bord de fuite, caractérisé en ce qu'elle comporte un assemblage d'au moins deux sections 5 et 6, une ligne d'empilement des profils s'étendant à une distance comprise entre 25% et 50% de la corde (C) en partant du bord d'attaque des profils, ladite ligne d'empilement présentant dans le plan de la pale, une forme courbe avec successivement du pied à l'extrémité de la pale, une flèche arrière, une flèche avant et une dernière flèche arrière et une corde (C) qui s'élargit en direction de l'extrémité de la pale et ce sur au moins le profil d'extrémité, de manière à atteindre une valeur de corde d'extrémité égale ou inférieure à 1,6 fois la valeur de la corde (C_{ref}) en pied de pale.



ABRÉGÉ DESCRIPTIF

La présente invention concerne une pale pour dispositif anti-couple arrière d'un hélicoptère, ledit dispositif comportant un rotor caréné et ladite pale comportant un assemblage de sections distinctes, un bord d'attaque et un bord de fuite, caractérisé en ce qu'elle comporte un assemblage d'au moins deux sections 5 et 6, une ligne d'empilement des profils s'étendant à une distance comprise entre 25% et 50% de la corde (C) en partant du bord d'attaque des profils, ladite ligne d'empilement présentant dans le plan de la pale, une forme courbe avec successivement du pied à l'extrémité de la pale, une flèche arrière, une flèche avant et une dernière flèche arrière et une corde (C) qui s'élargit en direction de l'extrémité de la pale et ce sur au moins le profil d'extrémité, de manière à atteindre une valeur de corde d'extrémité égale ou inférieure à 1,6 fois la valeur de la corde (C_{ref}) en pied de pale.

Pale pour dispositif anti-couple d'hélicoptère

La présente demande est issue de la demande de brevet française FR1004891 déposée le 15 décembre 2010.

L'invention se rapporte au domaine technique général des
5 rotors anti-couple de giravions, notamment d'hélicoptères. Plus
précisément, l'invention se rapporte au domaine technique des
dispositifs anti-couple à rotor arrière caréné et à répartition
angulaire des pales selon une modulation de phase, destinés à des
hélicoptères, en particulier. Ces dispositifs anti-couple se
10 distinguent des rotors anti-couple conventionnels, non carénés, qui
ne font pas l'objet de la présente invention.

L'invention concerne notamment des dispositifs anti-couple
précités, appelés également « fenestron[®] », dans lesquels un
stator redresseur comportant des aubes fixes à profils
15 aérodynamiques, est fixé en aval d'un rotor anti-couple dans la
veine de circulation d'air ou « carène ».

De tels dispositifs anti-couple sont connus notamment dans
le document FR 2 719 549, lequel décrit une loi de répartition
angulaire des pales du rotor, de manière à répartir le plus
20 efficacement possible l'énergie acoustique dans tout le spectre de
fréquences, en tenant compte des limitations mécaniques de
liaison des pales. Les figures relatives à ce document montrent des
pales à formes en plan sensiblement rectangulaires. En outre, pour
éviter que l'interaction du sillage d'une pale quelconque du rotor
25 sur une aube quelconque du redresseur ne se produise
simultanément sur l'ensemble de l'envergure de l'aube, les aubes
du redresseur sont disposées de façon non radiale. Chacune des
aubes est par exemple inclinée sur la direction radiale, de
préférence d'un angle compris entre 1° et 25°, de l'axe de la veine

vers sa périphérie et dans le sens opposé au sens de rotation du rotor. Une telle orientation est favorable à la reprise du couple s'exerçant, en réaction à la rotation du rotor, sur un corps central sensiblement coaxial à la veine et renfermant les organes
5 d'entraînement du rotor et les organes de commande du pas collectif des pales. Cette reprise de couple peut alors être supportée par les aubes situées dans la veine.

On connaît également par l'intermédiaire du document WO 2006/110156 un dispositif anti-couple caréné pourvu de pales
10 courbes. Ce document divulgue des pales courbes combinées à des aubes de redresseur décalées radialement et transversalement afin de diminuer le bruit d'interaction entre lesdites pales et lesdites aubes. Les pales décrites présentent chacune une forme géométrique avec une courbure simple et unique. Un dispositif
15 anti-couple comportant de telles pales et un tel agencement d'aubes n'est pas en mesure d'améliorer significativement ses performances pour s'approcher des performances d'un rotor anti-couple conventionnel.

Le document US 2004/0022635 ou WO 2004/011330 décrit
20 une configuration d'une pale d'hélice concave/convexe suivant le modèle d'une onde naturelle. Le bord d'attaque d'une telle pale présente un segment concave suivi d'un segment convexe. Le bord d'attaque et le bord de fuite sont arrondis de manière à favoriser la formation d'un écoulement de fluide approprié le long des surfaces
25 concernées et à limiter la formation de vortex pour limiter la trainée aérodynamique. Les meilleurs résultats tels que décrits sont obtenus par une modélisation des surfaces aérodynamiques à partir d'une fonction sinusoïdale ou tangente de la courbe représentative du bord d'attaque de chaque pale et ceci de façon
30 approximative, l'amplitude n'étant pas définie. Une pale présentant une telle forme géométrique ne paraît cependant pas adaptée pour

améliorer les performances d'un dispositif anti-couple caréné. Autrement dit, la définition de chaque pale ne présente pas les caractéristiques requises pour satisfaire aux strictes exigences industrielles nécessitées par la réalisation d'un dispositif anti-
5 couple à rotor arrière caréné pour giravion.

