

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur**  
**Et de la Recherche Scientifique**

**Université de SAAD DAHLEB**  
**Institut D'aéronautique**



## *Projet de fin d'études*

**En vue de l'obtention d'un D.E.U.A en aéronautique**  
**Option : structure**

**Thème:**

**Les commandes de vol d'un hélicoptère**

Propose par :  
Mr kirad Abdelkader

Présenté par:  
Mr merrouche boubaker

**Promotion 2003**

# Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail :*

- *À mon très cher père ;*
- *À ma très chère mère ;*
- *À mes frères et sœurs qui m'ont encouragé depuis mon enfance ;*
- *À mes adorables cousins et cousines ;*
- *À toute ma famille ;*
- *À mes amis (particulièrement Hachemi et Nazih ) et collègues*
- *À toute personne qui aura le plaisir de consulter ce mémoire*

*Boubaker Merrouche*



# Remerciement

الحمد لله رب العالمين، الرحمان الرحيم

*Je remercie tout d'abord mon promoteur Mr. Kirad pour son aide et ses précieux conseils.*

*Je remercie les membres de jury d'avoir accepter d'examiner ce travail.*

*Mes remerciements vont également à mes amis qui ont contribués de près ou de loin à l'élaborations de cette étude en particuliers (El hachemi et Younes).*

## ملخص

الهدف من مدة المذكورة هو إعطاء دراسة وصفية على جهاز تحكم الطيران للطائرة المروحية ومنه أخذ فكرة على عناصره التكوينية مع الأخذ بعين الإعتبار شرح وظيفته ودور كل عنصر.

علما أن هذا الجهاز يعتبر جد هام في الطائرة المروحية ولهذا نجد بأن التطور التكنولوجي أعطى أهمية قصوى لهذا الجهاز.

## **RESUME**

Le but de ce travail est, de faire une étude descriptive sur les commandes de vol de l'hélicoptère. D'où d'avoir un idée sur les différents composants constutifs, en tenant compte l'explication de rôle et de fonctionnement de chaque élément.

Sachant que le dispositif des commandes de vol considéré comme un élément très important dans l'hélicoptère, pour cela on trouve que le développement technologique à donner une importance considérable à cet organe.

## **SUMMARY**

The goal of this work is, to make a descriptive study on the orders of flight of the helicopter. Of or to have an idea on the various components constituting, by holding account the explanation of role and operation of each element.

Knowing that the device of the orders of flight considered as a very significant element in the helicopter, for that one finds that the technological development to give a considerable importance to this body.

# SOMMAIRE

## INTRODUCTION

<b>Chapitre I</b> .....	généralité sur le rotor....	
I-1- introduction.....		2
I-2- les constituants du rotor principal.....		2
I-2-1- le moyeu.....		2
I-2-1-1- les différents moyeux d'hélicoptère.....		2
I-2-1-1-1- Moyeux articulés.....		2
I-2-1-1-2- Moyeux en balancier.....		2
I-2-1-1-3- Moyeux oscillants.....		4
I-2-1-1-4- Moyeux rigides.....		4
I-2-2- les pales.....		4
I-2-2-1- forme en plan .....		4
I-2-2-2- différents type de pale d'hélicoptère.....		4
I-2-2-3- caractéristiques sur les pales .....		6
➤ La corde .....		6
➤ L'angle d'incidence .....		6
➤ L'angle de pas.....		6
➤ Vrillage de la pale.....		6
➤ Forces appliquées à une pale .....		6
I-3- les trois axes d'articulation du rotor .....		7
I-3-1- d'axe de variation de pas .....		7
I-3-2- l'axe de battement vertical.....		7
I-3-3- l'axe d'articulation traînée.....		7
I-4- le pilotage et les mouvements de l'hélicoptère.....		9
I-4-1- généralité .....		9
I-4-1-1- plan de référence.....		9
I-4-1-2- axes d'inertie.....		9
I-4-1-2-1- axes de roulis .....		9
I-4-1-2-2- axes de tangage .....		9
I-4-1-2-3- axes de lacet .....		10
I-4-1-3- référence de position .....		10
I-4-1-3-1- l'inclinaison.....		10
I-4-1-3-2- assiette .....		11
I-4-1-3-3- cadence .....		12
I-4-2- le contrôle de la portance en intensité .....		12
I-4-3- le contrôle de la portance en direction.....		14
I-4-3-1- introduction.....		14
I-4-3-2- le principe de la variation cyclique du pas.....		14
I-4-3-3- la variation cyclique de pas .....		14

1-4-3-4- les effets de la variation cyclique du pas.....	15
a) Battement de la pale .....	15
b) Basculement du plan de rotation .....	15
c) La conservation de l'intensité de la portance .....	15
1-4-4- équilibre de l'appareil au vol stabilisé .....	17
1-4-4-1- équilibre longitudinal .....	17
1-4-4-2- équilibre de lacet .....	17
1-4-4-3- équilibre latéral.....	19
1-4-5- déplacement d'hélicoptère .....	20

