

ROTOR POUR AERONEF A VOILURE TOURNANTE

Traduction et adaptation française à contrôler par « Carter aviation »

RESUME

Ce rotor pour aéronef à voilure tournante a un longeron flexible de bout en bout avec, en son centre de part et d'autre de l'axe de rotation rotor, des brassards fixés à la coque initialement creuse de la pale pour permettre la torsion (pas collectif) puis pleine pour assurer la rigidité de l'ensemble.

Au centre, le longeron est dédoublé dans la partie creuse du rotor non reliée à la coque des pales, ce qui permet la commande de pas collectif rotor par torsion de la coque. La broche rotor et les commandes sont dans la cavité centrale entre les deux longerons. La rigidité de l'ensemble du rotor est assuré sur toute la longueur du rotor par la présence de ces deux longerons et sur chaque pale par une partie intermédiaire où les longerons sont enveloppés dans une toile maillée en croisillon sur laquelle adhèrent les faces de la pale.

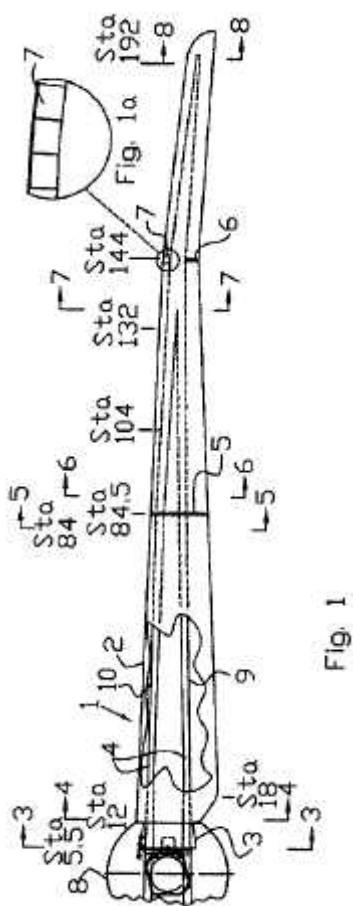


Fig. 1 – Vue dessus pale (2) à poutre et croisillons

- casserole (8) de bout de pale ;
- bord d'attaque lesté entre 3,30m et 4,80m afin d'augmenter l'énergie cinétique lors du pré-lancement pour le décollage sauté ;
- espar (4) constitué de 2 longerons flexibles (9, 10) allant d'un bout à l'autre du rotor ; partie évidée (sta 5,5 à sta 84,5) de 0,14m à 2,10m permettant la torsion de la pale ; partie pleine entre 2,10m et 4,80m (sta 84,5 à sta 192) recouvert d'une toile maillée en croisillon pour assurer la rigidité transversale de la pale ; ces 2 longerons se réunissent en un seul à 3,30m du pied de pale (sta 132) ; les longerons (9, 10), de section rectangulaire, sont en matériau composite constitué de grosses fibres de carbone ou de verre type S parallèles à leur axe longitudinal ;
- membrure médiane (5) ;
- coque de pale constitué de plusieurs couches de résine epoxy ;
- intérieur de pale vide ou en mousse recouverte ou non de toile maillée en croisillon ;
- pale (2) liée à espar (4) de 2,10m à 4,80m (sta 84 à sta 192) ;
- pale de longueur 4,80 m (192 x 2,5 cm ; sta 0 à sta 192) ;
- capot (8) recouvrant l'axe de rotation du rotor, l'axe de battement, l'emplantage de pale et le mécanisme du pas collectif ;
- brassard de pale (3) .

DOMAINE TECHNIQUE

L'invention utilise des surfaces réactives à un fluide ; elles sont montées sur une armature non rigide offrant une bonne résilience. L'invention porte sur l'amélioration d'un rotor bipale pour aéronef à voilure tournante et plus spécialement pour autogire.

ETAT DE L'ART

Les rotors conventionnels à deux pales et longeron flexible ont un longeron dont la section rectangulaire est telle que le centre du longeron est proche de la corde de la pale ce qui donne une grande rigidité superficielle. Cela élève la fréquence de résonance au dessus de la valeur provoquée par la rotation du rotor.