Les figures dudit document US 2004/0022635 montrent de plus des pales ayant une corde d'extrémité inférieure à la corde maximale desdites pales.

Le document EP0332492 décrit une pale pour hélice carénée
10 à haute performance, dont la partie active aérodynamiquement est de forme rectangulaire. La cambrure maximale croît de sensiblement 0 à sensiblement 0,04. L'épaisseur maximale relative décroît de sensiblement 13,5% à sensiblement 9,5%.

Le document EP2085310 décrit un rotor anti-couple caréné
15 dont le bruit émis à une fréquence FE et perçu à une fréquence FP est minimisé. Dans ce rotor, un stator redresseur du flux d'air est en arrière du chemin des pales dudit rotor (13).

Le document WO200954815 décrit des pales de ventilateur axial avec des surfaces aérodynamiques à corrugations qui
20 provoquent des succions et pressions. Ces corrugations augmentent aussi la rigidité de la pale. Sur les figures, les pales sont évasées depuis l'emplanture jusqu'à l'extrémité libre.

Le document GB212018 décrit des hélices faites d'une seule pièce de métal.

25 La présente invention a alors pour objet de proposer une pale ayant une nouvelle forme géométrique tridimensionnelle profilée et vrillée par rapport à une ligne de vrillage selon une loi de vrillage prédéterminée qui permet de réaliser un dispositif anti-couple

caréné pour hélicoptères notamment, ne présentant pas les limitations mentionnées ci-dessus.

Un objet de la présente invention permet également de proposer une forme géométrique tridimensionnelle de pale pour
5 réaliser un dispositif anti-couple caréné pour hélicoptères dont le rendement en effort anti-couple est amélioré par rapport aux dispositifs anti-couple carénés connus.

Un autre objet de la présente invention vise à proposer un dispositif anti-couple caréné améliorant les performances en effort
10 anti-couple tout en n'altérant pas les gains en termes d'émission acoustique et de sécurité que présentent les dispositifs anti-couple carénés.

Les objets assignés à l'invention sont atteints à l'aide d'une pale telle que revendiquée pour dispositif anticouple arrière d'un
15 giravion, ledit dispositif comportant un rotor caréné, ladite pale ayant une forme géométrique tridimensionnelle définie par différentes sections à profils aérodynamiques comprises entre un bord d'attaque et un bord de fuite de la pale et délimitées radialement par une section d'emplature et une section
20 d'extrémité de cette pale; au moins deux sections à profils aérodynamiques ayant des valeurs de cordes différentes le long d'une ligne d'empilement étendue depuis la section d'emplature jusqu'à la section d'extrémité, cette pale étant vrillée, caractérisée en ce que cette pale comporte une ligne d'empilement des sections
25 à profils aérodynamiques déterminant avant vrillage une surface plane d'extension délimitée radialement de la section d'emplature à la section d'extrémité. La pale comporte aussi une ligne de vrillage de la surface plane d'extension qui est définie selon une loi de vrillage prédéterminée, ladite ligne d'empilement s'étendant
30 à une distance comprise entre 25% et 50% de la corde en partant du bord d'attaque et présentant sur la surface plane d'extension

une courbe avec successivement à partir de la section d'implanture une première flèche arrière, une flèche avant et enfin une dernière flèche arrière jusqu'à la section d'extrémité, ladite section d'implanture à profil aérodynamique ayant une corde inférieure à la corde de la section d'extrémité à profil aérodynamique et ladite corde des sections à profils aérodynamiques s'élargissant depuis la section d'implanture en direction de la section d'extrémité dont la corde est égale ou inférieure à 1,6 fois la corde de référence $\underline{C_{ref}}$ de la section d'implanture.

Il convient de noter que l'on entend par l'expression « section à profil aérodynamique » toute surface correspondant à une coupe plane d'une pale, cette coupe étant orthogonale à l'axe de pas (suivant la définition ultérieure) et le contour de ladite section ayant la forme d'un profil aérodynamique.

Selon un exemple de réalisation de la pale conforme à l'invention, l'épaisseur relative des sections est diminuée progressivement en direction radial depuis la section d'implanture vers la section d'extrémité de la pale, de manière à ce que la section d'extrémité présente une épaisseur relative de l'ordre de 9% à 6%, favorablement 6,9%.

Selon un autre aspect, l'épaisseur relative de la section d'implanture est comprise entre 9% et 14%, et favorablement égale à 12%.

Selon un exemple de réalisation de la pale conforme à l'invention, la corde $\underline{C}$ maximale atteint en extrémité de pale la valeur de la corde de référence $\underline{C_{ref}}$ multipliée par un facteur $\underline{a_c}$ supérieur à l'unité, notamment supérieur ou égal à 1,1 et inférieur ou égal à 1,6.

Selon un exemple de réalisation de la pale conforme à l'invention, le facteur a_c est égal à 1,38.

