



(22) **Date de dépôt/Filing Date:** 2013/01/31

(41) **Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.:** 2013/08/27

(45) **Date de délivrance/Issue Date:** 2015/07/07

(30) **Priorité/Priority:** 2012/02/27 (FR12 00556)

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

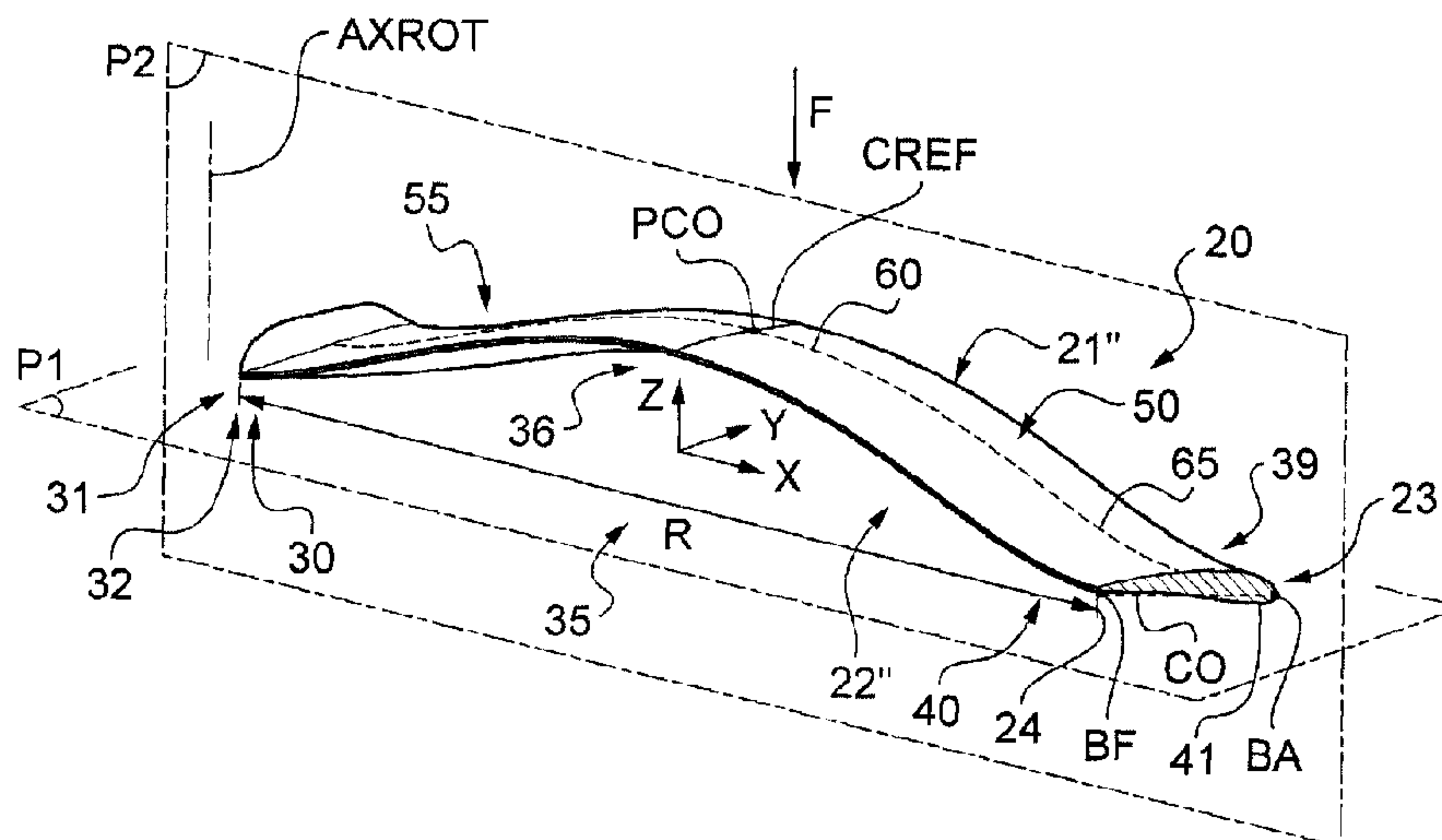
(72) **Inventeurs/Inventors:**
FINCK, SEBASTIEN, FR;
SUDRE, LAURENT, FR

(73) **Propriétaire/Owner:**
AIRBUS HELICOPTERS, FR

(74) **Agent:** FASKEN MARTINEAU DUMOULIN LLP

(54) **Titre : PALE DE ROTOR ET PROCEDE DE FONCTIONNEMENT MINIMISANT LE BRUIT**

(54) **Title: ROTOR BLADE AND OPERATING PROCESS TO MINIMISE NOISE**



(57) **Abrégé/Abstract:**

La présente invention concerne une pale (20) d'un rotor (5), la pale (20) comportant un extrados (21) et un intrados (22) s'étendant transversalement d'un bord d'attaque (23) vers un bord de fuite (24) et en envergure d'une section d'emplanture (31) vers une section d'extrémité libre (41). La pale (40) comporte de la section d'emplanture (31) vers ladite section d'extrémité libre (41) une zone d'emplanture (30) puis une zone bombée (35), ladite zone bombée (35) présentant un intrados (22'') et un extrados (21'') bombés s'éloignant d'un plan principal (P1) selon une direction (Z) parallèle à l'axe de rotation (AXROT) de ladite pale.



«Pale de rotor, rotor, aéronef, et procédé.»ABREGE DESCRIPTIF

La présente invention concerne une pale (20) d'un rotor (5), la pale (20) comportant un extrados (21) et un intrados (22) s'étendant transversalement d'un bord d'attaque (23) vers un bord de fuite (24) et en envergure d'une section d'implanture (31) vers une section d'extrémité libre (41). La pale (40) comporte de la section d'implanture (31) vers ladite section d'extrémité libre (41) une zone d'implanture (30) puis une zone bombée (35), ladite zone bombée (35) présentant un intrados (22'') et un extrados (21'') bombés s'éloignant d'un plan principal (P1) selon une direction (Z) parallèle à l'axe de rotation (AXROT) de ladite pale.

«Pale de rotor et procédé de fonctionnement
minimisant le bruit»

La présente invention concerne une pale de rotor, un rotor silencieux, un aéronef muni d'un tel rotor, et plus particulièrement un rotor arrière d'un hélicoptère. De plus, l'invention concerne un
5 procédé pour obtenir une telle pale de rotor.

L'invention se situe donc dans le domaine technique restreint des rotors d'aéronefs.

Par exemple, un hélicoptère comporte généralement un
10 unique rotor principal entraîné mécaniquement par au moins un moteur, le rotor principal assurant la sustentation et la propulsion de l'hélicoptère.

Ce type d'hélicoptère est alors pourvu d'un rotor arrière qui assure une fonction anticouple afin de compenser le couple créé
15 par la rotation du rotor principal en exerçant une poussée transversale.

De plus, le rotor arrière permet au pilote de contrôler les évolutions en lacet et en virage de l'hélicoptère en exerçant une poussée transversale positive ou négative.

20 On connaît un rotor arrière non caréné, dénommé « rotor arrière classique » par commodité, remplissant cette fonction. Classiquement, le rotor arrière non caréné est monté latéralement sur une extrémité supérieure de l'empennage ou sur une extrémité de la poutre de queue de l'hélicoptère.