## Chapitre II..... représentation des commandes de vol

II-1- généralité.....	21
II-2- la commande cyclique de pas.....	21
II-2-1- définition .....	21
II-2-2- composition .....	21
II-2-2-1 le coulisseau .....	21
II-2-2-1-1- la partie supérieure du coulisseau.....	21
II-2-2-1-2- la partie moyenne du coulisseau.....	21
II-2-2-1-3- la partie inférieure du coulisseau.....	21
II-2-2-2- le plateau cyclique.....	23
II-2-2-3- la tringle de pale.....	23
II-2-2-4- l'entraîneur de plateau.....	23
II-3- commande à main.....	24
II-3-1- le manche a balai.....	24
II-3-1-1- représentation.....	24
II-3-1-2- le montage de manche a balai .....	26
II-3-1-3- les débattements du manche a balai.....	26
II-3-2- le système de débrayage du pilote automatique .....	28
II-3-2-1- généralité .....	28
II-3-2-2- le montage du système à minirupteurs .....	28
II-3-2-3- fonctionnement.....	28
II-3-3- les servomoteurs.....	30
II-3-3-1- généralité .....	30
II-3-3-2- description.....	30
II-3-3-3- fonctionnement.....	32
II-4- les commandes par pédales.....	33
II-4-1- le palonnier de direction.....	33
II-5- commandes des mécanismes de sensation artificielle.....	35
II-5-1- le rôle.....	35
II-5-2- la composition de mécanisme de sensation artificielle... ..	35
II-5-3- la fonctionnement de mécanisme.....	36
II-5-4- le montage des mécanismes.....	38

II-5-5- la compensation des efforts.....	38
II-6- commandes de pas collectifs du rotor sustentateur et de gaz.. normal du moteur.....	40
II-6-1- généralité.....	40
II-6-2- levier de commande gaze-pas.....	40
II-6-2-1- composition .....	40
II-6-2-1-1- l'arbre de levier.....	40
II-6-2-1-2- le secteur denté .....	42
II-6-2-1-3- un poigné .....	42
II-7- commande du frein du rotor sustentateur.....	44
II-7-1- définition.....	44
II-7-2- composition .....	44

### **Chapitre III..... fonctionnement des commandes de vol**

III-1- introduction.....	47
III-2- commande à main.....	47
III-2-1- généralité.....	47
III-2-2- le fonctionnement de commande à main.....	47
III-3- les commandes par pédales .....	49
III-3-1- introduction .....	49
III-3-2- fonctionnement du palonnier .....	49
III-3-3- fonctionnement des rotors anticouple .....	51
III-4- commande de pas collectifs .....	52
III-4-1- fonctionnement .....	52
III-4-2- commande a gaz normal .....	53
III-4-3- mécanisme à came .....	54
III-5- commande de stabilisateur .....	56
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>57</b>

### **bibliographie**

## INTRODUCTION

L'amélioration des performances de vitesse, de charge et de distance franchissable des avions s'est accompagnée, au cours de leurs développements d'une augmentation des longueurs de piste nécessaire à leur décollage et à leur atterrissage. L'idée s'est donc imposée d'orienter les recherches aéronautiques dans la voie du décollage et de l'atterrissage sur place ou sur une piste très courte.

L'usage a consacré les sigles anglo-saxons de VTOL (Vertical Take-Off and Landing - décollage et atterrissage vertical, A.D.A.V) et STOL (Short Take-Off and Landing - décollage et atterrissage court, A.D.A.C), pour des appareils pouvant répondre à ces exigences.

Celle l'hélicoptère, aéronef à voilure tournante, s'est imposé à atteint de stade de l'utilisation pratique.

La technique de l'hélicoptère a naturellement évolué selon un processus analogue à celui des autres industries humaines. Si l'on pouvait tracer une courbe représentative de ses progrès en fonction du temps on obtiendrait une courbe voisine de l'exponentielle.

Si l'on considère comme origine de cette évolution l'apparition des premiers jouets à hélice en Chine avant l'ère chrétienne, il faut admettre que le privilège d'avoir mis sur le papier la première fois un projet de machine volante tirant sa sustentation d'une hélice revient à Léonard de Vinci vers 1480.

En avril 1784, LAUNAY et BIENVENU firent voler devant l'académie des sciences un modèle réduit constitué par deux hélices quadripôles cotra-rotatives mues par un moteur à arc. Cet appareil fut repris par de nombreux constructeurs (CAYLEY en avril 1796, DUBOCHET en 1834, PENAUD en 1870).

Le premier décollage d'un hélicoptère a été effectué avec son pilote (PAUL CORNU le 13 novembre 1907 où Louis BREGUET en Août 1907). Le premier kilomètre en circuit fermé, homologué par la fédération Aéronautique internationale date de 24 mai 1924 (Etienne OEMICHEN à Valentigney sur son hélicoptère N°2 à 25 km/h de vitesse moyenne).

Environ quarante ans après un hélicoptère pur (SA 321 dépasse 350km/h).

Le premier record d'altitude n'était que de 18 m en 1930 c'est l'hélicoptère de Corradino d'ASCANIO en Italie. Dès 1958 une Alouette atteignait presque 11000 m (record toujours imbattu ). De même la distance en ligne droite est passée de 1 à 2000 km de 1930 à 1968. c'est la guerre de 1939 qui a favorisé la mise en série des premiers hélicoptères.

D'après qu'ont avez vue sur l'évolution de l'hélicoptère et parmi ces évolutions, l'évolution dans le domaine des qualités de vol de l'hélicoptère et donc, dans les commandes de vol.

C'est la raison pour laquelle, cette étude lui sera consacré comme le thème de ce mémoire. les commandes de vol de l'hélicoptère est un sujet vaste nous l'avons divisé en trois chapitres pour l'étudier

- Le premier chapitre est une étude général sur le vol.
- Le deuxième chapitre est une représentation des commandes de vol.
- Le dernier chapitre parle sur le fonctionnement des commandes de vol.

Cette recherche est achevée par une conclusion général.

