

## **CONTROLE MECANIQUE AUTOMATIQUE DU PAS COLLECTIF ROTOR**

*Traduction et adaptation française à contrôler par « Carter aviation »*

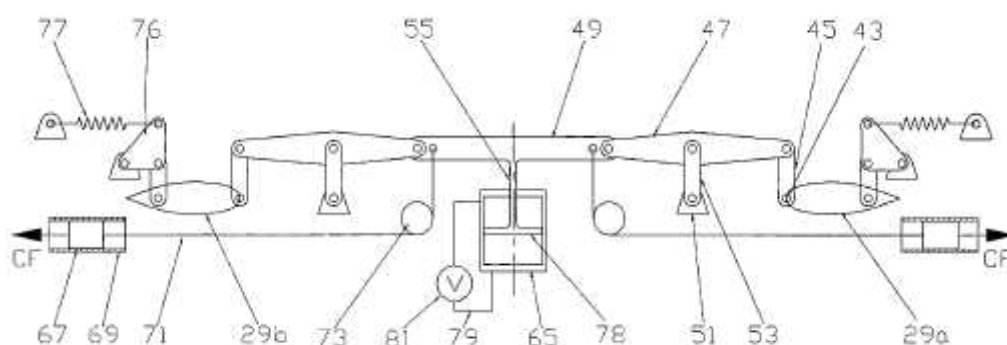
### **RESUME**

Un aéronef à voilure tournante a un fuselage avec des ailes et un rotor. Les pales rotor sont actionnées en torsion autour de l'axe de tangage afin de faire varier le pas collectif.

Un piston de pas collectif descend dans un cylindre sous pression pour augmenter le pas collectif. Des contre-poids reliés aux pales freinent leur rotation en tangage en se déplaçant le long de ces dernières lorsque le pas collectif commence à varier.

Quand la vitesse de rotation du rotor augmente, les contrepoids glissant vers les bouts de pale poussent le piston de pas collectif vers le bas ; ce piston relié mécaniquement aux contre-poids et aux bord d'attaque des pales augmente leur pas collectif ; la vitesse de rotation diminue donc.

Un mécanisme à cames avec ressort, relié mécaniquement au bord de fuite des pales, s'oppose au mouvement du piston vers le bas.



### **Schéma de principe**

Les forces centrifuges appliquées aux contre-poids de pas collectif (67) contrôlent la variation de pas collectif du rotor.

En cas d'augmentation de la vitesse de rotation rotor, les forces centrifuges (CF) tirent les contre-poids de pas collectif (67) vers l'extérieur ; ces contre-poids tirent sur les câbles (71) qui font descendre le bras en T (49) ; ce bras tire vers le haut via les guignols le bord d'attaque des pales ; le pas collectif augmentant, la vitesse de rotation rotor diminue et le contrôle automatique prend fin. Pour permettre le contrôle automatique du pas, la soupape (V) commandant le passage du fluide dans la tubulure de dérivation (79) est ouverte ce qui permet au piston (78) de se déplacer dans le cylindre (65).

Le pilote pré-lance le rotor à 600 RPM (mach 0.8 en bout de pale) avec un pas collectif nul et la soupape V (81) fermée. Pour décoller, il arrête le pré-lancement à 600 RPM puis ouvre soupape V .

Quand l'aéronef vole à 270 km/h (150 mph) et que  $\mu$  (vitesse aéronef  $V_a$  / vitesse du bout de pale  $V_{tip}$ ) est de 0.7, le pas collectif est compris par construction entre 1.5 et -0.5 degrés et reste constant si la vitesse augmente.

Le pilote maintient les tours rotors au niveau minimum fixé par le manuel de vol en agissant sur le basculement du rotor. Le pas minimum à appliquer est choisi pour que le battement des pales reste toujours mécaniquement acceptable ; si les tours rotor passent sous ce minimum, le pilote doit tirer légèrement en arrière le rotor ce qui augmente sa vitesse de rotation.