25 Ce rotor arrière non caréné est couramment utilisé. Néanmoins, il est possible d'implémenter un rotor arrière caréné, connu sous la marque fenestron® par exemple.

Le rotor arrière caréné est alors agencé dans une veine ménagée dans la partie inférieure de la dérive verticale de l'empennage d'un hélicoptère, l'axe longitudinal de la veine étant sensiblement perpendiculaire au plan de symétrie vertical de l'hélicoptère.

Par suite, la structure profilée de la dérive verticale de l'hélicoptère entoure ladite veine et donc le rotor arrière, ce qui explique cette dénomination de rotor arrière caréné. On note que cette structure profilée est généralement dénommée « carène » par l'homme du métier.

La structure profilée protège alors le rotor arrière caréné contre les impacts créés par des éléments extérieurs à l'aéronef. De même, elle augmente la sécurité du personnel au sol, en évitant que ce personnel puisse être blessé par le rotor arrière caréné.

La structure profilée qui entoure la veine, dans laquelle est agencé le rotor arrière caréné, empêche une diffusion des bruits vers l'avant, vers le bas et vers l'arrière du giravion, alors qu'un rotor arrière non caréné diffuse du bruit dans toutes les directions.

Classiquement, un rotor caréné comprend une carène définissant une veine. Un rotor muni d'un moyeu portant une pluralité de pales évolue alors en rotation dans cette veine.

Le moyeu est entraîné en rotation par une boîte de transmission fixée à la carène par des barres de maintien en aval du rotor. Ces barres de maintien peuvent être profilées pour représenter des aubes fixes redressant le flux d'air en aval du rotor.

Dès lors, on appelle parfois l'assemblage comprenant ces barres de maintien « stator-redresseur » de flux d'air.

On note que les termes « amont » et « aval » sont définis par rapport au sens de circulation de l'air au travers de la veine.

On comprend que l'on entend par la suite par « rotor caréné » l'ensemble comportant notamment la carène, le rotor en
5 tant que tel, la boîte de transmission de puissance et les aubes présentes en aval des pales.

Le rotor caréné inclut donc notamment la carène et les éléments présents à l'intérieur de la veine définie par cette carène.

Les rotors carénés présentent des caractéristiques
10 fonctionnelles intéressantes.

Toutefois, bien que le bruit émis par un rotor caréné notamment vers l'avant soit minimisé, un tel rotor caréné reste susceptible de générer du bruit.

En effet, le sillage généré par chaque pale du rotor caréné
15 peut être générateur de bruit en impactant les aubes du stator-redresseur.

Parmi l'état de la technique, on connaît le document FR 2 719 549 qui présente un rotor caréné. Ce rotor caréné comporte des pales réparties angulairement selon une modulation azimutale
20 irrégulière donnée par une loi sinusoïdale.

De plus, les aubes du stator-redresseur sont inclinées pour ne pas être disposées radialement afin de minimiser l'interaction d'une pale avec chaque aube.

Le document FR 2 719 552 présente des aubes d'un stator-
25 redresseur. Selon ce document les pattes de fixation du pied et/ ou du bout d'une aube peuvent être inclinées et ou cintrées par rapport à un plan s'étendant selon l'envergure et une corde de chaque aube.

Le document FR 823 433 présente un aéronef muni d'une hélice non carénée et d'ailes de type plan-convexe.

Le document US 7 874 513 présente un aéronef à décollage et atterrissage vertical.

5 Cet aéronef comprend des rotors carénés munis d'une pluralité de pales. Les pales comportent un bord d'attaque et un bord de fuite en forme de C.

Le document US 2007/201982 présente un ventilateur et ne se situe donc pas dans le domaine technique de l'invention.

10 Par ailleurs, le sillage généré par une pale d'un rotor est de nature à générer un bruit potentiellement gênant dans le cadre d'un rotor caréné, mais aussi dans le cadre d'un rotor non caréné.

Par exemple, la demanderesse a noté que le sillage d'une pale d'un rotor principal de sustentation d'un giravion peut de
15 manière surprenante impacter une autre pale de ce rotor principal, notamment lors d'une translation du giravion vers l'avant et en descente.

Indépendamment de la nature du rotor, le sillage généré par une pale est donc susceptible d'induire un désagrément
20 acoustique, au moins dans certaines situations.

L'arrière plan technologique inclut aussi les documents FR 1 134 736, EP 2 336 022, US 1 949 611, et GB 00049 A A.D 1915 (FREEMAN NAT HARRIS).

Le document FR 1 134 736 présente une pale muni d'un bord
25 latéral ondulé.

La présente invention a alors pour objet de proposer une pale de rotor pour au moins minimiser le bruit émis par un tel rotor, ce bruit étant provoqué par le sillage généré par cette pale.

Selon l'invention, une pale d'un rotor comporte un extrados et
5 un intrados s'étendant transversalement d'un bord d'attaque vers un bord de fuite et en envergure d'une section d'implanture vers une section d'extrémité libre.

On appelle « longueur d'envergure » la plus courte distance reliant la section d'implanture à la section d'extrémité libre.

10 De plus, on rappelle que l'envergure désigne classiquement la longueur radiale maximale d'une pale de rotor mesurée à partir de l'axe de rotation de la pale jusqu'à la section d'extrémité libre de cette pale.

En outre, on rappelle aussi qu'une section de pale est une
15 coupe transversale de la pale par rapport à l'envergure. Cette coupe est délimitée par une courbe dénommée « profil aérodynamique » ou plus simplement « profil »

La pale est notamment remarquable en ce que cette pale comporte en envergure de la section d'implanture vers la section
20 d'extrémité libre une zone d'implanture puis une unique zone bombée s'étendant transversalement du bord d'attaque vers le bord de fuite, la zone d'implanture étant contenue dans un plan principal de rotation, la zone bombée présentant un intrados et un extrados bombés du bord d'attaque vers le bord de fuite et
25 s'éloignant à partir de la zone d'implanture dudit plan principal selon une direction parallèle à l'axe de rotation de ladite pale et selon un sens opposé à la circulation d'un fluide au travers de la pale jusqu'à un point de courbure maximale puis se rapproche du plan principal.

On entend donc par « zone bombée » une zone déformée pour atteindre un extrémum représenté par un point de courbure maximale. L'expression « zone éloignée » peut aussi être employée pour désigner la zone bombée, cette zone étant éloignée
5 du plan principal contrairement à la zone d'implanture.

Toute la pale est alors entièrement bombée dans une telle zone bombée. La zone bombée diffère donc beaucoup d'une pale présentant un seul bord latéral ondulé, du type du document FR 1 134 736 par exemple, et permet de résoudre le problème
10 technique posé.

En effet, lors de leur mouvement rotatif, les pales génèrent un sillage tourbillonnaire.

Dans le cadre d'un rotor caréné, la demanderesse a déterminé qu'une interaction aérodynamique entre ce sillage
15 tourbillonnaire d'air provenant des pales et des barres de maintien du stator-redresseur à la carène est potentiellement génératrice de bruit.

Dès lors, en déformant une pale et notamment en bombant l'extrados et l'intrados de sa zone bombée, on peut obtenir une
20 forme cambrée, la zone bombée présentant une flèche selon une direction parallèle à l'axe de rotation du rotor. Cette flèche est de plus dirigée selon un sens allant de l'intrados vers l'extrados et donc du côté opposé au stator-redresseur.

Ainsi, on éloigne la zone bombée de la pale du stator-
25 redresseur et plus particulièrement des barres de maintien, l'intrados de la zone bombée de la pale présentant une concavité en vis-à-vis du stator-redresseur.