# Chapitre I

## Généralité sur le rotor

### 1.1- Introduction :

Etant le constituant principal de l'hélicoptère, le rotor assure la sustentation et il est à l'origine de toute translation. Il comporte essentiellement (Figure I.1) :

- Un MAT sur lequel sont fixés le MOYEU et les PALES.
- Un MOYEU qui assure la liaison entre le MAT et les PLAES.
- Un certains nombre de PALES, qui une fois mise en rotation, créent des forces de portance nécessaire à la sustentation.

Le montage des pales sur le moyeu se fait par l'intermédiaire de plusieurs articulations donnant à la pale des degrés de liberté qui lui permettent d'avoir des mouvements aux tours de ces articulations.

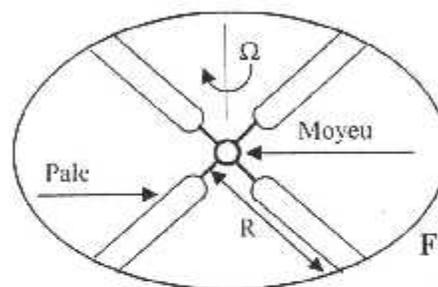


Figure I.1 : Rotor principal

### 1.2- Les constituants du rotor principal :

#### 1.2.1- Le moyeu :

Le moyeu est la pièce mécanique qui supporte les pales et leur assure la liberté nécessaire en rotation, battement, traînée et variation de pas. Par conception le moyeu relie les pales au fuselage et assure la commande du giravion. C'est un élément mécanique travaillant dans des conditions difficiles, mais d'une conception et d'une réalisation très classique ne posant généralement pas du problème mécanique particulier.

#### 1.2.1.1- Les différents moyeux d'hélicoptère :

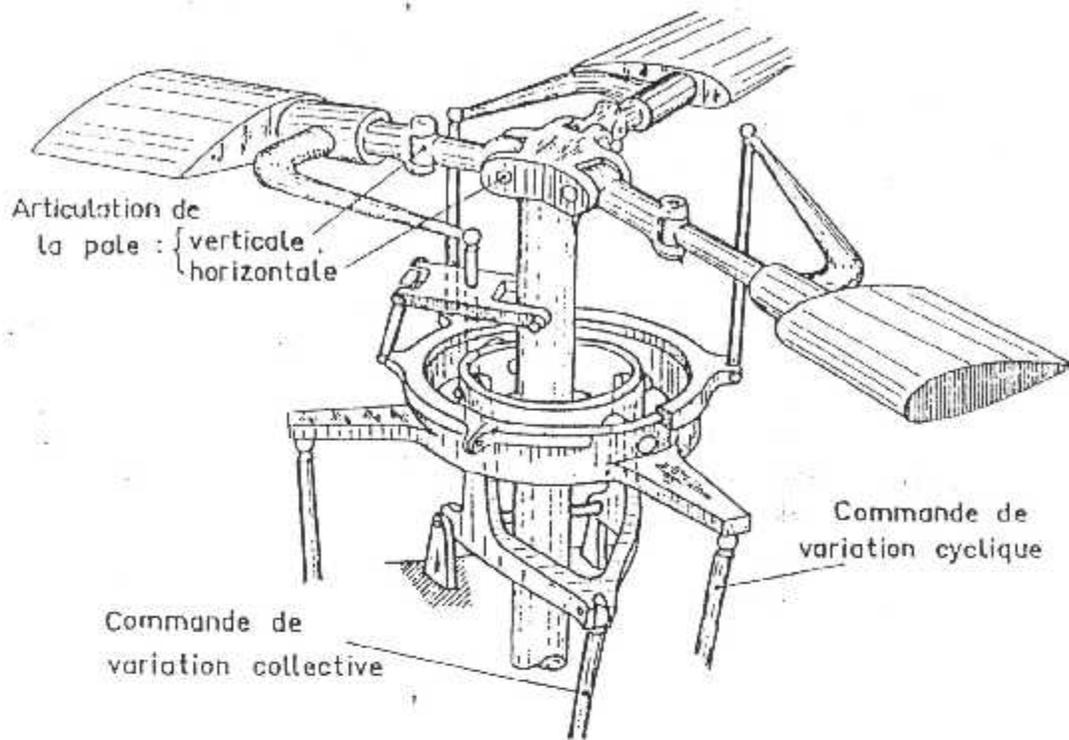
Selon la liaison entre les moyeux et les pales, les moyeux sont classés en quatre catégories principales (les moyeux articulés, les moyeux en balancier, les moyeux oscillants, et les moyeux rigides).

##### 1.2.1.1.1- Moyeux articulés : (figure I.2)

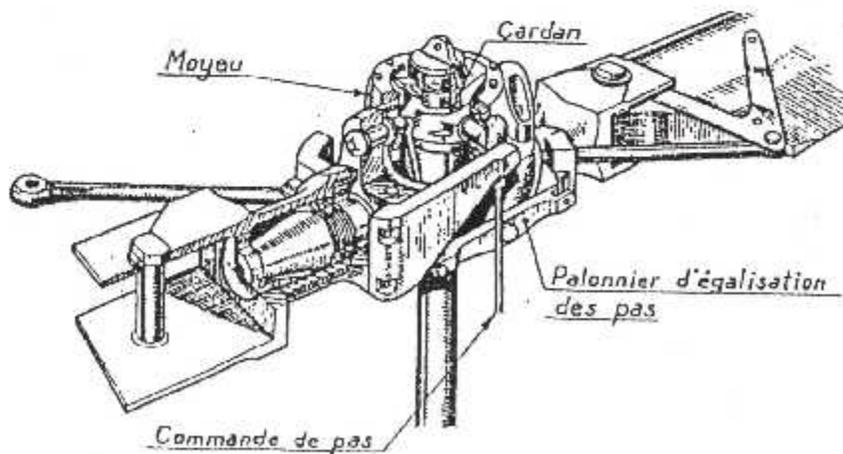
Le moyeu articulé est le plus répandu car il est le plus mécanique. il permet grâce à ses articulations de battement et de traînée et de laisser à la pale l'entière liberté de ses mouvements.