Selon un exemple de réalisation de la pale conforme à l'invention, la ligne d'empilement s'étend à une distance de 30% de la corde en partant du bord d'attaque des profils aérodynamiques.

Selon un exemple de réalisation conforme à l'invention, la pale comporte un assemblage de six sections distinctes à profils aérodynamiques le long de la ligne d'empilement.

Selon un exemple de réalisation de la pale conforme à l'invention, le bord d'attaque présente en continuité de la section d'implanture à profil aérodynamique à la section d'extrémité à profil aérodynamique, une forme concave puis convexe.

Selon un exemple de réalisation de la pale conforme à l'invention, la corde présente une loi d'évolution du genre :

$$C(r) = C_{ref}, \quad \text{si } k \leq r \leq b_c \times R_{max}$$

$$\text{et } C(r) = C_{ref} + [C_{max} - C_{ref}] \times \frac{[r - (b_c \times R_{max})]^n}{[R_{max} - (b_c \times R_{max})]^n}, \quad \text{si } r \geq b_c \times R_{max}$$

avec:

r : rayon d'une section courante à profil aérodynamique,

k : rayon de la section d'implanture à profil aérodynamique,

$C(r)$: valeur de la corde pour un rayon r ,

R_{max} : rayon maximal de la section d'extrémité à profil aérodynamique,

C_{ref} : corde de référence de la section d'implanture à profil aérodynamique,

C_{max} : corde de la section d'extrémité à profil aérodynamique égale à $(a_c \times C_{ref})$.

$\times$: signe de la multiplication, et

b_c et n : des première et deuxième constantes prédéterminées.

- 5 On note, que l'on entend dans le texte par rayon d'une section, la distance séparant ladite section du centre de rotation du rotor muni de la pale concernée.

Selon un exemple de réalisation de la pale conforme à l'invention, la première constante b_c est comprise entre 0 et l'unité.

- 10 La valeur nulle de la première constante b_c correspond à la valeur nulle du rayon k de la section d'implanture à profil aérodynamique.

Selon un exemple de réalisation de la pale conforme à l'invention, la première constante b_c vaut 0,68 de sorte que le début de l'élargissement de la corde se situe sensiblement à 0,68
15 fois le rayon maximal de ladite pale.

Selon un exemple de réalisation de la pale conforme à l'invention, la deuxième constante n est comprise entre 1 et 5.

Selon un exemple de réalisation de la pale conforme à l'invention, la deuxième constante n vaut 1,7.

- 20 Selon un exemple de réalisation de la pale conforme à l'invention, la ligne d'empilement est une courbe, tracée par rapport à une direction généralement radiale du rotor, relative à l'axe de pas moyen de chaque pale et donnée par un polynôme du genre :

25 $Y_{AC} / C_{ref} = a_e \times Q^3 + b_e \times Q^2 + c_e \times Q$ avec $0 \leq Q \leq 1$ et :

$Q = \frac{r - k}{R_{\max} - k}$ est un nombre adimensionnel.

Y_{ac} est la position de la ligne d'empilement des sections à profils aérodynamiques pour un rayon r ,

et a_e , b_e , c_e sont des première, deuxième et troisième valeurs
5 prédéterminées.

Selon un exemple de réalisation de la pale conforme à l'invention, les première, deuxième et troisième valeurs a_e , b_e et c_e sont choisies pour obtenir une ligne d'empilement qui s'étend selon une répartition sensiblement identique de part et d'autre d'un axe
10 de pas moyen fictif de la pale pour équilibrer les moments de commande en pas s'exerçant sur la pale.

Selon un exemple de réalisation de la pale conforme à l'invention, les première, deuxième et troisième valeurs a_e , b_e et c_e valent respectivement (- 2,5681), (+ 3,9238) et (+ 1,3558).

15 Dans ces conditions, l'ensemble des données précédentes permet de définir la surface plane d'extension. La forme géométrique de la pale recherchée est alors obtenue par vrillage, selon la loi de vrillage prédéterminée, des sections à profils aérodynamiques autour de la ligne de vrillage correspondant à
20 l'axe d'empilement, c'est-à-dire par vrillage de ladite surface plane d'extension.

Les objets assignés à l'invention sont également atteints à l'aide d'un dispositif anti-couple comportant un carénage délimitant une veine de circulation d'air dans laquelle est disposé un rotor
25 pourvu de pales telles que précitées, des organes d'entraînement du rotor et des organes de réglage du pas desdites pales. Bien évidemment, le dispositif peut comporter le cas échéant dans la

veine de circulation d'air un stator redresseur du flux d'air muni d'aubes à profils aérodynamiques.

Dans la présente, le terme « flèche » désigne une forme courbe dans le plan local de la pale, sensiblement orientée soit
5 vers l'avant, soit vers l'arrière, correspondant respectivement au bord d'attaque et au bord de fuite de la pale.

En outre, on définit la ligne d'empilement par une ligne fictive de construction suivant laquelle on empile et on assemble les différents profils aérodynamiques constitutifs de la pale,
10 définissant les différentes sections comprises entre la section d'implanture dirigée vers l'axe du rotor et la section d'extrémité de rayon maximal. Dans le prolongement de cette zone profilée se trouve le bras éventuel d'entraînement de ladite pale.