L'éloignement de la zone bombée du stator-redresseur comparé à une pale classique permet ainsi de minimiser

l'interaction existant entre le sillage tourbillonnaire généré par une pale et le stator-redresseur.

De plus, outre l'augmentation de la distance à parcourir par un sillage tourbillonnaire entre la zone bombée et des barres de maintien, on note que la forme bombée de cette zone bombée
5 accentue la dissipation du sillage tourbillonnaire.

On comprend alors que cette pale génère en rotation un sillage tourbillonnaire disparaissant plus rapidement comparé à une pale classique, ce sillage tourbillonnaire parcourant en outre
10 une distance maximisée par rapport à une pale classique pour atteindre un stator-redresseur.

Par suite, cette pale permet d'éviter un contact entre un stator-redresseur et un sillage tourbillonnaire généré par la pale en rotation, ou permet de minimiser le sillage tourbillonnaire
15 susceptible d'atteindre un tel stator-redresseur le cas échéant.

De même, sur un rotor non caréné tel qu'un rotor de sustentation d'un giravion, la dissipation rapide du sillage générée par une pale selon l'invention minimise l'interaction de ce sillage avec une autre pale du rotor durant un vol d'avancement en
20 descente. Eventuellement, le sillage d'une pale peut ne pas impacter une autre pale.

On note qu'en courbant uniquement la zone bombée d'une pale par rapport à une pale connue, il est possible donc d'obtenir une pale de rotor acoustiquement intéressante, aussi bien pour un
25 rotor caréné que pour un rotor non caréné.

De plus, en n'agissant pas sur la zone d'implanture, on ne modifie pas les conditions de fixation de cette pale sur un moyeu existant.

De même, il est possible de conserver les conditions d'interface avec une carène dans le cadre d'un rotor caréné, en ne modifiant pas la position de la section d'extrémité par rapport à une pale classique. En n'agissant pas sur la section d'extrémité
5 libre de la pale, on maintient l'effet connu d'entraînement de la pale sur la carène d'un rotor caréné, parfois dénommé « effet de succion aérodynamique ».

Par conséquent, il est possible d'obtenir une pale selon l'invention à partir d'une pale classique en éloignant sa zone
10 bombée selon une direction parallèle à l'axe de rotation de ladite pale pour améliorer les performances acoustiques d'un rotor, sans modifier les conditions d'interface de la pale modifiée avec un moyeu du rotor et voire la carène d'un rotor caréné.

Cette pale peut de plus comporter une ou plusieurs des
15 caractéristiques additionnelles qui suivent pour par exemple optimiser son efficacité.

Par exemple, selon une variante, la zone bombée peut se rapprocher du plan principal sans l'atteindre.

On maximise ainsi le nombre de sections de pale éloignées
20 du plan principal afin notamment de minimiser le bruit d'interaction entre une pale et une aube ou entre une pale et une autre pale.

Selon une variante préférée, la zone bombée s'éloignant à partir de la zone d'emplanture puis se rapprochant dudit plan principal P1, la pale présente à partir du plan principal une zone
25 d'extrémité succédant à la zone bombée, la zone d'extrémité comportant ladite section d'extrémité libre.

La zone d'emplanture et la zone d'extrémité peuvent être agencées dans le plan principal, pour optimiser les performances du rotor notamment dans le cadre d'un rotor caréné.

La zone d'implanture et la zone d'extrémité sont alors planes.

Il est à noter que la zone d'extrémité peut comporter uniquement la section d'extrémité libre, ou s'étendre en envergure
5 de la zone bombée vers la section d'extrémité libre.

La zone d'extrémité peut aussi présenter une angulation avec le plan principal P1.

Selon un autre aspect, la zone d'implanture s'étend radialement en envergure de ladite section d'implanture vers une
10 première section intermédiaire commune à la zone d'implanture et à la zone bombée. La première section intermédiaire est éventuellement disposée radialement entre la section d'implanture et une section médiane de la pale située à égale distance de la section d'implanture et de la section d'extrémité libre.

15 De même, le cas échéant la zone d'extrémité s'étend radialement en envergure d'une deuxième section intermédiaire commune à la zone d'extrémité et à la zone bombée vers ladite section d'extrémité libre. La deuxième section intermédiaire est éventuellement disposée radialement entre la section d'extrémité
20 libre et une section médiane de la pale située à égale distance de la section d'implanture et de la section d'extrémité libre.

On comprend que l'on peut déterminer la position des première et deuxième sections intermédiaires de manière à maximiser la zone bombée en envergure, tout en conservant une
25 zone d'implanture suffisante pour ne pas perturber la fixation à un moyeu et le cas échéant une zone d'extrémité libre suffisante pour ne pas altérer un effet de suction.

Selon un autre aspect, la pale présentant une zone d'extrémité et une pluralité de sections réparties en envergure le

long d'une ligne d'empilement de la pale, la portion d'implanture de la ligne d'empilement située dans la zone d'implanture et la portion d'extrémité de la ligne d'empilement située dans la zone d'extrémité peuvent être disposées dans ledit plan principal. La
5 portion intermédiaire de la ligne d'empilement située dans la zone bombée est alors bombée pour s'éloigner dudit plan principal selon une direction parallèle à l'axe de rotation de ladite pale.

On note qu'il est possible de définir une ligne d'empilement géométrique de construction sur laquelle est empilée l'ensemble
10 des sections de la pale.

Ainsi, le constructeur définit arbitrairement un point caractéristique de chaque section de la pale, chaque point caractéristique d'une section se trouvant dans la même position par rapport à l'intersection de cette section avec la ligne
15 d'empilement. Chaque section est alors éventuellement orientée par rapport à une ligne de vrillage selon une loi de vrillage.

Par exemple, le constructeur peut décider que le bord d'attaque de chaque section se trouve à une distance prédéterminée de la ligne d'empilement, une distance
20 prédéterminée égale au tiers de la corde de la section par exemple. La forme finale de la pale est alors obtenue en mettant en œuvre une loi de vrillage visant à orienter angulairement chaque section par rapport à une ligne de vrillage.

Dès lors, la portion intermédiaire de la ligne d'empilement est
25 bombée afin d'éloigner la zone bombée du plan principal, et éventuellement d'un stator-redresseur.

Par exemple, une projection de cette portion intermédiaire sur un plan orthogonal peut avoir la forme d'une fonction spline

cubique, ce plan orthogonal étant perpendiculaire au plan principal et passant par un axe de variation de pas de la pale.

Par ailleurs, une projection de la portion d'implanture et de la portion d'extrémité sur ledit plan orthogonal est éventuellement
5 confondue avec une projection de l'axe de variation de pas de la pale sur ce plan orthogonal.

De plus, la portion intermédiaire de la ligne d'empilement peut s'éloigner de la portion d'implanture pour atteindre un point de courbure maximale puis se rapproche du plan principal. Le point
10 de courbure maximale se trouve éventuellement dans un plan secondaire en amont dudit plan principal et parallèle au plan principal.

Eventuellement, une projection du point de courbure maximale sur le plan orthogonal est située à une distance radiale
15 de la section d'implanture comprise entre le quart de la longueur d'envergure de la pale séparant la section d'implanture de la section d'extrémité libre et les trois-quarts de ladite longueur d'envergure.