La technologie récente des rotors s'est développée principalement pour les hélicoptères dont le rotor est relié en permanence à un moteur ; pour les autogires, c'est différent, le rotor n'est pas relié à un moteur sauf juste avant le décollage.

Bien que la structure de la pale, objet de ce brevet, puisse être utilisée avantageusement aussi bien pour les hélicoptères que pour les autogires, les exigences de chacun des aéronefs sont différentes.

Il est souhaitable que les autogires puissent avoir la possibilité de faire des décollages sautés ; le rotor doit alors être mis en rotation au sol à grande vitesse (vitesse beaucoup plus grande que dans le cas des hélicoptères), avec un angle de pas collectif nul ; le décollage vertical peut alors être réalisé en augmentant la pas collectif de la pale.

La grande vitesse de rotation nécessaire pour un décollage sauté requière un rotor d'autogire avec une rigidité superficielle plus importante que celle d'un hélicoptère ; en effet, la rigidité requise pour maintenir une fréquence naturelle plus haute que la vitesse de rotation maximum (cas des rotors à deux pales) croit comme le carré de la vitesse.

Pour augmenter la hauteur du saut au décollage, l'énergie cinétique de rotation de la pale doit être augmentée. Un premier moyen consisterait à augmenter la vitesse de rotation de la pale ; cependant cette vitesse de rotation est limitée par la vitesse en bout de pale qui ne peut dépasser la vitesse du son. Une autre solution consiste à utiliser du lest en bout de pale ; cependant, un lest en bout de pale qui double l'énergie cinétique du rotor double également la rigidité superficielle nécessaire pour maintenir une fréquence naturelle plus élevée que la vitesse de rotation maximum. Tandis que certains rotors d'hélicoptère possèdent du lest en bout de pale pour disposer d'une meilleure inertie en cas de mise en auto rotation (voir brevet US No 5,462,409), les rotors d'autogire nécessitent un lest beaucoup plus important s'ils doivent sauter au décollage des obstacles de 16 mètres (50 feet).

Du lest doit être mis en bout de pale sur le bord d'attaque pour maintenir l'équilibre dans le sens de la corde. Puisque le longeron rotor est derrière le lest de bout de pale, une force centrifuge issue directement de la pale rotor exerce un important moment de flexion autour du longeron. La technique ancienne fait état de bout profilé pour des raisons aérodynamique ou acoustique (voir les brevets US No 3,721,507 ; 5,332,362) mais n'indique pas l'angle et l'emplacement du profil résolvant ce problème de structure.