L'axe de pas est déterminé de sorte que les moments
15 statiques par rapport à cet axe sur la pale soient les plus faibles. Il est donc avantageux de faire correspondre la ligne d'empilement avec l'axe de pas quand la ligne d'empilement est d'une part une droite et d'autre part le lieu des foyers aérodynamiques des profils aérodynamiques. Pour une ligne d'empilement courbe, on définit
20 cette ligne d'empilement de façon que ses deux extrémités passent par l'axe de pas moyen.

Par ailleurs, on définit par les termes « chemin de pale » l'espace dans lequel la pale peut s'étendre avec ses différents réglages de l'angle de pas.

25 Dans ces conditions, une pale conforme à l'invention permet avantageusement de réaliser un dispositif anti-couple caréné présentant un gain de poussée maximale de l'ordre de 4%.

Un autre avantage d'un dispositif anti-couple caréné conforme à l'invention, réside dans une diminution de la puissance consommée de l'ordre de 10%.

5 Un autre avantage d'un dispositif anti-couple caréné conforme à l'invention, réside dans une diminution significative de l'effort de commande statique pour la mise en pas des pales du rotor.

Une pale conforme à l'invention permet également de réduire le bruit mono-polaire (bruit dit d'épaisseur) dû à la forte variation
10 de corde en extrémité. Cette variation de corde génère une modification des signaux acoustiques émis par chaque section de pale. Les signaux acoustiques sont par conséquent différents pour chaque section de pale. Ceci empêche une addition efficace des ondes acoustiques reçues par un observateur lointain. En outre,
15 cette variation de corde en extrémité de la pale n'augmente pas le bruit d'épaisseur dans la mesure où cette corde importante est compensée en extrémité par une épaisseur relative plus faible. On conserve à ce titre une épaisseur réelle équivalente à l'épaisseur d'une pale à forme en plan rectangulaire, malgré l'augmentation de
20 la corde vers l'extrémité.

Un autre avantage de la pale conforme à l'invention réside dans une réduction du bruit d'interaction entre les pales du rotor et les aubes du stator redresseur (bruit dit dipolaire ou bruit dit de charge). En effet, le bord de fuite courbe dans le sens indiqué
25 précédemment des pales empêche que la nappe tourbillonnaire d'une pale ne vienne heurter une aube fixe de façon parallèle. Le bord de fuite incurvé génère un déphasage des ondes acoustiques reçues par un observateur lointain et contribue ainsi à la réduction du bruit perçu par ledit observateur.

Un autre avantage de la pale conforme à l'invention réside dans une réduction du bruit de bord de fuite (interaction des fluctuations de pression pariétales avec le bord de fuite) grâce à la forme courbe dudit bord de fuite. Les effets tridimensionnels engendrés par le bord de fuite courbe dans le sens indiqué précédemment compensent en effet le déficit de sillage observé en bord de fuite (ledit déficit correspondant à une réduction de la vitesse d'écoulement de l'air en aval du bord de fuite due à la présence de la pale dans l'écoulement), ce qui réduit le bruit de bord de fuite à caractère fréquentiel large bande. La compensation du déficit de sillage empêche également la corrélation des éléments tourbillonnaires, réduisant ainsi l'impact du sillage du rotor sur les aubes du stator et permettant par suite de réduire le bruit tonal (bruit produisant des harmoniques fréquentielles corrélées à la vitesse de rotation et le nombre de pales du rotor).

Autrement dit, comme la pale a une forme géométrique globale courbe, le sillage tourbillonnaire de ladite pale sera également courbe. Ainsi, lorsque le sillage de la pale rencontre une aube du redresseur, le sillage ne frappe pas parallèlement ladite aube. Ceci permet également de réduire le bruit perçu.

Un autre avantage de la pale conforme à l'invention réside dans l'amélioration des performances générales de ladite pale. Une telle pale permet, à portance égale, de diminuer la vitesse périphérique du rotor. Une telle diminution de vitesse périphérique génère une réduction systématique du bruit généré par toutes les sources de bruit du rotor.

Un autre avantage de la pale conforme à l'invention réside dans un déphasage angulaire entre le bord d'attaque et le bord de fuite en bout de pale. En effet, l'augmentation de la corde en bout de pale combinée à la forme courbe de la ligne d'empilement, permet d'obtenir des flèches différentes entre le bord d'attaque et

le bord de fuite. On obtient alors un déphasage des ondes acoustiques lors d'une éventuelle interaction entre une pale et les tourbillons générés par les pales précédentes. Le bruit perçu s'en trouve donc diminué.

5 L'invention et ses avantages apparaîtront avec plus de détails dans le cadre de la description qui suit avec un exemple de réalisation, donné à titre illustratif et non limitatif, en référence aux figures annexées qui représentent :

- 10 - la figure 1, une vue en plan d'un exemple de réalisation d'une pale conforme à l'invention,
- la figure 2, une en perspective d'un exemple de réalisation d'une pale conforme à l'invention,
- la figure 3, une illustration schématique d'un exemple de montage d'une pale conforme à l'invention dans un carénage de rotor anti-couple, et
- 15 - la figure 4, une vue latérale d'un exemple de réalisation de rotor anti-couple comportant des pales conformes à l'invention.