Selon un autre aspect, le point de courbure maximale étant
20 situé à une distance verticale du plan principal, cette distance verticale est comprise entre le tiers d'une corde de référence et trois fois cette corde de référence.

Le point de courbure maximal étant contenu dans une section maximale de la pale, la corde de référence peut être la corde de
25 cette section maximale.

Outre, une pale, l'invention vise un rotor muni d'une telle pale.

Selon l'invention, un rotor est muni d'un moyeu tournant portant une pluralité de pales.

Chaque pale est selon l'invention en étant du type décrit précédemment. Ainsi, chaque pale comporte un extradados et un intrados s'étendant transversalement d'un bord d'attaque vers un bord de fuite et en envergure d'une section d'emplantage vers une section d'extrémité libre, la pale comportant de la section d'emplantage vers la section d'extrémité libre une zone d'emplantage puis une zone bombée, la zone d'emplantage étant contenue dans un plan principal de rotation, la zone bombée présentant un intrados et un extradados bombé s'éloignant à partir de la zone d'emplantage du plan principal selon une direction parallèle à l'axe de rotation de la pale et selon un sens opposé à un sens de circulation d'un fluide au travers du rotor jusqu'à un point de courbure maximale puis se rapproche du plan principal.

Eventuellement, le rotor comporte une carène définissant une veine dans laquelle évoluent les pales, le rotor comprenant un stator-redresseur située en aval des pales, la zone bombée s'éloignant du plan principal pour éloigner le point de courbure maximale du stator-redresseur.

L'invention vise aussi un aéronef qui comporte un tel rotor.

Par ailleurs, l'invention concerne aussi un procédé pour minimiser le bruit émis par un rotor, le rotor comprenant un moyeu tournant portant une pluralité de pales.

Chaque pale comportant un extradados et un intrados s'étendant transversalement d'un bord d'attaque vers un bord de fuite et en envergure d'une section d'emplantage vers une section d'extrémité libre, la pale comportant de la section d'emplantage vers la section d'extrémité libre une zone d'emplantage puis une

zone bombée, la zone d'implanture étant contenue dans un plan principal de rotation, selon le procédé on bombe un intrados et un extrados de la zone bombée selon une direction parallèle à l'axe de rotation de ladite pale et selon un sens opposé à un sens de circulation du fluide au travers du rotor pour éloigner cette zone bombée du plan principal, voire d'un stator-redresseur le cas échéant, afin de minimiser le bruit émis par le rotor.

Eventuellement, chaque zone présentant une pluralité de sections réparties en envergure le long d'une ligne d'empilement, une portion d'implanture de la ligne d'empilement située dans la zone d'implanture étant disposée dans le plan principal, une portion intermédiaire de la ligne d'empilement située dans la zone bombée étant bombée, on réalise ladite portion intermédiaire à l'aide d'une fonction spline cubique formée en utilisant au moins trois points de passage, un premier point de passage étant commun à la portion d'implanture et à la portion intermédiaire.

On peut prendre soin d'éviter des discontinuités en tangence de la portion intermédiaire, de telles discontinuités pouvant générer des tourbillons.

Ainsi, lorsque l'on utilise un nombre pair de points de passage, on peut répartir symétriquement ces points autour d'un plan maximal passant par un point de courbure maximale.

Lorsque l'on utilise un nombre impair de points de passage, on peut placer un point de passage sur le point de courbure maximale à atteindre, puis répartir symétriquement les autres points de passage autour d'un plan maximal passant par le point de courbure maximale.

On peut notamment placer des points de passage à proximité du premier point de passage et d'un deuxième point de passage

extrémal afin de lisser au maximum la courbure de la portion intermédiaire de la ligne d'empilement à sa jonction avec la portion d'implanture.

L'invention et ses avantages apparaîtront avec plus de
5 détails dans le cadre de la description qui suit avec des exemples de réalisation donnés à titre illustratif en référence aux figures annexées qui représentent :

- la figure 1, une vue schématique d'un aéronef,
- la figure 2, une vue tridimensionnelle d'une pale,
- 10 - la figure 3, une projection d'une ligne d'empilement dans un plan orthogonal, et
- les figures 4 à 7, des vues présentant des variantes de l'invention.

Les éléments présents dans plusieurs figures distinctes sont
15 affectés d'une seule et même référence.

La figure 1 présente un aéronef 1 muni d'un rotor caréné 5. Ce rotor caréné peut notamment être un fenestron®. Il est à noter que le rotor 5 peut être un rotor non caréné, tel qu'un rotor principal de sustentation de l'aéronef 1.

20 Les éléments de l'aéronef n'appartenant pas au rotor ne sont pas représentés pour ne pas alourdir inutilement la figure 1.

Le rotor caréné 5 comprend alors une carène 6 définissant une veine. Un ensemble tournant 15 muni d'un moyeu 16 portant une pluralité de pales 20 est ainsi agencé dans la veine 7.

De plus, le rotor caréné 5 comprend un stator-redresseur 10 disposé dans la veine en aval de l'ensemble tournant 15 selon le sens de circulation F du flux d'air au travers du rotor caréné 5.

Un tel stator-redresseur peut inclure d'une part une boîte de transmission de puissance 11 entraînant en rotation l'ensemble tournant 15 autour d'un axe de rotation AXROT, et, d'autre part des barres de maintien 12 pour fixer la boîte de transmission de puissance 11 à la carène. Ces barres de maintien 12 sont généralement profilées pour redresser le flux d'air traversant le rotor caréné en aval de l'ensemble tournant 15, ces barres de maintien 12 étant par suite parfois dénommées « aubes » par l'homme du métier.

Par ailleurs, indépendamment de la nature du rotor 5, les pales 20 du rotor s'étendent en envergure à partir du moyeu 16 d'une section d'emplanture 31 en vis-à-vis du moyeu 16 vers une section d'extrémité libre 41. Sur un rotor caréné, la section d'extrémité libre 41 est donc en vis-à-vis de la carène 6.

De plus, les pales 20 s'étendent en élévation d'un intrados 22 vers un extrados 21 et transversalement d'un bord d'attaque vers un bord de fuite.

Selon le procédé de l'invention, on identifie au moins deux zones distinctes de chaque pale.

Par suite, chaque pale s'étend en envergure du moyeu 16 vers la section d'extrémité libre 41 en passant par une zone dite « zone d'emplanture 30 » contenant la section d'emplanture 31 puis par une zone dite « zone bombée 35 » ou encore « zone déformée ».

Dès lors, soit la zone bombée 35 contient la section d'extrémité libre 41, soit la zone bombée 35 est prolongée par une

zone dite « zone d'extrémité 40 » incluant la section d'extrémité libre 41.

Dès lors, pour minimiser le bruit émis par le rotor en fonctionnement à savoir lorsque les pales effectuent un mouvement
5 rotatif autour de l'axe de rotation, on bombe l'intrados 22'' et l'extrados 21'' de la zone bombée 35 selon une direction $\underline{Z}$ parallèle à l'axe de rotation de ladite pale et selon un sens opposé au sens de circulation F de l'air au travers du rotor.

Ainsi, cette zone bombée 35 s'éloigne du plan principal P1, et
10 le cas échéant dudit stator-redresseur pour atteindre un plan secondaire P3.

Les pales de l'état de la technique évoluent en général en rotation autour d'un axe de rotation AXROT dans un plan dit « plan principal P1 ». Ce plan principal P1 est ainsi parfois appelé « plan
15 de rotation » des pales 20.