EXPOSE DE L'INVENTION

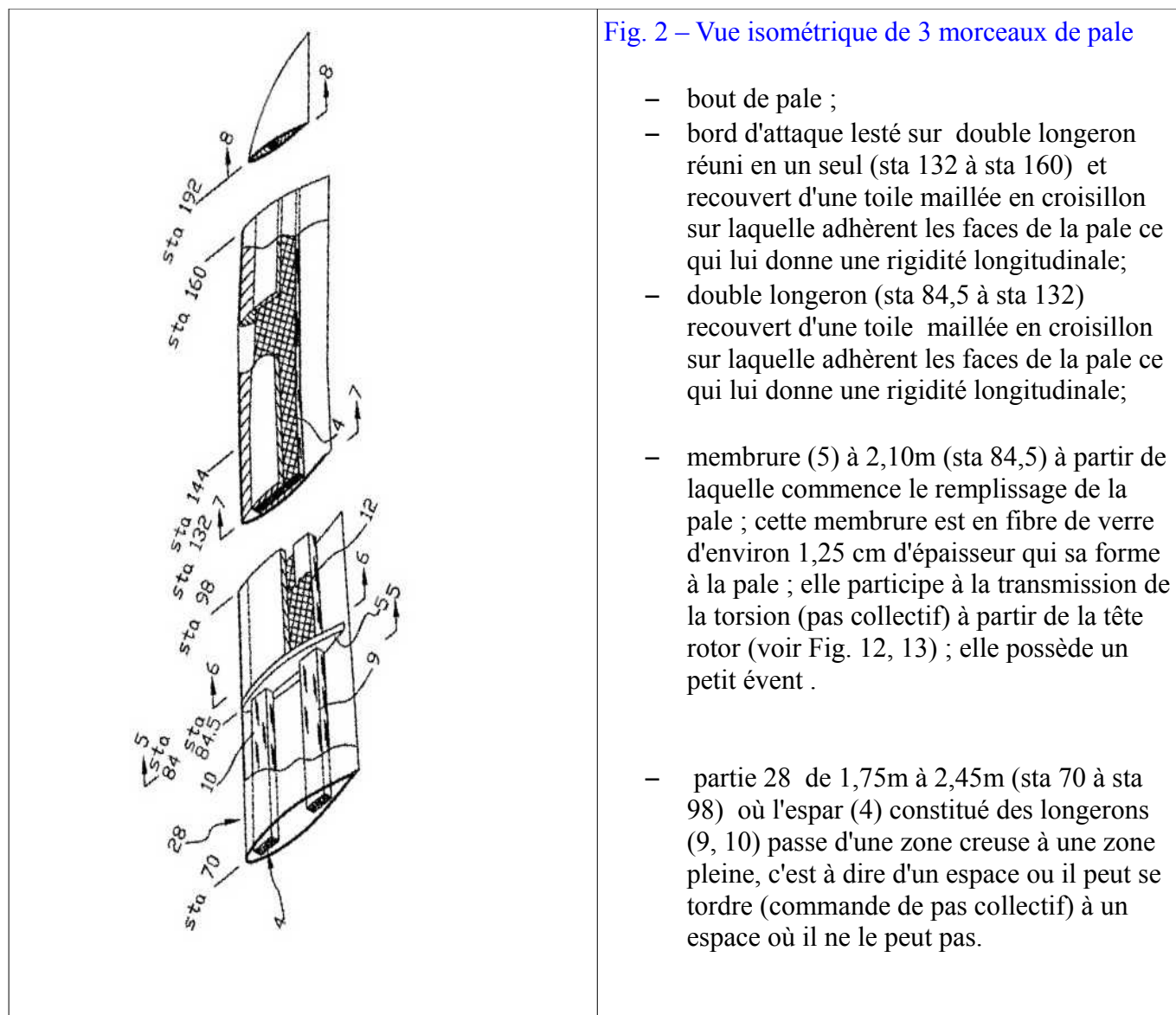
En conséquence, les objectifs de l'invention sont les suivants :

- proposer un rotor amélioré possédant une très haute rigidité dans le plan longitudinal et une faible rigidité en torsion ;
- avoir un rotor avec évidement central suffisamment large pour contenir la tête rotor ;
- pouvoir utiliser sur le bord d'attaque des bouts de pale, un lest très dense qui ne provoque pas de contraintes excessives ;
- pouvoir donner au rotor une énergie cinétique permettant un décollage sauté vertical de (16 mètres) 50 pieds ;
- avoir un rotor qui reste stable à basse vitesse de rotation malgré sa grande inertie.

Cette invention utilise un rotor constitué d'un double longeron flexible de bout en bout ; la torsion est possible dans la partie creuse en début de chacune des 2 pales mais impossible, à partir de la mi-pale où débute une partie pleine liée au longeron jusqu'en bout de pale.

La coupe du double longeron a une forme en I dans la partie non reliée à la pale ce qui permet sa torsion par la commande du pas collectif.

DESCRIPTION DES DESSINS



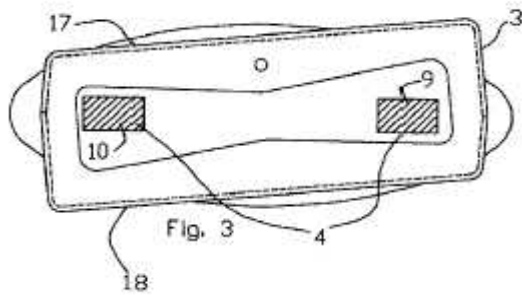


Fig. 3 – Coupe à 0,14m (sta 5,5)

Brassard de pale (3) en composite qui joue le rôle de tube de torsion de pale pivotant autour de O. Sa forme intérieure en papillon est choisie pour permettre en le limitant le déplacement des longerons (9,10) lorsqu'il est actionné via le guignol de pas fixé sur lui et sur lequel agit la biellette de commande de pas collectif (voir Fig. 12, 13).