## DOMAINE TECHNIQUE

L'invention porte sur le rotor d'un aéronef et plus spécialement sur un dispositif pour contrôler automatiquement le pas collectif des pales d'un bout à l'autre du vol :

- décollage sauté grâce à l'énergie cinétique emmagasinée ;
- vol à grande vitesse avec  $\mu$  (vitesse aéronef  $V_a$  / vitesse du bout de pale  $V_{tip}$ ) de 0.7 ;
- approche à basse vitesse, flare et atterrissage avec roulage court ou nul.

## CONTEXTE DE L'INVENTION

L'aéronef concerné est un autogire avec des ailes, un moyen de propulsion différent du rotor et un rotor. Le rotor fournit la plus grande partie de la portance pendant le décollage court ou sauté, le vol à basse vitesse et l'atterrissage alors que les ailes fournissent la plus grande partie de la portance en croisière.

Pour un décollage court ou sauté, le pilote prélanche le rotor à la vitesse prévue ; pendant ce pré-lancement, le pilote garde le pas collectif rotor voisin de 0 degré. Le pas collectif est l'angle d'attaque des pales par rapport au plan de rotation. A 0 degré, les bords d'attaque et de fuite sont dans la plan de rotation. Quand il est prêt à décoller, le pilote arrête d'embrayer le pré-lancement et le rotor tourne alors en auto rotation ; puis il accroît le pas collectif ce qui élève le bord d'attaque au dessus du bord de fuite. Les extrémités du rotor sont lestées pour lui donner une grande inertie ; celle-ci fait tourner le rotor qui peut alors soulever l'aéronef tandis que le moteur de l'hélice le fait avancer.

Le pilote réduit doucement le pas collectif pendant que l'aéronef prend de la vitesse. Il diminue également l'inclinaison arrière du rotor ce qui réduit le flux d'air à travers le rotor et par conséquent sa vitesse de rotation.

A la vitesse de croisière et avec  $\mu$  (vitesse aéronef  $V_a$  / vitesse du bout de pale  $V_{tip}$ ) de 0.7, le pas collectif est en général compris entre 1.5 et 0.5 degrés ; le rotor ne fournit qu'une très petite part de la portance. Le flux d'air à travers le rotor le fait tourner en auto-rotation à un nombre de tours/minute prévu et faible. Pour se poser, le pilote incline le rotor en arrière ce qui accélère sa vitesse de rotation. Le pilote augmente également le pas collectif pour accroître la participation du rotor à la portance.

Piloter un autogire comme décrit ci-dessus impose au pilote de régler le pas collectif à un pas voisin de 0 degré pour pré-lancer, de passer à un pas important pour décoller ou atterrir, puis de passer à un angle compris entre 1.5 et -0.5 degrés en croisière. Cela requiert une certaine dextérité pour régler correctement le pas collectif et être conscient du bon moment pour faire les changements de pas.

## SYNTHESE DE L'INVENTION

L'invention met à la disposition du pilote un système de contrôle automatique du pas collectif rotor. En dehors de la phase de pré-lancement, le pas collectif varie, selon une relation pré-établie, en fonction de la vitesse de rotation des pales.

Le système monté sur le rotor contrôle automatiquement sa rotation et fait varier le pas collectif via un bras. Le système applique une force à ce bras qui varie en fonction des tours/minute et de la force centrifuge créée par le rotor. Un dispositif d'arrêt interdit le déplacement du bras tant que le rotor est en phase de pré-lancement avant le décollage.

Le système se compose de contre-poids de pas collectif qui se coulisent sur des glissières à l'intérieur des pales. Chaque contre-poids se déplace le long de la pale en fonction de la force centrifuge à laquelle il est soumis qui dépend de la vitesse de rotation du rotor. Un câble relie chaque contre-poids au bras d'un T de commande. Le câble tourne sur une poulie intermédiaire et actionne vers le bas le T de commande si le contre-poids auquel il est attaché glisse vers l'extérieur.

Un ressort de rappel lié au bord de fuite de la pale équilibre l'action du T de commande sur le bord d'attaque.