A l'inverse, selon l'invention on déforme une zone bombée pour l'éloigner du plan principal P1, et du stator-redresseur 10 sur l'exemple représenté, afin de minimiser le bruit émis par le rotor.

La zone bombée atteint alors un point de courbure maximale
20 situé dans le plan secondaire P3.

A partir du plan secondaire P3, la zone bombée se rapproche du plan principal P1.

Selon la variante de la figure 7, cette zone bombée n'atteint pas le plan principal P1. La zone bombée inclut alors la section
25 d'extrémité libre 41 qui se trouve en amont du plan principal P1.

Cette variante paraît plus adaptée à un rotor non caréné.

Par contre, selon d'autres variantes, la zone bombée 35 débouche sur une zone extrême 40 au niveau du plan principal P1.

Selon la réalisation de la figure 6, la zone bombée décroît
5 linéairement jusqu'au plan principal P1.

Dans cette variante, la zone d'extrémité 40 est limitée à la section d'extrémité libre 41.

Cette variante paraît adaptée à un rotor caréné.

Il en va de même pour la variante de la figure 5 qui se
10 distingue de la variante de la figure 6 par une décroissance non linéaire de la zone bombée jusqu'au plan principal P1

Selon d'autres variantes, la zone d'extrémité 40 peut s'étendre en envergure.

Conformément à la variante de la figure 4, la zone
15 d'extrémité 40 présente une angulation α avec le plan principal.

La section d'extrémité libre 41 atteint alors un quatrième plan P4 en aval du plan principal. Dès lors cette variante paraît plutôt adaptée à un rotor non caréné.

Enfin, selon l'exemple préférée de la figure 1, la zone
20 d'extrémité 40 peut être contenue dans le plan principal P1.

Chaque pale 20 évolue alors en rotation dans un anneau délimité par le plan principal P1 et le plan secondaire P3.

On comprend qu'il est possible de ne pas déformer la zone d'implanture 30 pour ne pas modifier les conditions d'interface
25 avec le moyeu, et la zone d'extrémité 40 pour ne pas altérer l'effet

de succion aérodynamique se produisant entre la carène 6 et la pale 20.

La figure 2 présente une telle pale 20 mettant en œuvre ce procédé.

5 La pale 20 présentée s'étend donc en envergure d'une section d'implanture 31 vers une section d'extrémité libre 41, la longueur d'envergure R correspondant à la distance séparant la section d'implanture 31 et la section d'extrémité libre 41.

10 On note qu'un longeron non représenté peut saillir de la section d'implanture pour être solidarisé à un moyeu 16.

Par ailleurs, la pale s'étend transversalement d'un bord d'attaque 23 vers un bord de fuite 24.

15 On rappelle que la corde d'une section correspond à la distance séparant le bord d'attaque du bord de fuite de cette section. La figure 2 présente la corde CO de la section d'extrémité libre 41 qui s'étend entre le bord d'attaque BA et le bord de fuite BF de cette section d'extrémité libre 41.

20 En outre, la pale 20 s'étend en élévation suivant son épaisseur d'un intrados 22 vers un extrados 21. On comprend que l'extrados et l'intrados s'étendent donc chacun transversalement du bord d'attaque 23 de la pale 20 vers le bord de fuite 24.

25 Afin de minimiser les interactions entre cette pale 20 et des barres de maintien 12 au sein d'un rotor caréné, la pale 20 comporte de la section d'implanture 31 vers ladite section d'extrémité libre 41 une zone d'implanture 30 puis une zone bombée 35, voire une zone d'extrémité 40. La zone d'implanture 30 et la zone d'extrémité 40 sont alors contenues dans un plan principal P1 de rotation selon la variante préférée représentée.

Par contre, la zone bombée 35 présente un intrados 22'' et un extradados 21'' qui sont bombés pour être éloignés d'un plan principal P1 selon une direction $\underline{Z}$ parallèle à l'axe de rotation AXROT de la pale.

5 Par ailleurs, on note que la zone d'implanture 30 s'étend radialement en envergure de la section d'implanture 31 vers une première section intermédiaire 32. De même, la zone bombée 35 s'étend radialement en envergure de la première section intermédiaire 32 vers une deuxième section intermédiaire 39, la
10 zone d'extrémité 40 s'étendant radialement en envergure de la deuxième section intermédiaire 39 vers la section d'extrémité libre 41.

Selon la variante, la deuxième section intermédiaire 39 et la section d'extrémité libre 41 peuvent être confondues, et
15 éventuellement agencées dans le plan principal P1.

Pour minimiser le bruit émis par un rotor muni de la pale 20, on peut maximiser la zone bombée au détriment de la zone d'implanture, et le cas échéant de la zone d'extrémité. On comprend néanmoins que ces zones d'implanture et d'extrémité
20 sont dimensionnées pour garantir l'interfaçage de la pale sur un moyeu, et le cas échéant l'effet de succion de la pale interagissant avec une carène.

Par exemple, la première section intermédiaire 32 est alors disposée radialement entre la section d'implanture 31 et une
25 section médiane 37 de la pale située à égale distance de la section d'implanture 31 et de la section d'extrémité libre 41.

A l'inverse, la deuxième section intermédiaire 39 peut être disposée radialement entre la section médiane 37 et la section d'extrémité libre 41.

Selon un autre aspect, pour définir la géométrie de la pale 20, on rappelle qu'un constructeur peut définir une ligne de construction dite « ligne d'empilement 50 ». Le constructeur positionne alors chaque section de cette pale 20 par rapport à la
5 ligne d'empilement 50.

Par exemple, le constructeur peut définir que le bord d'attaque de chaque section doit se situer à une distance prédéterminée de la ligne d'empilement, cette distance pouvant varier suivant l'emplacement en envergure des sections.

10 La forme finale de la pale est alors obtenue en mettant en œuvre une loi de vrillage des sections.

Dès lors, la ligne d'empilement 50 de la pale 20 présentée, comporte successivement une portion d'emplanture 55 située dans la zone d'emplanture 30, une portion intermédiaire 60 située dans
15 la zone bombée 35, puis le cas échéant une portion d'extrémité 65 située dans la zone d'extrémité 40.

Par conséquent, la portion d'emplanture 55 et la portion d'extrémité 65 sont éventuellement disposées dans le plan principal P1. Par contre, la portion intermédiaire 60 est bombée
20 pour s'éloigner du plan principal P1 selon une direction parallèle à l'axe de rotation de la pale.

Plus précisément, la portion intermédiaire 60 s'éloigne du plan principal P1 à partir de la portion d'emplanture pour atteindre un point de courbure maximal PCO situé dans le plan secondaire
25 P3. A partir du point de courbure maximal PCO, la portion intermédiaire 60 se rapproche du plan principal P1 pour atteindre éventuellement la portion d'extrémité 65.

On note que le point de courbure maximal PCO se situe dans une section dite « section maximale 36 », cette section maximale

représentant la section de la pale 20 la plus éloignée du plan principal selon une direction $\underline{Z}$ parallèle à l'axe de rotation AXROT. Cette section maximale 36 peut être confondue avec la section médiane 37.

5 La figure 3 présente la projection 50' d'une ligne d'empilement 50 sur un plan dit « plan orthogonal P2 ». Ce plan orthogonal P2 est perpendiculaire au plan principal P1 et passe par exemple par l'axe de variation de l'angle de pas AXPAS de la pale 20.