Espar (4) constitué des longerons (9, 10)
coque supérieure (17)
coque inférieure (18)

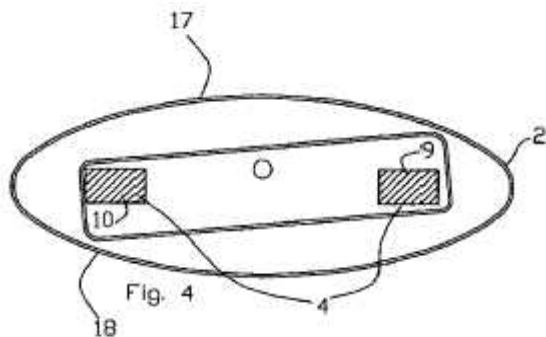


Fig. 4 – Coupe à 0,30m (sta 12)

Choix d'une forme elliptique de surface S importante pour le profil de la pale (2) à 0,30m du brassard :

- grande rigidité en torsion ($R=K. S.S$) :
- grand angle de décrochage du profil aérodynamique (faible vitesse brassard)

Ce profil elliptique s'amincit à partir de 0,45m (sta 18 sur Fig. 1) pour devenir plus aérodynamique.

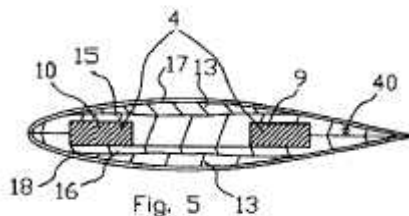


Fig. 5 – Coupe à 2,10m (sta 84.5)

A 2,10m, la pale (2) et le double longeron (4) sont rendus solidaire par une membrure en 2 moitiés (15, 16).

De 0,30m (sta 12) à 2,10m (sta 84.5), les coques supérieure (17) et inférieure (18) constitués par une structure en sandwich enrobent un cœur en mousse ;

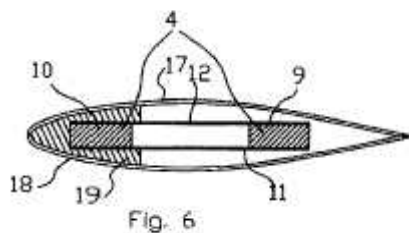


Fig. 6 – Coupe à 2,15m (sta 86)

A 2,11m (sta 84, 5), le double longeron (4) vu en coupe devient une poutre type boîte contenant les semelles (9) et (10) de longeron ; une toile (11, 12) maillée en croisillon constitue la boîte.

Un mélange (19) de résine d'époxy, d'agent épaississant à la silice vaporisée et d'agent de flexibilité remplit l'espace avant entre les coques (17) et (18). La toile (11, 12) répartit la force centrifuge sur les longerons (9, 10) alors que seul le longeron (10) est au contact de la pale .

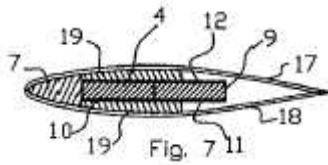


Fig. 7 – Coupe à 3,30m (sta 132)

De 2,60m (sta 104) à 4,80m (sta 192), le lest (7) remplit l'espace entre l'avant du double longeron (4) et la coque du bord d'attaque.

A 3,30m (sta 132), les semelles (9) et (10) de longeron sont jointives ; la section du double longeron (4) devient un rectangle unique.

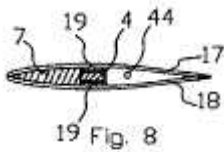


Fig. 8 – Coupe à 4,80m (sta 192) du bout de pale

A 4,80m le lest (7) remplit encore l'espace entre l'avant du longeron (19) et la coque du bord d'attaque.

Le mélange (19) remplit l'espace entre le lest (7), le longeron 19 et la coque de la pale.

Un évent (44) permet à l'air comprimé par la force centrifuge et à l'humidité de s'échapper afin de ne pas déséquilibrer le rotor.