##### 1.2.1.1.2- Moyeux en balancier : (figure I.3)

Dans ce type de moyeu, les pales sont montées sur leur axe de variation de pas, le battement reste possible mais à l'unité, une ne peut monter que si l'autre descend de la même valeur.



Fig(I.3) - Moyeu articulé (SARO SKEETER)



Fig(I.3) MOYEU EN BALANCE

### **I.2.1.1.3- Moyeux oscillants :**

Les moyeux oscillants ou moyeux flottants permettent la suppression des articulations de traînée en laissant le moyeu libre d'osciller pour se déplacer dans le plan des pales.

### **I.2.1.1.4- Moyeux rigides :**

Ces pales sont montées sur un moyeu compact en titane ne disposant pas d'articulation en traînée et battement mais assurant la variation de pas par l'intermédiaire de biellettes de pas et d'un plateau cyclique.

## **I.2.2- Les pales :**

Les pales sont des éléments nobles par excellence et le symbole de l'hélicoptère dont dépendent bien souvent les performances, le confort par le niveau vibratoire et quelque fois sonores, la sécurité (phénomène instable rupture) et la rentabilité. Le choix du nombre de pales est déjà plus libre, il dépend essentiellement des programmes de l'appareil.

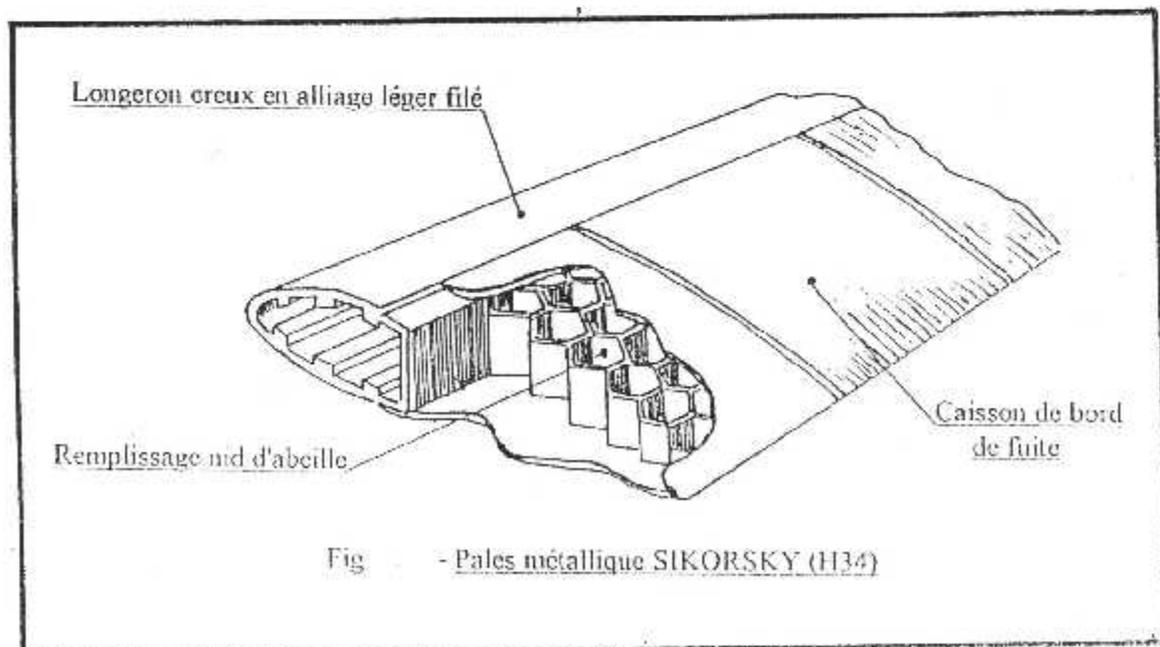
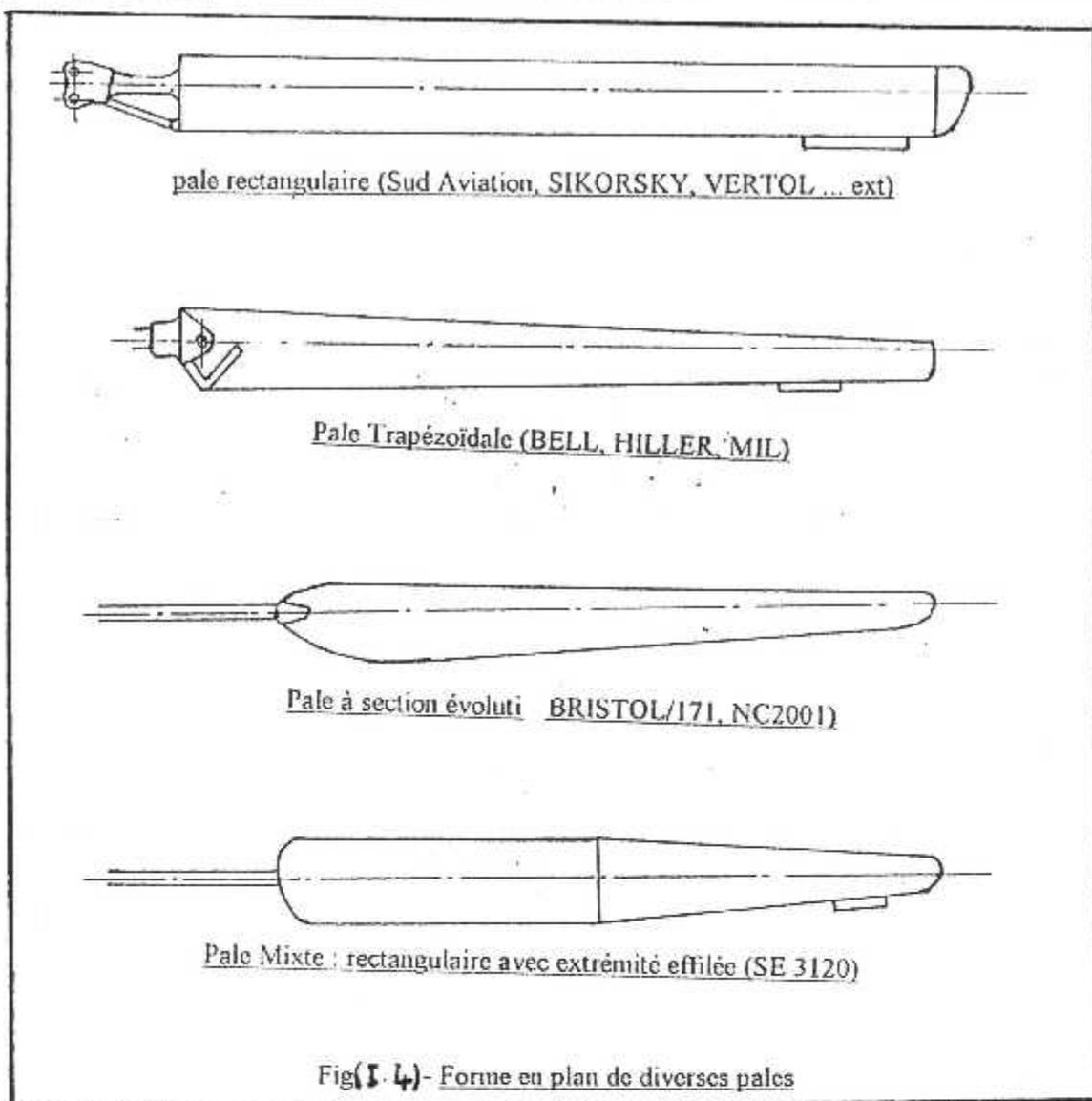
Un hélicoptère léger et touristique aura presque naturellement deux pales, un appareil moyen et presque toujours tri ou quadripale et les très gros appareils sont de 5 à 6 pales par rotor.