10 Dès lors, une projection orthogonale d'implanture 55' et une projection orthogonale d'extrémité 65' sur un plan orthogonal P2 respectivement de la portion d'implanture 55 et de la portion d'extrémité 65 sont éventuellement confondues avec l'axe de variation de pas AXPAS de la pale sur ce plan orthogonal.

15 Par contre, une projection 60' orthogonale de la portion intermédiaire 60 sur le plan orthogonal P2 a favorablement la forme d'une fonction spline cubique.

 Pour définir cette fonction spline cubique durant une phase de conception, le constructeur peut mettre en œuvre au moins trois
20 points de passage 100.

 Le constructeur peut notamment choisi un premier et un deuxième points de passage 100', 100'' respectivement communs à la portion d'implanture et à la portion intermédiaire ainsi qu'à la portion d'extrémité et à la portion intermédiaire.

25 De plus, lorsque l'on utilise un nombre pair de points de passage 102, on peut répartir symétriquement ces points de passage 102 autour du plan maximal 36 passant par un point de courbure maximal PCO.

Lorsque l'on utilise un nombre impair de points de passage 101, on peut placer un point de passage 101 sur le point de courbure maximale à atteindre, puis répartir symétriquement les autres points de passage 101 autour du plan médian 36.

- 5 Par ailleurs, on peut définir la position du point de courbure maximale en envergure à l'aide d'une projection du point de courbure maximale PCO sur le plan orthogonal, cette projection étant dénommée « projection maximale » par commodité.

Ainsi, la projection maximale PCO' du point de courbure
10 maximale PCO sur le plan orthogonal P2 est située à une distance radiale DR de la section d'implanture 31 comprise entre le quart $\frac{R}{4}$ de la longueur d'envergure R de la pale et les trois-quarts $\frac{3R}{4}$ de ladite longueur d'envergure R.

- De plus, on note que le point de courbure maximale PCO est
15 situé à une distance verticale DV du plan principal P1. Cette distance verticale DV est éventuellement comprise entre le tiers d'une corde de référence CREF et trois fois de cette corde de référence CREF. La corde de référence peut être la corde de la section maximale 36.

- 20 Naturellement, la présente invention est sujette à de nombreuses variations quant à sa mise en œuvre. Bien que plusieurs modes de réalisation 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
25 moyen décrit par un moyen équivalent sans sortir du cadre de la présente invention.

REVENDEICATIONS

1. Pale (20) d'un rotor (5), la pale (20) comportant un extradados (21) et un intrados (22) s'étendant transversalement d'un bord d'attaque (23) vers un bord de fuite (24) et en envergure
 5 d'une section d'emplature (31) vers une section d'extrémité libre (41),

caractérisée en ce que la pale (20) comporte en envergure de la section d'emplature (31) vers ladite section d'extrémité libre (41) une zone d'emplature (30) puis une unique zone bombée (35)
 10 s'étendant transversalement du bord d'attaque (23) vers le bord de fuite (24), ladite zone d'emplature (30) étant contenue dans un plan principal (P1) de rotation, ladite zone bombée (35) présentant un intrados (22'') et un extradados (21'') bombés du bord d'attaque (23) vers le bord de fuite (24) et s'éloignant à partir de la zone
 15 d'emplature dudit plan principal (P1) selon une direction ($\underline{Z}$) parallèle à l'axe de rotation (AXROT) de ladite pale et selon un sens opposé à un sens de circulation d'un fluide au travers de la pale jusqu'à un point de courbure maximale (PCO) puis se rapproche dudit plan principal (P1),

20 caractérisée en ce que ledit point de courbure maximale (PCO) se trouvent dans un plan secondaire (P3) en amont dudit plan principal (P1) et parallèle au plan principal (P1),

caractérisée en ce qu'une projection (PCO') du point de courbure maximale (PCO) sur un plan orthogonal (P2) est située à une
 25 distance radiale (DR) de ladite section d'emplature (31) comprise entre le quart de l'envergure (R) de la pale séparant la section d'emplature (31) de la section d'extrémité libre (41) et les trois-quarts de ladite envergure (R) ce plan orthogonal (P2) étant

perpendiculaire au plan principal (P1) et passant par un axe de variation de pas (AXPAS) de la pale.

2. Pale selon la revendication 1,

caractérisée en ce que, ladite zone bombée (35) s'éloignant à
5 partir de la zone d'implanture puis se rapprochant dudit plan principal (P1), la pale (20) présente à partir dudit plan principal (P1) une zone d'extrémité (40) succédant à la zone bombée, ladite zone d'extrémité comportant ladite section d'extrémité libre (41).

3. Pale selon la revendication 2,

10 caractérisée en ce que, ladite zone d'implanture et ladite zone d'extrémité (40) sont agencées dans ledit plan principal (P1).

4. Pale selon la revendication 2,

caractérisée en ce que, la pale (20) présentant une pluralité de sections répartis en envergure le long d'une ligne d'empilement
15 (50) de cette pale (20), une portion d'implanture (55) de la ligne d'empilement (50) située dans la zone d'implanture (30) et une portion d'extrémité (65) de la ligne d'empilement (50) située dans la zone d'extrémité (40) sont disposées dans ledit plan principal (P1), une portion intermédiaire (60) de la ligne d'empilement (50)
20 située dans la zone bombée (35) étant bombée pour s'éloigner dudit plan principal (P1) selon une direction parallèle à l'axe de rotation de ladite pale.

5. Pale selon la revendication 4,

caractérisée en ce qu'une projection (60') de ladite portion
25 intermédiaire (60) sur un plan orthogonal (P2) a la forme d'une fonction spline cubique, ce plan orthogonal (P2) étant perpendiculaire au plan principal (P1) et passant par un axe de variation de pas (AXPAS) de la pale.

6. Pale selon l'une quelconque des revendications 4 à 5,
caractérisée en ce qu'une projection (55', 65') sur un plan
orthogonal (P2) de la portion d'implanture (55) et de la portion
d'extrémité (65) sont confondues avec un axe de variation de pas
5 (AXPAS) de la pale sur ce plan orthogonal, ce plan orthogonal (P2)
étant perpendiculaire au plan principal (P1) et passant par un axe
de variation de pas (AXPAS) de la pale.

7. Pale selon la revendication 1,
caractérisée en ce que le point de courbure maximale (PC0) étant
10 situé à une distance verticale (DV) du plan principal (P1), ladite
distance verticale (DV) est comprise entre le tiers d'une corde de
référence (CREF) et trois fois cette corde de référence (CREF).

8. Pale selon la revendication 7,
caractérisée en ce que, ledit point de courbure maximal (PCO)
15 étant contenu dans une section maximale (36) de la pale, ladite
corde de référence est la corde de cette section maximal.

9. Pale selon l'une quelconque des revendications 1 à 8,
caractérisée en ce que ladite zone d'implanture (30) s'étend
radialement en envergure de ladite section d'implanture (31) vers
20 une première section intermédiaire (32) commune à la zone
d'implanture (30) et à la zone bombée (35), ladite première section
intermédiaire (32) étant disposée radialement entre la section
d'implanture (31) et une section médiane (37) de la pale située à
égale distance de la section d'implanture (31) et de la section
25 d'extrémité libre (41).

10. Pale selon la revendication 2,

caractérisée en ce que ladite zone d'extrémité (40) s'étend radialement en envergure d'une deuxième section intermédiaire (39) commun à la zone d'extrémité (40) et à la zone bombée (35) vers ladite section d'extrémité libre (41), ladite deuxième section intermédiaire (39) étant disposée radialement entre la section d'extrémité libre (41) et une section médiane (37) de la pale située à égale distance de la section d'implanture (31) et de la section d'extrémité libre (41).