20 Les éléments structurellement et fonctionnellement identiques et présents sur plusieurs figures distinctes sont affectés d'une seule et même référence numérique ou alphanumérique.

25 Les objets assignés à l'invention sont atteints à l'aide d'une pale 1 pour dispositif anti-couple arrière d'un hélicoptère. La pale 1, illustrée schématiquement par exemple à la figure 1, comporte un assemblage de sections à profils aérodynamiques et présente un bord d'attaque 2 et un bord de fuite 3. Plus précisément, la figure 1 montre une pale 1 avant vrillage par rapport à une ligne de vrillage 4 selon une loi de vrillage prédéterminée, et présente en

fait une surface plane d'extension délimitée d'une part entre le bord d'attaque 2 et le bord de fuite 3 des sections à profils aérodynamiques et d'autre part entre les sections d'emplature 5 et d'extrémité 6 à profils aérodynamiques respectifs 1a et 1f (figure 2) . Autrement dit, cette surface plane d'extension correspond sensiblement au plan défini par les cordes des profils aérodynamiques, ceci avant vrillage.

L'assemblage comprend au moins deux sections de cordes différentes et de préférence six sections de cordes différentes à profils aérodynamiques 1a, 1b, 1c, 1d, 1e, 1f, le long d'une ligne d'empilement 4. On pourra se reporter également à la figure 2.

La ligne d'empilement 4 des sections à profils aérodynamiques s'étend à une distance d'une valeur comprise entre 25% et 50% de la corde desdits profils aérodynamiques, en partant du bord d'attaque 2 desdits profils, par conséquent le bord d'attaque également de la pale 1 avant vrillage. Cette ligne d'empilement 4 présente dans le plan de la surface plane d'extension (plan de la figure 1), une forme courbe avec successivement de la section d'emplature 5 à la section d'extrémité 6 de la zone profilée de la pale 1, une flèche arrière 7, une flèche avant 8 et une dernière flèche arrière 9.

La figure 1 précise par ailleurs les points suivants :

- le centre du rotor CR,
- le rayon r de chaque section.

De plus, la zone profilée s'étend radialement depuis un nombre adimensionnel Q égal à 0 à une valeur égale à l'unité de ce nombre adimensionnel Q . Ainsi, la section d'emplature 5 est située à un emplacement relatif au nombre adimensionnel Q égal à

0, alors que la section d'extrémité 6 est située à un emplacement relatif au nombre adimensionnel Q égal à l'unité.

La valeur du nombre adimensionnel Q égale à 0 correspond par définition au rayon k correspondant à la section d'emplanture
5 divisé par $R_{\max}$, k étant une constante prédéterminée et $R_{\max}$ désignant le rayon maximal du rotor.

De cette façon, si la pale nécessite un bras d'entraînement, ce bras d'entraînement est compris entre un nombre adimensionnel Q égal à 0 soit à un rayon r égal à k divisé par $R_{\max}$ et la valeur
10 nulle de r .

Selon un exemple de réalisation préférentiel de la pale 1, la ligne d'empilement 4 s'étend à une distance de 30% de la corde en partant du bord d'attaque 2 des profils aérodynamiques. La configuration en flèches de la pale 1, lui permet toutefois de ne
15 pas s'approcher de trop près du redresseur à aubes 14 et par conséquent de ne pas générer une source de bruit supplémentaire. En outre, la pale 1 reste ainsi dans le chemin de pale 15 d'un fenestron standard, quel que soit le pas (angle représentatif de l'incidence aérodynamique à un décalage près) des pales. On évite
20 ainsi de définir un nouveau chemin de pale et une nouvelle veine 12. Il faut donc limiter l'augmentation de corde. Une telle limitation est spécifiquement assurée avec une pale 1 même après vrillage de ladite pale conforme à l'invention.

Il est à noter que l'on entend par le terme « veine » le volume
25 d'air borné par le collecteur 11, le chemin de pale 15, le diffuseur 16 d'une part et le moyeu 13 d'autre part.

Le bord d'attaque 2 présente ainsi en continuité de la section d'emplanture 5 à la section d'extrémité 6 de la pale 1, une forme concave puis convexe.

La pale 1 présente aussi une corde qui s'élargit en direction de la section d'extrémité 6 et ce sur au moins la section d'extrémité 6 à profil aérodynamique 1f, de manière à atteindre une valeur de corde d'extrémité, inférieure ou égale à 1,6 fois la valeur de la corde de référence de la section d'emplanture 5 de la pale 1. Cette valeur de corde maximale est toutefois de préférence supérieure à une fois la valeur de la corde de référence, préférentiellement supérieure ou égale à 1,1 fois cette valeur de corde de référence et notamment égale à 1,38 fois cette valeur.

Avantageusement, l'épaisseur relative des sections est diminuée progressivement en direction de la section d'extrémité 6 de la pale 1, de manière à présenter une épaisseur relative comprise entre 9% et 6% et préférentiellement égale à 6.9% en extrémité de la pale 1.

Par ailleurs, l'épaisseur relative de la section d'emplanture peut être comprise entre 9% et 14%, et favorablement égale à 12%.