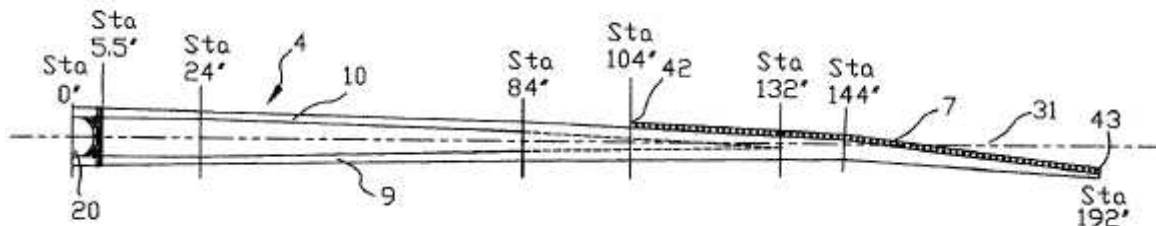


Fig. 9

Fig. 9 – Vue de dessus du rotor avec emplacement des membrures, des différentes coupes et du lest

Une 2e membrure est placée à 3,60m (sta 144) pour renforcer la pale à l'endroit où est coudée.

Le lest placé à partir de 2,60m (sta 104) est constitué d'uranium appauvri ou de tungstène en raison de leur densité très importante. Le coude à partir de 3,60m (sta 144) (entre 3 et 13 degrés) a pour but de réduire les efforts de traction et de compression causées par la force centrifuge sur le lest.

L'axe (31) matérialise l'axe longitudinal de la pale (2) ; le moment de la force causée par la portion de lest (42) à 2,60m (sta 104) est presque totalement équilibré par le moment de la force du lest (43) à 4,80m (sta 192) en prenant comme référence cet axe (31).

De 3,30m (sta 132) à 4,80m (sta 192), l'espar (4) est constitué d'un seul bloc de composite ; la section de l'espar diminue progressivement en réduisant le nombre de fibres constituant les longerons (9,10). L'épaisseur de ces longerons est de 2,5cm (1 inch) de 0 à 0,22m (sta 5,5) puis décroît linéairement jusqu'à 0,575 cm (0,23 inch) en bout de pale à 4,80m (sta 192).

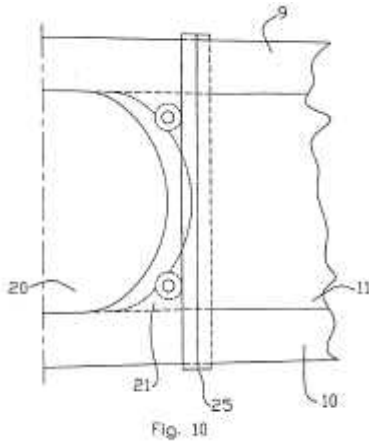


Fig. 10 – Vue de haut du brassard

Le pont (21) en composite réunit autour de l'évidement de rotation (20) les longerons (9, 10) maintenus par des enroulements périphériques (25). Il est renforcé par une toile (11, 12) maillée en croisillon.

Ce pont (21) est percé de 2 trous pour monter le châssis en aluminium (27) porteur de l'axe de battement du rotor (voir Fig. 12).

Les longerons (9, 10) passent dans ce pont sans discontinuité entre les 2 extrémités ; il n'y apparaît donc pas d'efforts de traction ou de compression.

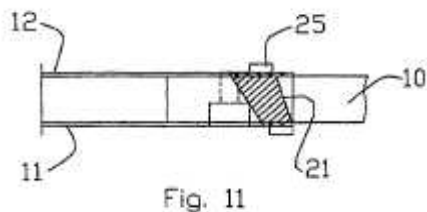


Fig. 11 – Vue en coupe

Le pont (21) réunit autour de l'évidement de rotation (20) les longerons (9, 10). Il est renforcé par une toile (11, 12) maillée en croisillon et par les enroulements périphériques (25).

Ce pont est percé de 2 trous pour monter le châssis en aluminium (27) porteur de l'axe de battement du rotor.