## DESCRIPTION DES DESSINS ET EXPOSE DE L'INVENTION

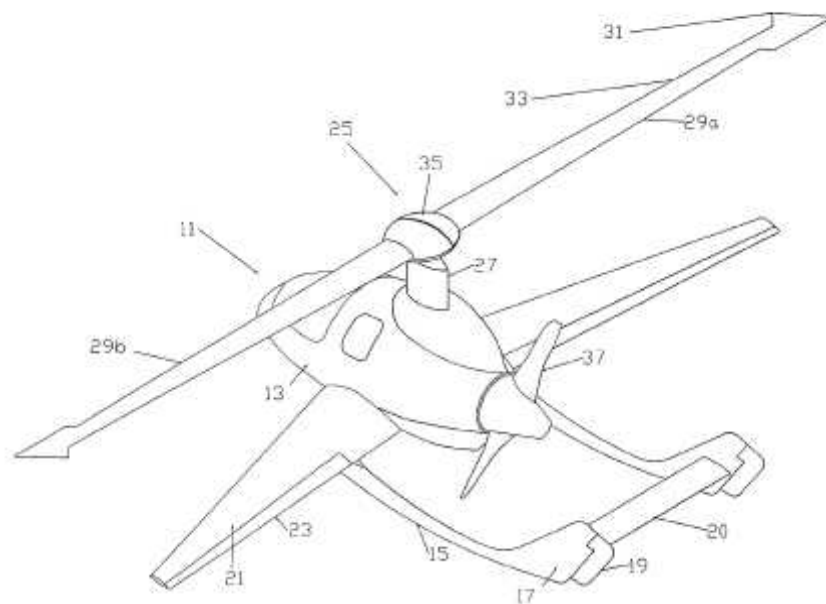


Figure 1

**Fig. 1 – Vue en perspective de l'aéronef avec rotor et ailes**

Autogire avec fuselage (13), poutres (15) de queue, dérive (17), gouvernail (19), gouverne de profondeur (20), ailes (21), ailerons (23), rotor (25), mât (27), pales (29), lest bout de pale (31), demi casserole (35), hélice propulsive (37).

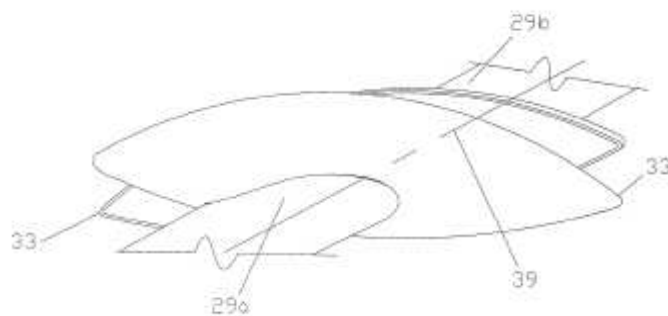


Figure 2

**Fig. 2 – Schéma pales - Application de pas collectif via l'espar (41) soumis à torsion**

Pales (29a, 29b) tournent l'une par rapport à l'autre autour axe tangage (39). Bords de fuite (33) des pales sont présentés ici en position basse, pas collectif au maximum pour un décollage sauté .