### **I.2.2.1- Forme en plan : (figure 1.4)**

La forme en plan peut diffère notablement selon les appareils : Pales rectangulaires, trapézoïdales, elliptiques ou forme plus compliquée.

### **I.2.2.2- Différents types de pale d'hélicoptères :**

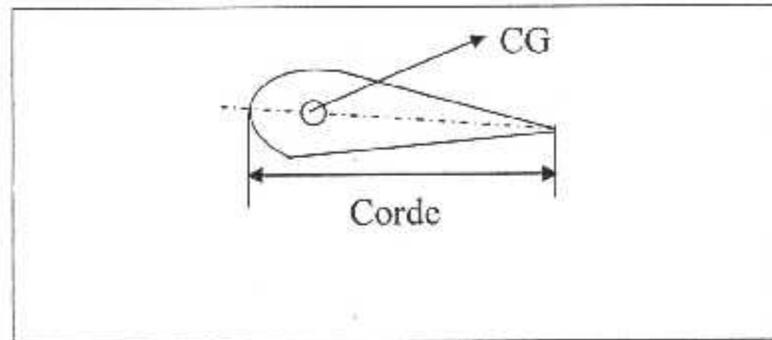
- Pales en bois.
- Pales pleines.
- Pales en caisson.
- Pales mixtes bois et métal.
- Pales métalliques.
- Pales métallos plastique.
- Pales en plastique.



### I.2.2.3- Caractéristiques sur les pales :

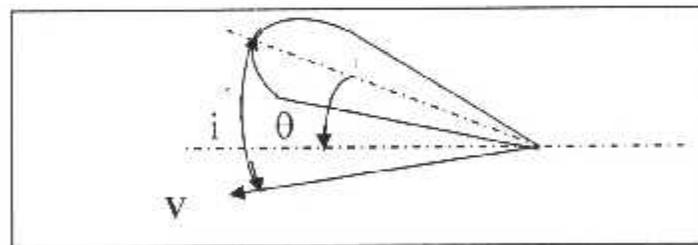
La pale est caractérisée comme l'aile d'avion par un profil qu'est définie par :

- La corde de référence (droite joignant le bord d'attaque au bord de fuite).



**Figure I.6 : la corde de référence.**

- L'angle d'incidence ( $i$ ) :  
Angle compris entre la direction de la corde de référence et la direction de la vitesse résultante.
- L'angle de pas  $\theta$  :  
Angle compris entre la direction de la corde de référence et un plan perpendiculaire à l'axe de rotation.