10 11. Rotor (5) comprenant un moyeu (16) tournant portant une pluralité de pales (20),

caractérisée en ce que chaque pale est selon l'une quelconque des revendications 1 à 10.

12. Rotor (5) selon la revendication 11,

15 caractérisée en ce que le rotor comporte une carène (6) définissant une veine (7) dans laquelle évolue lesdites pales (20), ledit rotor comprenant un stator-redresseur (10) située en aval desdites pales (20), ladite zone bombée s'éloignant du plan principal (P1) pour éloigner ledit point de courbure maximale dudit stator-redresseur (10).

13. Aéronef (1),

caractérisé en ce qu'il comporte un rotor (5) selon l'une quelconque des revendications 11 à 12.

14. Procédé pour minimiser le bruit émis par un rotor (5),
25 ledit rotor (5) comprenant un moyeu (16) tournant portant une pluralité de pales (20),

caractérisé en ce que chaque pale (20) comportant un extradados (21) et un intrados (22) s'étendant transversalement d'un bord d'attaque (23) vers un bord de fuite (24) et en envergure d'une section d'implanture (31) vers une section d'extrémité libre (41), la
5 pale comportant de la section d'implanture (31) vers la section d'extrémité libre (41) une zone d'implanture (30) puis une zone bombée (35), ladite zone d'implanture (30) étant contenue dans un plan principal (P1) de rotation, on bombe un intrados (22'') et un extradados (21'') de ladite zone bombée du bord d'attaque (23) vers
10 le bord de fuite (24) selon une direction parallèle à l'axe de rotation de ladite pale et selon un sens opposé à un sens de circulation du fluide au travers du rotor pour l'éloigner dudit plan principal afin de minimiser le bruit émis par le rotor,

caractérisée en ce que ledit point de courbure maximale (PCO) se
15 trouvent dans un plan secondaire (P3) en amont dudit plan principal (P1) et parallèle au plan principal (P1),

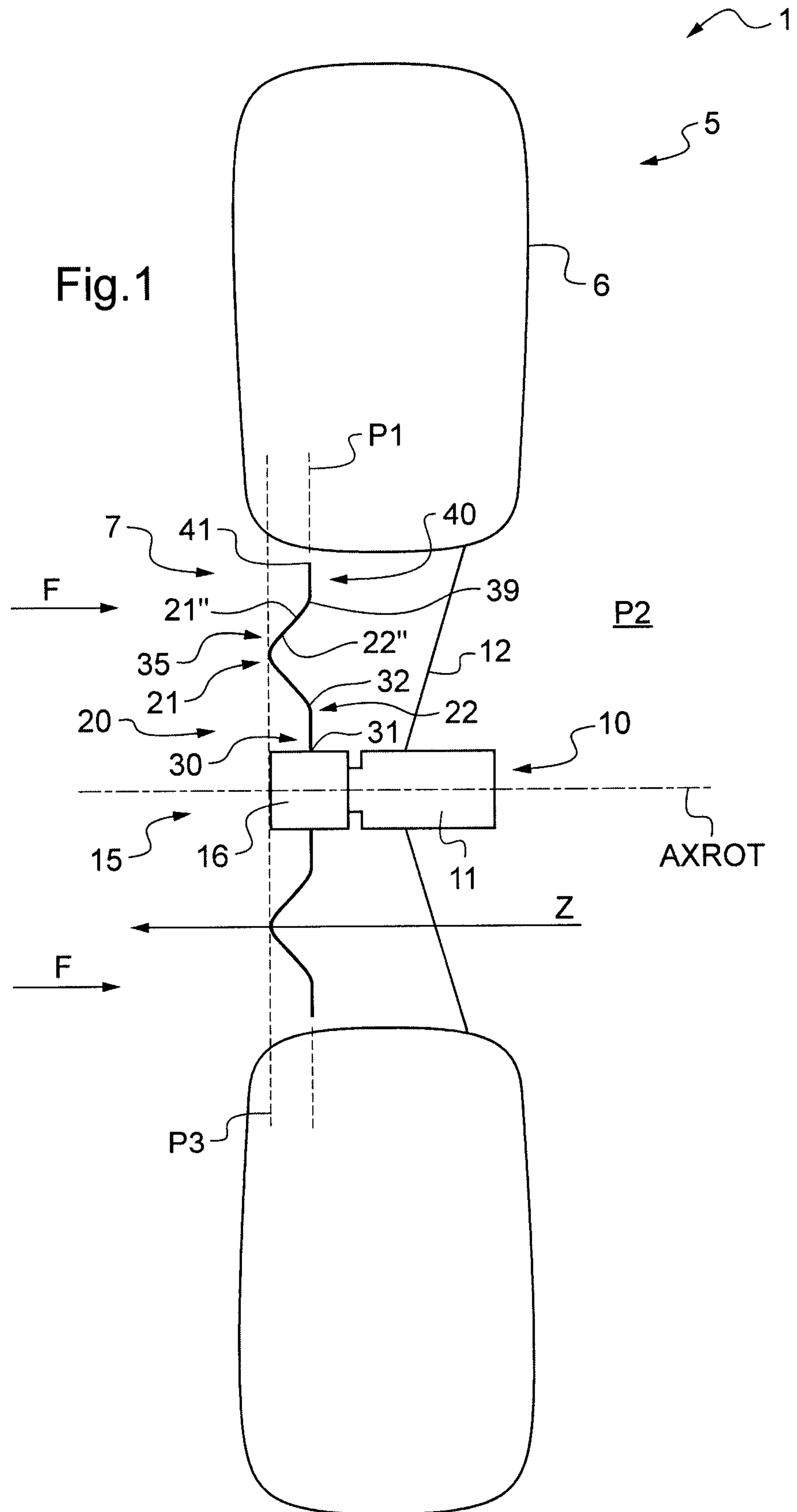
caractérisée en ce qu'une projection (PCO') du point de courbure maximale (PCO) sur un plan orthogonal (P2) est située à une distance radiale (DR) de ladite section d'implanture (31) comprise
20 entre le quart de l'envergure (R) de la pale séparant la section d'implanture (31) de la section d'extrémité libre (41) et les trois-quarts de ladite envergure (R) ce plan orthogonal (P2) étant perpendiculaire au plan principal (P1) et passant par un axe de variation de pas (AXPAS) de la pale.

25 15. Procédé selon la revendication 14,

caractérisée en ce que, chaque zone présentant une pluralité de sections répartis en envergure le long d'une ligne d'empilement (50), une portion d'implanture (55) de la ligne d'empilement (50) située dans la zone d'implanture (30), la portion intermédiaire de
30 la ligne d'empilement située dans la zone bombée étant bombée,

on réalise ladite portion intermédiaire (35) à l'aide d'une fonction spline cubique formée en utilisant au moins trois points de passage (100), un premier point de passage étant commun à la portion d'emplanture et à la portion intermédiaire.