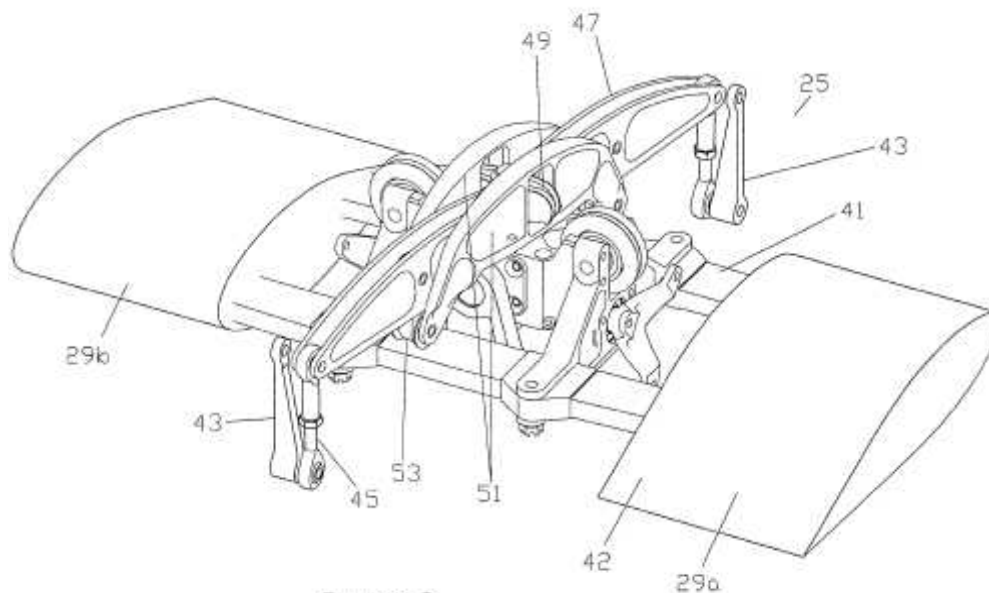


Figure 3

### Fig. 3 – Système de contrôle automatique du pas collectif

Les pales (29a, 29b) sont constituées de deux longerons (41) solidaires l'un et l'autre à partir du milieu de la pale d'une coque couvrant toute la pale. Ces longerons sont constitués de fibres à haute résistance disposées longitudinalement dans une matrice en matériau composite ; chacune de ces fibres va d'un bout à l'autre des longerons contenus dans les pales. Ces longerons séparés dans leur partie centrale se rejoignent aux extrémités. Chaque revêtement de pale (42) est jointif de la demi casserole (35 sur Fig.1).

Chaque rosignol de pas collectif (43) est situé devant le bord d'attaque ; lorsque ce rosignol monte, il entraîne vers le haut les bords d'attaque des revêtements (42a, 42b) ce qui provoque la torsion des pales (29a, 29b) autour de l'axe (39 Fig.2) ; les longerons (41) n'étant solidaires de chaque revêtements (42a, 42b) de pale qu'à mi-pale ne bougent pratiquement pas.

Les rosignols de pas collectif (43) sont liés en pivotement à des biellettes de pas (45) reliées à des bras de liaison (47).

Ces bras de liaison (47) pivotent vers le haut ou vers le bas sur des bras intermédiaires (53) jouant le rôle de points fixes solidaires des bras relais (51) fixés sur le châssis portant les longerons ; ces bras de liaison (47) sont commandés par des articulations fixées de part et d'autre du bras en T (49) .

Le bras en T (49) fixé sur la tige du piston (55 Fig.4), peut monter ou descendre avec la vanne hydraulique (V Schéma de principe) commandant le pas collectif ; il se déplace librement à l'intérieur des bras relais (51) fixés sur le châssis portant les longerons (41).

Le châssis rendant solidaires les longerons (41) du rotor porte également les paliers de l'axe de battement du rotor - voir palier sous bras relais (51) - et les cames portant les câbles reliés aux contre-poids de pas collectif (Schéma de principe 67) – voir à gauche et à droite du bras en T (49).

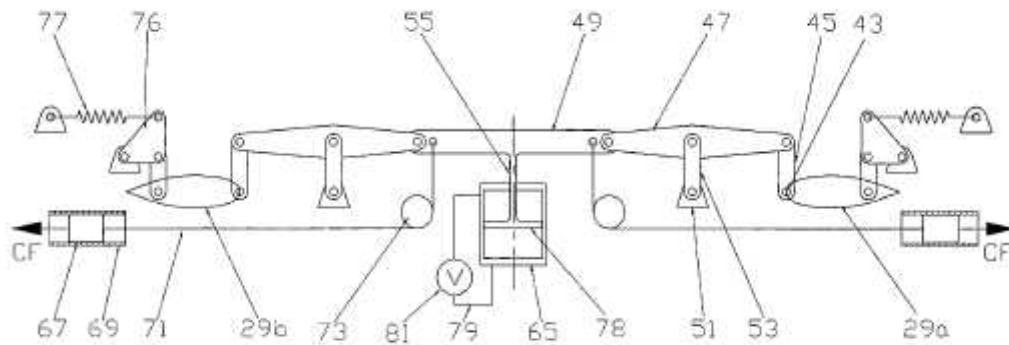


Fig. 4 - Schéma du contrôle mécanique automatique du pas collectif du rotor

Le cylindre hydraulique (65) contient un fluide qui résiste au mouvement du piston (78) ; si le piston ne peut pas bouger, il en est de même de la tige (55) et du bras (49) et le pas collectif est bloqué dans une position déterminée.