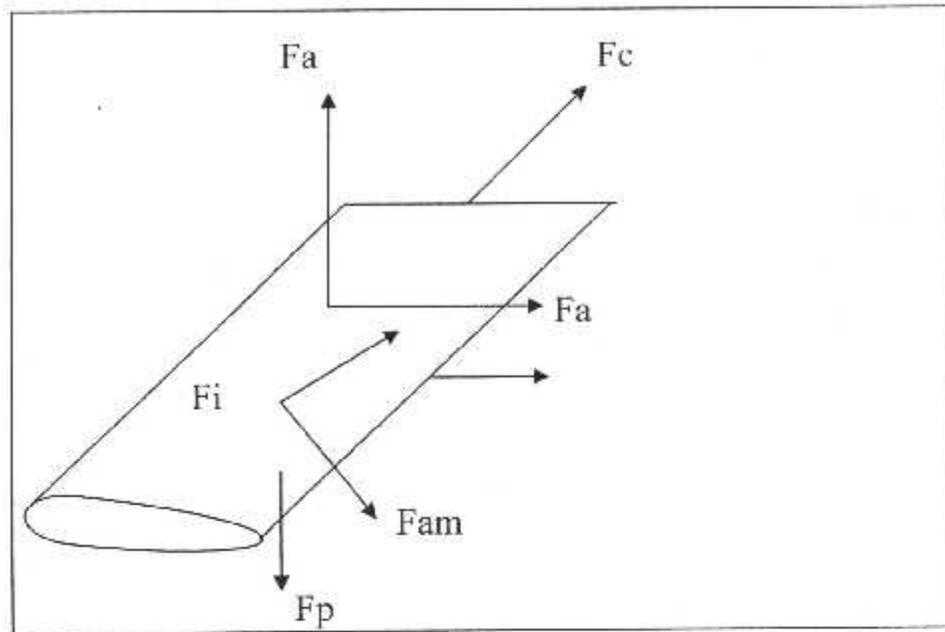


**Forme I.7 : L'angle d'incidence et de pas.**

L'angle d'incidence et le pas peuvent avoir la même valeur en un instant donné si la vitesse résultante est contenue dans le plan perpendiculaire à l'axe de rotation.

- Vrillage de la pale :  
Les pales sont plus ou moins vrillées afin d'avoir en régime normal un pas sensiblement constant sur toute leur longueur. Ceci afin d'améliorer le rendement en vol stationnaire comme en vol à grande vitesse. Le vrillage est de l'ordre de 6 à 12°.

- Forces appliquées à une pale :



**Figure I. 8 : Les forces appliquées à une pale.**

- ✓ Effort aérodynamique  $F_a$  : (Résultant de sa vitesse par rapport à l'air).
- ✓ Effort centrifuge  $F_c$  : (Du à sa rotation).
- ✓ Effort d'amortissement aérodynamique  $F_{am}$  : (Freinage Résultant des mouvements de battement de la pale).
- ✓ Effort d'inertie  $F_i$  : (Opposé à tout déplacement).
- ✓ Effort massique  $F_p$  résultant de la gravité.

### I.3- Les trois axes d'articulations du rotor : (figure I.9)

#### I.3.1- L'axe de variation de pas :

Quand les pales tournent à vitesse angulaire constante, la portance de l'appareil est créée par la variation de l'incidence des pales qui est pilotée directement en effet, chacune des pales dans son ensemble doit pouvoir être soumise à une rotation autour d'un axe parallèle au bord d'attaque de la pale cet axe est l'axe de variation de pas.

#### I.3.2- L'axe de battement vertical :

Les pales sont articulées autour d'un axe perpendiculaire à l'arbre d'entraînement cette articulation est dite articulation de battement verticale.

#### I.3.3- L'axe d'articulation traînée :

La nécessité des articulations de trois née résulte essentiellement de la possibilité créée par les axes de battement qui permettent d'obtenir un plan de rotation des pales différent du plan perpendiculaire à l'arbre d'entraînement.