Selon un exemple de réalisation de la pale 1 conforme à l'invention, la corde présente une loi d'évolution du genre :

$$C(r) = C_{ref}, \text{ si } k \leq r \leq b_c \times R_{max}$$

$$\text{et } C(r) = C_{ref} + [C_{max} - C_{ref}] \times \frac{[r - (b_c \times R_{max})]^n}{[R_{max} - (b_c \times R_{max})]^n}, \text{ si } r \geq b_c \times R_{max}$$

avec:

r : rayon d'une section courante à profil aérodynamique,

k : rayon de la section d'emplanture à profil aérodynamique,

$C(r)$: valeur de la corde pour un rayon r ,

R_{max} : rayon maximal de la section d'extrémité à profil aérodynamique,

C_{ref} : corde de référence de la section d'emplanture à profil aérodynamique,

- 5 C_{max} : corde de la section d'extrémité à profil aérodynamique égale à $(a_c \times C_{ref})$.

b_c et n : première et deuxième constantes prédéterminées.

La deuxième constante n est une valeur avantageusement comprise entre 1 et 5.

- 10 Selon un exemple de réalisation préférentiel, $a_c = 1,38$, $b_c = 0,68$ et $n = 1,7$.

Selon un exemple de réalisation de la pale 1 conforme à l'invention, la forme de la courbe constitutive de la ligne d'empilement 4 est donnée par un polynôme du genre :

- 15 $Y_{AC} / C_{ref} = a_e \times Q^3 + b_e \times Q^2 + c_e \times Q$ avec $0 \leq Q \leq 1$ et :

$$Q = \frac{r - k}{R_{max} - k} \text{ est un nombre adimensionnel.}$$

Y_{ac} est la position de la ligne d'empilement des sections à profils aérodynamiques pour un rayon r ,

- et a_e , b_e , c_e sont des première, deuxième et troisième valeurs
20 prédéterminées.

Les première, deuxième et troisième valeurs a_e , b_e , c_e sont définies avantageusement pour obtenir une forme de la ligne d'empilement 4 qui s'étend selon une répartition sensiblement identique de part et d'autre d'un axe de pas moyen fictif de la pale

1. Une telle répartition permet d'équilibrer les moments statiques de commande en pas s'exerçant sur la pale 1 autour de l'axe de pas moyen.

Pour déterminer les première, deuxième et troisième valeurs a_e , b_e , c_e , on définit quatre points sur la pale 1, par lesquels doit passer la courbe de la ligne d'empilement 4. Les deux points extrêmes sont positionnés sur l'axe de pas moyen et présentent une amplitude nulle par rapport au dit axe de pas moyen. Deux points sensiblement centraux sont positionnés respectivement avec une première et deuxième amplitudes $+A$ et $-A$ par rapport à l'axe de pas moyen. A l'aide d'une loi d'interpolation, on détermine ensuite la courbe passant par les quatre points et on obtient les coefficients recherchés.

Les première et deuxième amplitudes $+A$ et $-A$ de la ligne d'empilement 4 sont définies par exemple avec A égal à 0,018 fois le rayon maximal du rotor.

Selon un exemple de réalisation préférentiel, les première, deuxième et troisième valeurs sont égales à : $a_e = -2,5681$, $b_e = +3,9238$ et $c_e = +1,3558$.

Dans ces conditions, l'ensemble des données précédentes permet de définir la surface plane d'extension. La forme géométrique de la pale recherchée est alors obtenue par vrillage, selon la loi de vrillage prédéterminée, des sections à profils aérodynamiques autour de l'axe d'empilement, c'est-à-dire par vrillage de ladite surface plane d'extension.

Les objets assignés à l'invention sont également atteints à l'aide d'un dispositif anti-couple 10, illustré par exemple aux figures 3 et 4, comportant un carénage 11 délimitant une veine 12 de circulation d'air dans laquelle est disposé un rotor 13 pourvu de

pales 1 telles que précitées. Des organes d'entraînement du rotor 13 et des organes de réglage de pas desdites pales 1 font partie d'un tel dispositif anti-couple, mais ne sont pas représentés sur les figures.

- 5 Le dispositif anti-couple comprend également des aubes 14 d'un stator redresseur du flux d'air, en aval du rotor, disposées dans la veine 12. Ces aubes 14 permettent de délimiter la veine 12 et de rigidifier l'assemblage constitutif du dispositif anti-couple.

10 La pale 1, illustrée très schématiquement à la figure 3, s'étend dans un chemin de pale 15, et présente un axe de pas moyen P confondu avec la ligne d'empilement 4 lorsque cette dernière est droite ou passant par les deux extrémités de ladite ligne d'empilement 4 lorsque cette dernière est courbe conformément à l'invention. L'axe de pas moyen P s'étend donc
15 dans le prolongement du bras d'actionnement et d'entraînement (non représenté) de la pale 1. Le stator redresseur est donc en aval du chemin de pale 15.

20 Naturellement, la présente invention est sujette à de nombreuses variations quant à sa mise en œuvre. Bien que plusieurs modes de réalisations aient été décrits, on comprend bien qu'il n'est pas concevable d'identifier de manière exhaustive tous les modes possibles. Il est bien sûr envisageable de remplacer un moyen décrit par un moyen équivalent sans sortir du cadre de la présente invention.