Le réglage de la tension des ressorts (77) permet de donner aux pales une position pré réglée correspondant au pas collectif 0 degré.

Une soupape (V) commande le passage du fluide dans la tubulure de dérivation (79) dont la section limite le passage du flux ; cette valve permet donc au pilote de **commander manuellement** le pas collectif.

Le **contrôle mécanique automatique** du pas collectif du rotor s'effectue par l'intermédiaire de la force centrifuge (CF) qui s'exerce sur les contre-poids de pas collectif (67) liés au bras en T (49).

En cas d'augmentation de la vitesse de rotation rotor, les forces centrifuges (CF) tirent les contre-poids de pas collectif (67) vers l'extérieur ; ces contre-poids tirent sur les câbles (71) qui font descendre le bras en T (49) ; ce bras tire vers le haut via les guignols le bord d'attaque des pales ; le pas collectif augmentant, la vitesse de rotation rotor diminue et le contrôle automatique prend fin.

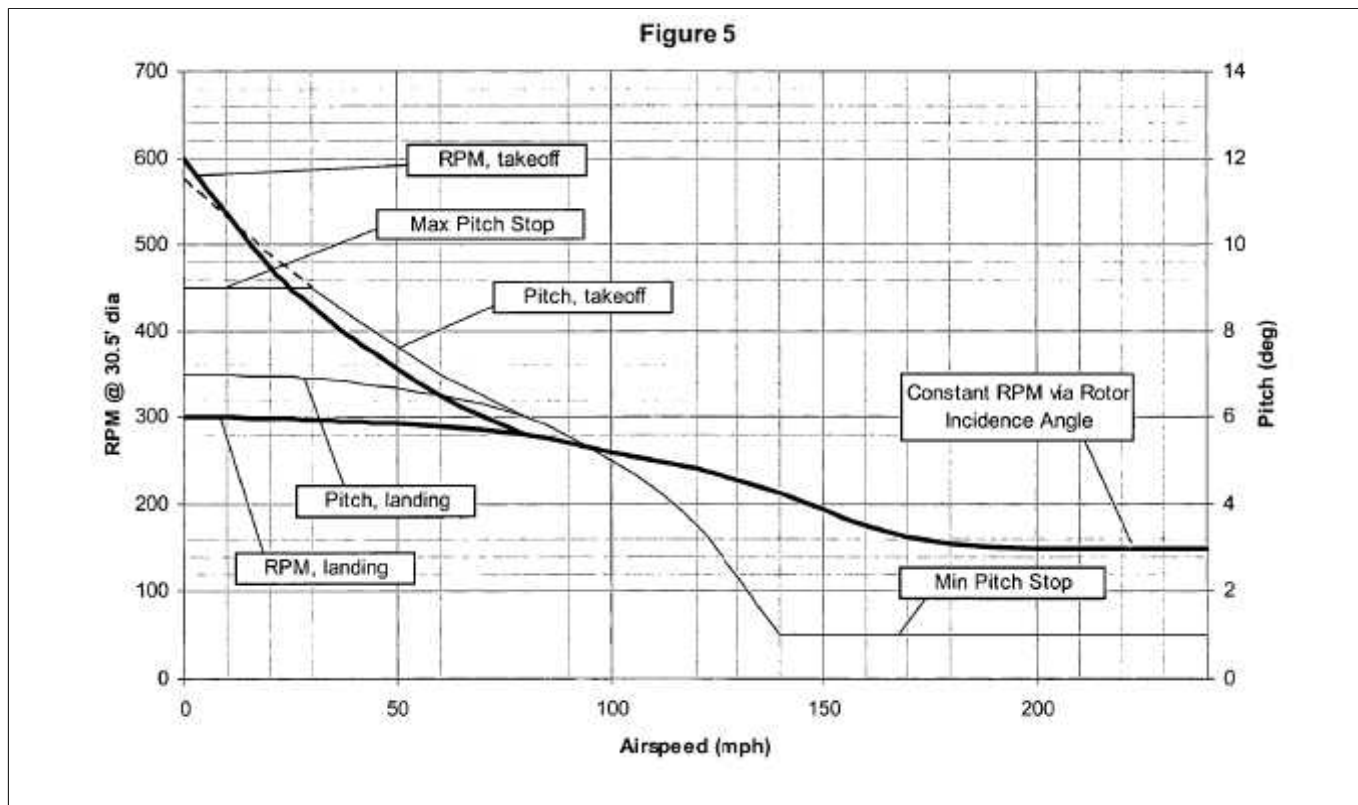


Fig. 5 – Diagramme « Degré de pas fonction de la vitesse de translation en mph » (courbe trait fin)  
 Diagramme « RPM fonction de la vitesse de translation en mph » (courbe trait gras)

Ces diagrammes donnent **RPM** et *pas* ° en fonction de la vitesse de l'aéronef en **mph** dans les phases :

- **Pré-lancement** (0 mph / 600 RPM) et (0 mph / 0°) ;
- **Décollage sauté et début d'avancement** (10 mph / 550 RPM) et (10 mph / 9°) ;
- **Vol à  $\mu > 0.7$**  (200 mph / 150 RPM) et (200 mph / 3°) ;
- **Atterrissage** (30 mph / 300 RPM) et (30 mph / 7°).

**Pré-lancement** : La valve (V) est fermée ; le pas collectif est à 0 degré : les contre-poids emmagasinent de l'énergie cinétique mais ne bougent pas le long des pales ; le pilote pré-lance jusqu'à 600 RPM.