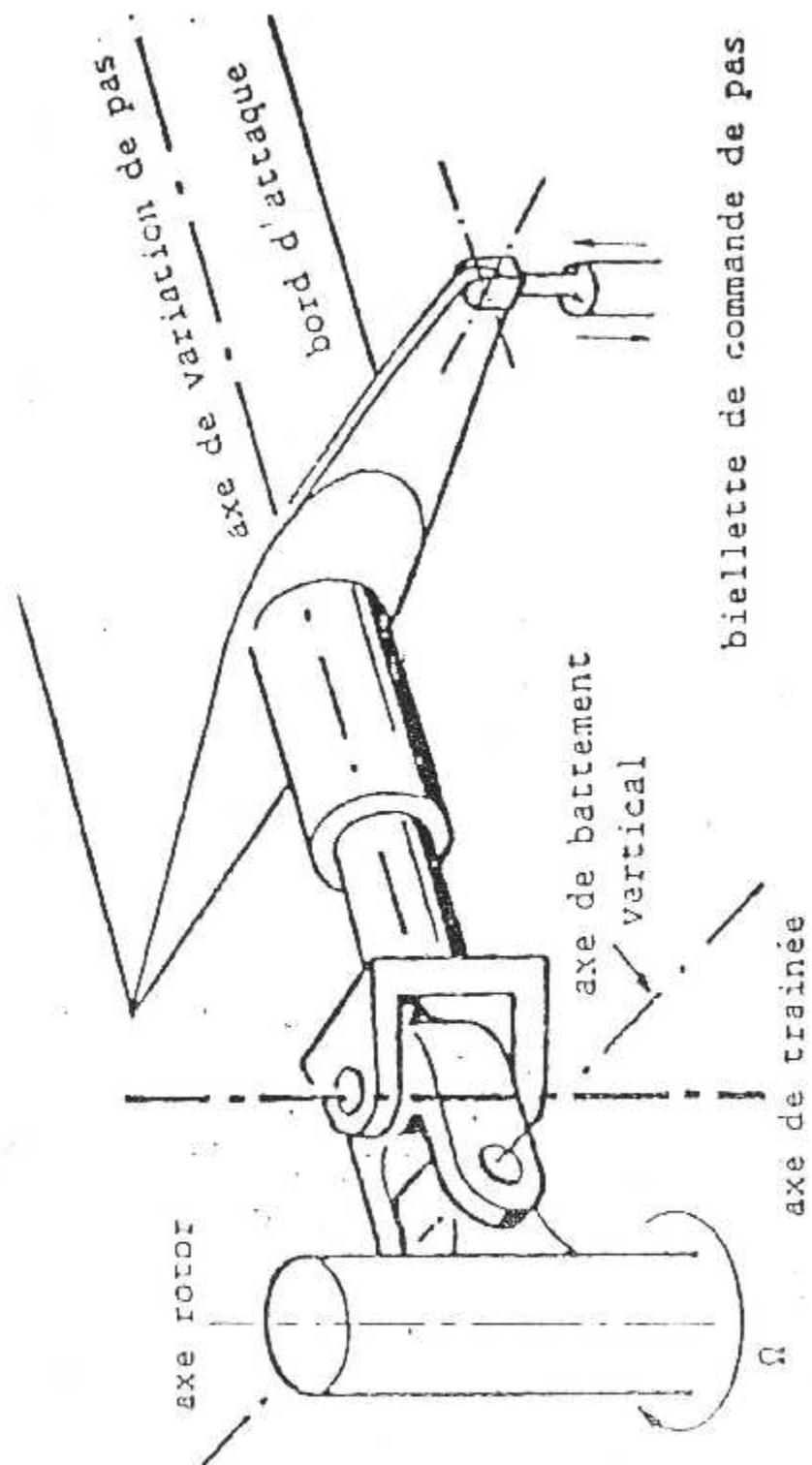


Fig (I.3) LES AXES d'oscillations

## 1.4- Le pilotage et les mouvements de l'hélicoptère :

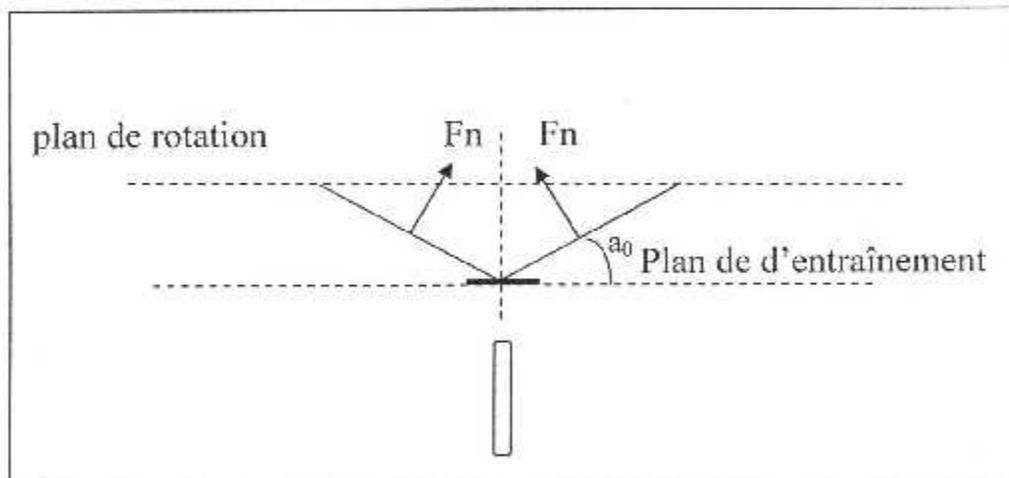
### 1.4.1- Généralités :

#### 1.4.1.1- Plan de références : (figure I.10)

Il est possible d'étudier le comportement général du rotor par rapport à des plans de référence choisis arbitrairement.

- Plan d'entraînement : il est particulièrement intéressant, car il est lié à un élément structural de l'hélicoptère qu'il est facile de se représenter dans l'espace en l'occurrence le mât. Par définition, ce plan sera perpendiculaire au mât.
- Plan de rotation : munies des articulations qui viennent d'être définies, les pales décrivent un cône très ouvert. On appelle plan de rotation.

*N.B* : Rappelons enfin que l'angle  $a_0$  formé par l'axe d'envergure de la pale et le plan d'entraînement est l'angle de conicité.



**Figure (I.10)-** Plan de référence.

#### 1.4.1.2- Axes d'inertie :

L'hélicoptère peut occuper dans l'espace toutes les positions. Elles sont obtenues à partir d'une ou plusieurs relations autour d'un ou des plusieurs des axes d'inertie de l'appareil. Ces axes sont au nombre de trois. Ils sont perpendiculaires entre eux.