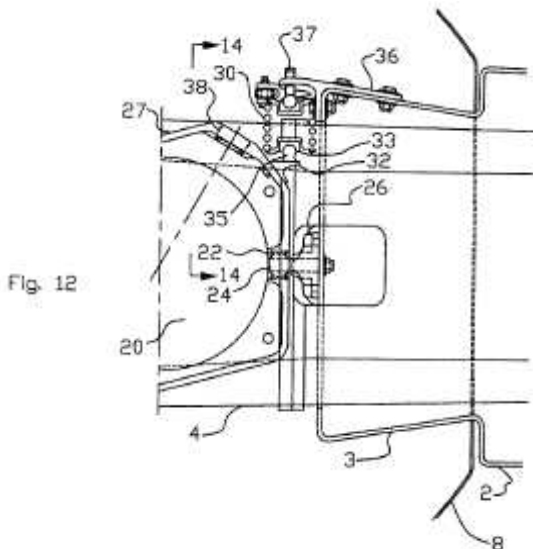


Fig. 12 – Vue de dessus partie centrale du rotor

Trou (20) pour passage de la broche de tête rotor Palier (38) de l'axe de battement du rotor où vient se placer la broche de la tête rotor.

Axe de pivotement (24) du pas collectif de la pale. Commande de pas arrive par un guignol (36, 37) et actionne brassard (3) contenant la coque en composite de pale (2) ; brassard tourne autour du pivot (24) fixé sur châssis en aluminium (27). La bascule autour du pivot (24) est amortie par le ressort (3) de bascule qui prend appui sur l'ergot (32, 35) solidaire du châssis (27).

La force de torsion arrive donc sur la pale (2) solidaire du brassard (3) ; elle est transférée à la membrure médiane (5) solidaire de l'espar (4) à 2,10m (sta 84) ; à cet endroit pale (2), membrure (5) et espar (4) sont solidaire et la déformation en torsion s'arrête.

La commande (37) de pas collectif provoque donc, via le brassard (3), la torsion de l'espar (4) entre 0m et 2,10m ce qui change le pas collectif de la pale (2) dans cette zone sans tordre le reste de la pale. La casserole (8) du rotor permet de donner un profil aérodynamique à la tête rotor.

Fig. 13

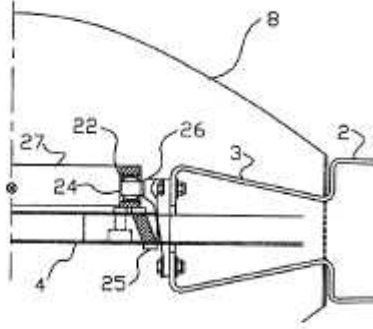


Fig. 13 - Vue de côté de la tête du rotor

Brassard (3) en composite de la pale (2) est le début de la coque en composite de la pale.
Si le pilote met du pas collectif, le brassard (3) tourne autour du pivot (24) et le début de pale (2) peut tourner de quelques centimètres en torsion vers le haut ou vers le bas, sans toucher aux longerons (9, 10) qui sont dans un espace libre en forme de papillon.
Châssis en aluminium (27) de forme sensiblement circulaire avec rebords, boulonné à l'espar (4).

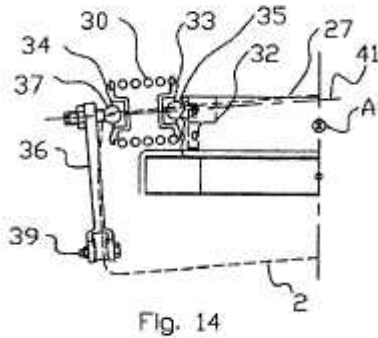


Fig. 14

Fig. 14 – Vue en coupe à hauteur de la tête du brassard (pas collectif à zéro degré)

Position du brassard (3) début de pale (2) indiquée en pointillé par rapport aux longerons (9, 10).
Guignol (34, 35, 36, 37, 39) de commande de pas collectif relié au T sortant de la tête rotor .
Il commande la rotation vers le haut ou le bas du brassard (3) autour de l'axe A (24). Le pas collectif est obtenu par une déformation plus ou moins grande du début de la pale dont la coque en composite n'est pas solidaire de l'espar (4) composé des 2 longerons (9, 10).

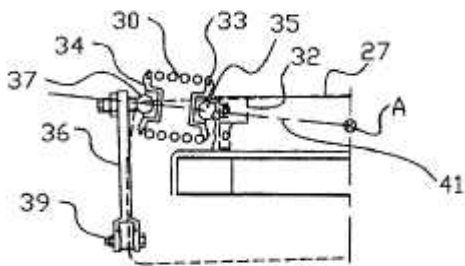


Fig. 15

Fig. 15 - Vue en coupe à hauteur de la tête du brassard (pas collectif à quelques degrés)

Position du brassard (3) début de pale (2) indiquée en pointillé par rapport aux longerons (9, 10).
Châssis en aluminium (27) de forme sensiblement circulaire avec des rebords, boulonné à l'espar (4).
Guignol (36) boulonné par 3 boulons à brassard (3) avec ergot de commande de pas (39) et ressort en bascule (30) prenant appui sur tête (33, 35) du châssis en aluminium (27).