**Décollage sauté et début d'avancement** : Le pilote arrête le pré-lancement à 600 RPM puis ouvre la valve (V) . Cette ouverture de la valve libère la force centrifuge accumulée dans les contre-poids ; le bras en T (49) s'abaisse ; le pas rotor augmente de 0° à 6° et l'autogire commence à se sustenter puis continue à augmenter graduellement jusque vers 9° (butée mécanique). L'autogire saute, La portance du rotor étant alors supérieure au poids de l'autogire, l'autogire saute en l'air.

Comme le pilote a arrêté le pré-lancement du rotor, toute la puissance moteur est communiquée à l'hélice propulsive ce qui fait avancer l'aéronef .

En fin de saut, le rotor peut être légèrement incliné vers l'avant pour donner à la portance une légère composante avant et participer au lancement de l'aéronef en avant ; une fois l'aéronef mis en mouvement vers l'avant, le rotor est mis au neutre ; il est ensuite incliné en arrière pour alimenter en vent relatif le rotor et le faire passer en auto-rotation .

L'aéronef accélère, les ailes commencent à assurer la portance et la vitesse de rotation du rotor baisse.

**Vol à  $\mu > 0.7$**  : Le pas collectif est réglé pour éviter des battements du rotor et réduire sa traînée.

**Atterrissage** : Le pilote réduit les gaz et incline en arrière le rotor pour l'accélérer via le vent relatif ; le contrôle automatique du pas augmente ce dernier en même temps que les forces centrifuges augmentent ; la portance due au rotor augmente et la vitesse de l'aéronef diminue ; le rotor se comporte à partir d'une certaine inclinaison comme un parachute ; un train d'atterrissage spécial absorbe l'énergie résiduelle au poser.

## VOCABULAIRE TECHNIQUE

bell crank cam	came à levier coudé	tail booms	poutres de queue
collective pitch shaft	piston de pas collectif	vertical stabilizer	dérive
fibers in a composite matrix	fibres noyées dans une matrice composite		
fulcrum	point d'appui		
pitch horn	rossignol de pas collectif		
pitch link	bielle de pas		
rudder	gouvernail		