REVENDEICATIONS

1. Pale de dispositif anti-couple arrière d'un giravion, ledit dispositif comportant un rotor caréné, ladite pale profilée ayant une forme géométrique tridimensionnelle définie par différentes sections à profils aérodynamiques comprises entre un bord d'attaque et un bord de fuite de la pale et délimitées radialement par une section d'implanture et une section d'extrémité de cette pale; au moins deux sections à profils aérodynamiques ayant des valeurs de cordes ($\underline{C}$) différentes le long d'une ligne d'empilement étendue depuis la section d'implanture jusqu'à la section d'extrémité, cette pale étant vrillée, caractérisée en ce que cette pale comporte une ligne d'empilement des sections à profils aérodynamiques déterminant, avant vrillage, une surface plane d'extension délimitée radialement de la section d'implanture à la section d'extrémité, et une ligne de vrillage de la surface plane d'extension qui est définie selon une loi de vrillage prédéterminée, ladite ligne d'empilement s'étendant à une distance comprise entre 25% et 50% de la corde ($\underline{C}$) en partant du bord d'attaque, et présentant sur la surface plane d'extension une courbe avec successivement à partir de la section d'implanture une première flèche arrière, une flèche avant et enfin une dernière flèche arrière jusqu'à la section d'extrémité, ladite section d'implanture à profil aérodynamique ayant une corde ($\underline{C}$) inférieure à la corde ($\underline{C}$) de la section d'extrémité à profil aérodynamique et ladite corde ($\underline{C}$) des sections à profils aérodynamiques s'élargissant depuis la section d'implanture en direction de la section d'extrémité dont la corde ($\underline{C}$) est égale ou inférieure à 1,6 fois la corde de référence ($\underline{C}_{ref}$) de la section d'implanture.

2. Pale selon la revendication 1, caractérisée en ce que les sections à profils aérodynamiques présentent une épaisseur relative qui est diminuée progressivement en direction radiale depuis la

section d'implanture à profil aérodynamique vers la section d'extrémité, de manière à présenter une épaisseur relative à ladite section d'extrémité à profil aérodynamique qui est comprise entre 9% et 6%.

3. Pale selon la revendication 1, caractérisée en ce que la section d'implanture à profil aérodynamique présente une épaisseur relative qui est comprise entre 9% et 14%.

4. Pale selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisée en ce que la corde ($\underline{C}$) maximale atteint en extrémité de pale, la valeur de la corde de référence ($\underline{C}_{ref}$) multipliée par un facteur a_c supérieur à l'unité et inférieur ou égal à 1,6.

5. Pale selon la revendication 4, caractérisée en ce que ledit facteur a_c est égal à 1,38.

6. Pale selon la revendication 1, caractérisée en ce que ladite ligne de vrillage correspond à la ligne d'empilement.

7. Pale selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisée en ce que la ligne d'empilement présente une forme à courbe constitutive donnée par un polynôme du troisième degré, ladite ligne d'empilement s'étendant à une distance de 30% de la corde ($\underline{C}$) en partant du bord d'attaque des sections à profils aérodynamiques.

8. Pale selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisée en ce que la pale comporte un assemblage de six sections à profils aérodynamiques distinctes, le long de la ligne d'empilement.

9. Pale selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisée en ce que le bord d'attaque présente en continuité de la section d'implanture à profil aérodynamique à la section

d'extrémité à profil aérodynamique, une forme concave puis convexe.

10. Pale selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisée en ce que la corde (C) présente une loi d'évolution telle que la valeur $C(r)$ de la corde (C) pour un rayon r d'une section courante à profil aérodynamique, est définie par :

$$C(r) = C_{ref}, \text{ si } k \leq r \leq b_c \times R_{max} \text{ et}$$

$$C(r) = C_{ref} + [C_{max} - C_{ref}] \times \frac{[r - (b_c \times R_{max})]^n}{[R_{max} - (b_c \times R_{max})]^n}, \text{ si } r \geq b_c \times R_{max}$$

avec k désignant le rayon de la section d'implanture à profil aérodynamique, R_{max} désignant le rayon maximal de la section d'extrémité à profil aérodynamique, C_{max} désignant la corde (C) de la section d'extrémité égale à $(a_c \times C_{ref})$, x désignant le signe de la multiplication et b_c et n désignant des première et deuxième constantes prédéterminées.

11. Pale selon la revendication 10, caractérisée en ce que ladite première constante b_c est comprise entre 0 et 1.

12. Pale selon la revendication 11, caractérisée en ce que la première constante b_c vaut 0,68.

13. Pale selon la revendication 10, caractérisée en ce que la deuxième constante n est comprise entre 1 et 5.

14. Pale selon la revendication 13, caractérisée en ce que la deuxième constante n vaut 1,7.

15. Pale selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, caractérisée en ce que la ligne d'empilement est une courbe, tracée

par rapport à une direction radiale du dispositif anti-couple de destination et donnée par un polynôme tel que :

$$Y_{AC} / C_{ref} = a_e \times Q^3 + b_e \times Q^2 + c_e \times Q \text{ avec : } 0 \leq Q \leq 1 ; \text{ où : } Q = \frac{r - k}{R_{\max} - k} \text{ est un}$$

nombre adimensionnel, Y_{AC} est la position de la ligne d'empilement des sections à profils aérodynamiques pour un rayon r ; et a_e , b_e , c_e sont des première, deuxième et troisième valeurs prédéterminées.