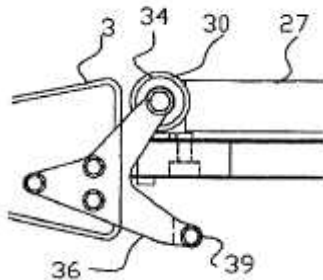


Fig. 16

Fig. 16 – Vue de côté du guignol de commande de pas collectif

Brassard (3) en composite de la pale (2) .
Châssis en aluminium (27) de forme sensiblement circulaire avec rebords, boulonné à l'espar (4).
Guignol (36) boulonné par 3 boulons à brassard (3) avec ergot de commande de pas (39) et ressort en bascule (30) prenant appui sur coupelle (34) pivotant sur tête (37) ; ce ressort prenant appui sur coupelle (33) et tête (35) fixée sur le châssis en aluminium (27) permet de ramène en position neutre la commande de pas collectif.

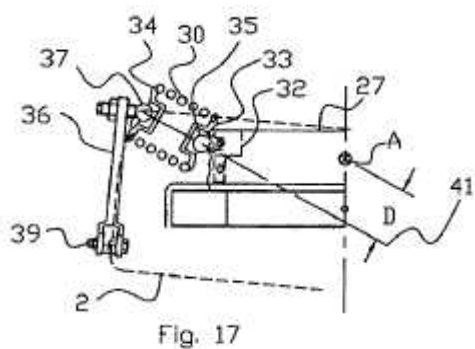


Fig. 17 - Vue en coupe à hauteur de la tête du brassard (pas collectif au maximum)

Position du brassard (3), début de pale (2) indiquée en pointillé par rapport aux longerons (9, 10). Les longerons (9, 10) et la moitié de la pale à partir de 2,10m (sta 84,5) qui en est solidaire - n'ont pas bougé ; par contre, par torsion, un certain pas est apparu sur la pale entre 0 et 2,10m. La bordure intérieure en papillon du brassard de pale (3) est au contact des longerons (9, 10).

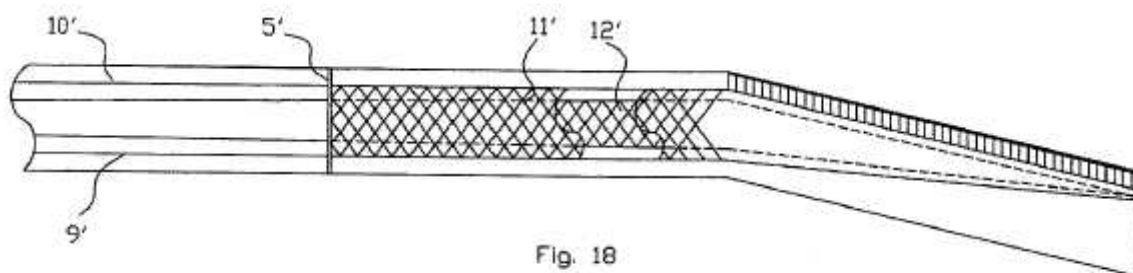


Fig. 18

Fig. 18 – Autre type de rotor – Rotor à corde constante

VOCABULAIRE TECHNIQUE

airfoil	profil aérodynamique, surface portante	Skin	coque
backlash	choc en retour	toggle spring	ressort à bascule
bearing hole	palier	torque tube	tube de torsion
blade cuff	brassard de pale	tensile and compressive loads	efforts de traction et de compression
cross beam rotor	rotor à poutre et croisillons	two-piece mid rib	membrane en 2 moitiés
pitch horn	guignol de pas	upper skin	coque supérieure
pitch change rod	bielle de pas	withstand	résister
rib	membrane		
spar	espar, longeron		
spar caps	semelle de longeron		
span	envergure		
strand	fil		
sweep	écart		