1/3



2/3

Fig.2

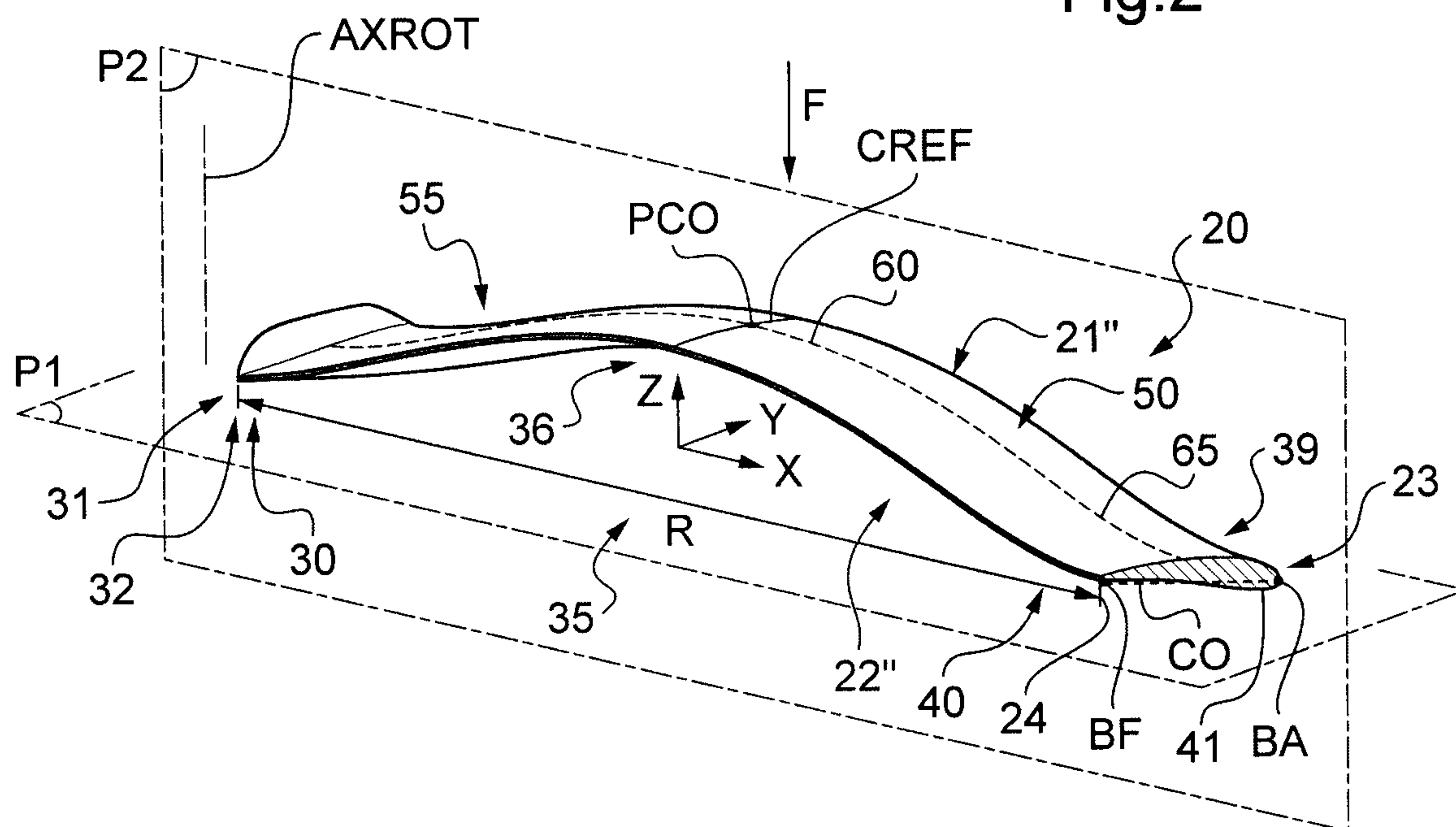
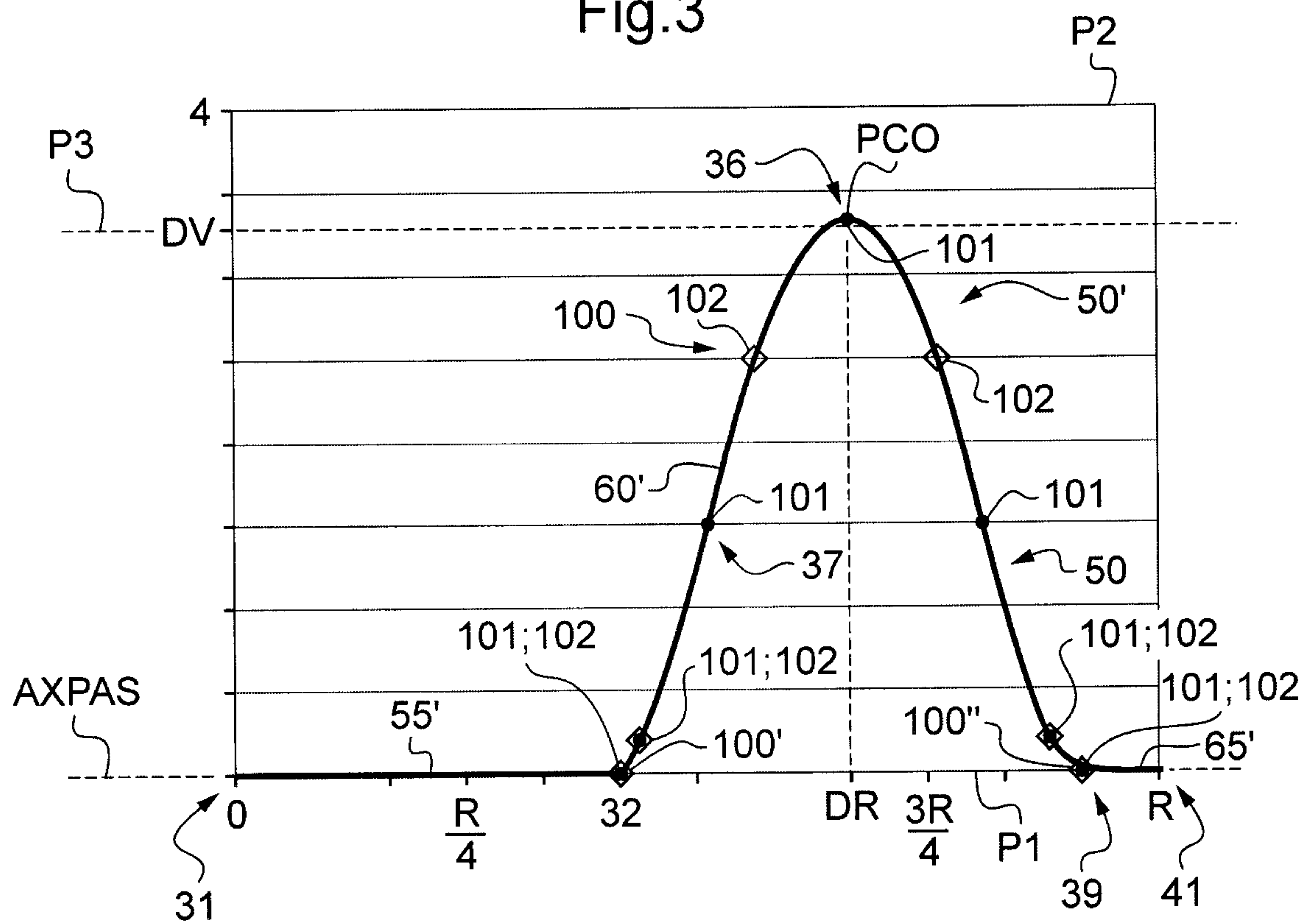


Fig.3



3/3