16. Pale selon la revendication 15, caractérisée en ce que les première, deuxième et troisième valeurs a_e , b_e et c_e sont choisies pour obtenir une ligne d'empilement qui s'étend selon une répartition sensiblement identique de part et d'autre d'un axe de pas moyen fictif de la pale, ladite répartition équilibrant les moments statiques de commande en pas s'exerçant sur la pale.

17. Pale selon la revendication 15, caractérisée en ce que la première valeur a_e vaut (- 2,5681), la deuxième valeur b_e vaut (+ 3,9238) et la troisième valeur c_e vaut (+ 1,3558).

18. Dispositif anti-couple comportant un carénage délimitant une veine de circulation d'air dans laquelle est disposé un rotor, des organes d'entraînement du rotor et des organes de réglage du pas desdites pales, caractérisée en ce que ledit rotor est pourvu de pales conformes à l'une des revendications 1 à 17.

19. Dispositif selon la revendication 18, caractérisé en ce que ce dispositif comporte un stator redresseur du flux d'air, en arrière du chemin de pale des pales dudit rotor, ce stator redresseur étant muni d'aubes profilées.

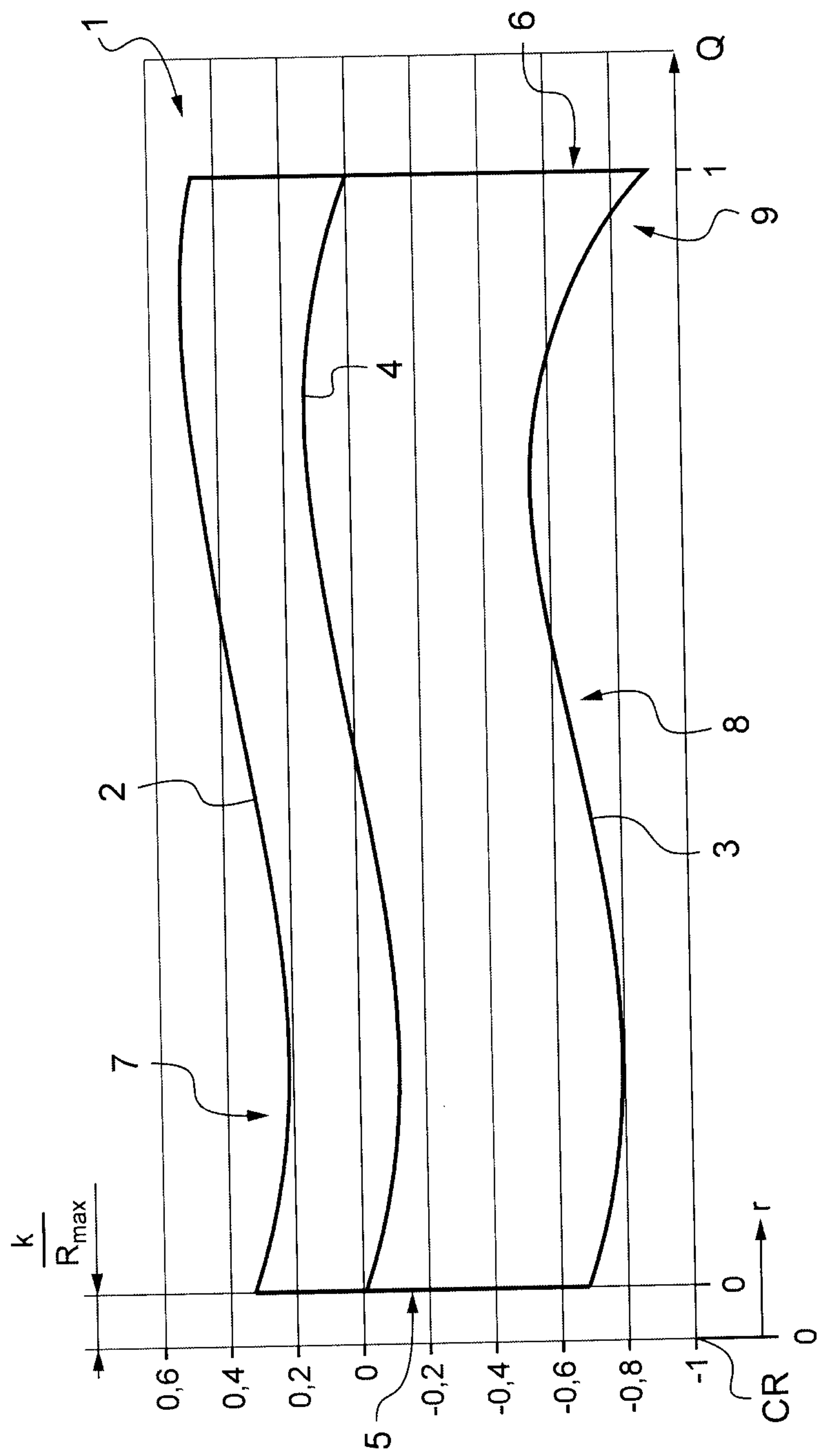


Fig.1

2/2