##### 1.4.1.2.1- Axe de roulis :

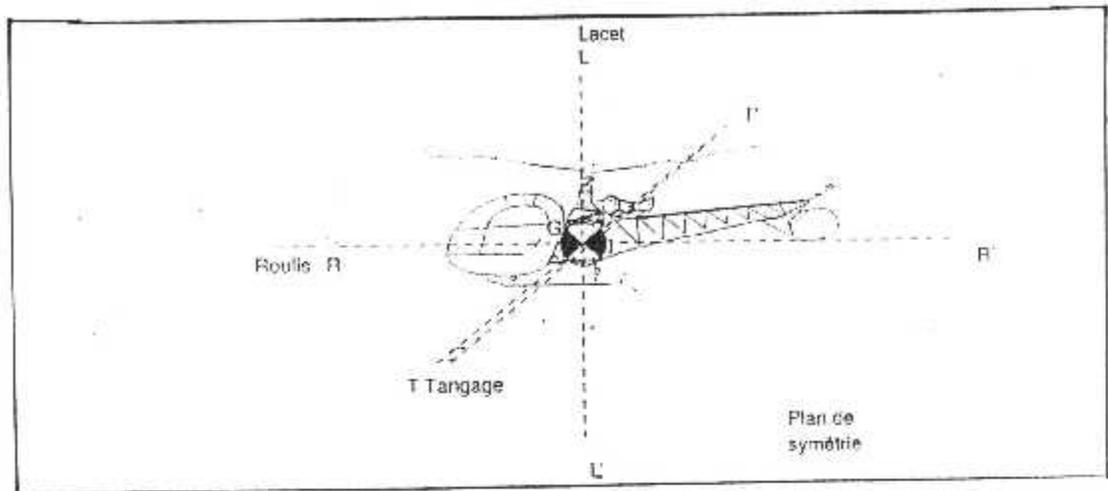
Il se trouve dans le plan de symétrie de l'appareil, confondu avec l'axe de fuselage (Axe  $RR'$ )

##### 1.4.1.2.2- Axe de tangage :

C'est l'axe transversal, perpendiculaire au plan de symétrie (axe  $T\dot{T}$ ).

**I.4.1.2.3- Axe de lacet :**

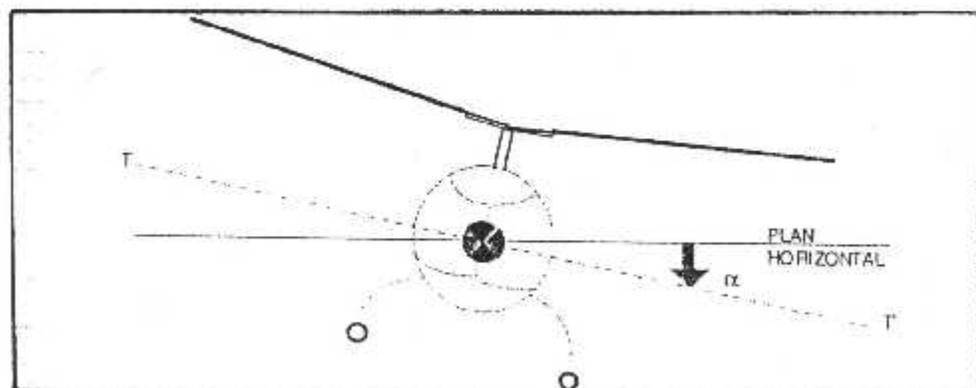
Il se situe dans le plan de symétrie perpendiculaire au plan formé pour l'axe de roulis et de tangage. (Axe  $L L'$ ).

**I.4.1.3-Référence de position :**

Pour estimer la position de l'appareil dans l'espace, il devient nécessaire de disposer de référence liée directement aux mouvements que l'appareil peut effectuer autour d'axes d'inertie. Ces références sont variables.

**I.4.1.3.1- L'inclinaison :**

L'inclinaison c'est l'angle  $\alpha$  que fait l'axe de tangage avec le plan horizontal. Toutes les rotations effectuées autour de l'axe de tangage provoquent une variation d'inclinaison.

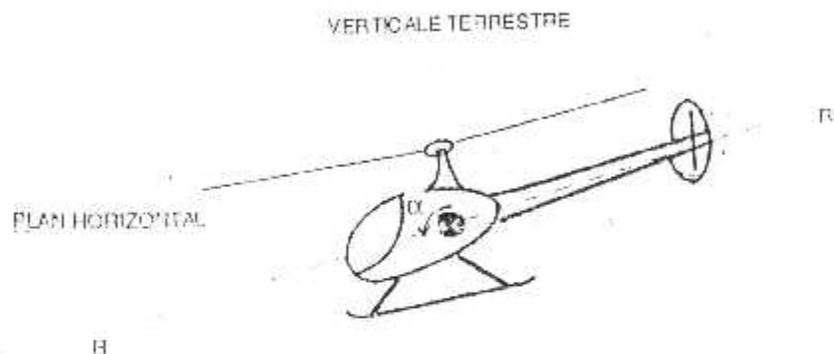


Lorsque l'axe de tangage est situé dans le plan horizontal, l'inclinaison est nulle.

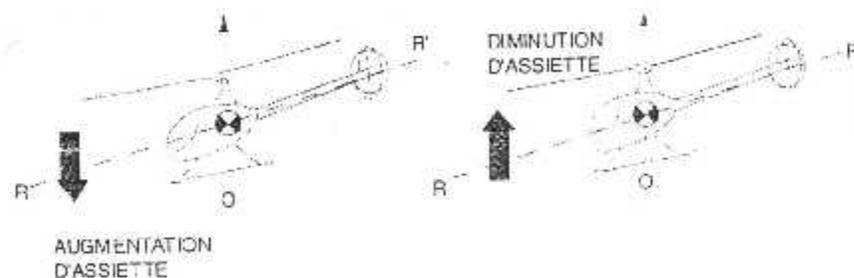
#### 1.4.1.3.2- Assiette (ou pente) :

L'assiette c'est l'angle  $\alpha$  que fait l'axe de roulis avec la verticale terrestre. Toutes les rotations effectuées autour de l'axe de tangage entraînent une variation d'assiette le schéma suivant montre que l'assiette  $\alpha$  permet également de situer la position de l'axe de roulis (R R') par rapport au plan horizontal.

En théorie, l'assiette peut varier entre 0 et 180°. Pour des configurations d'utilisation normale de l'hélicoptère, elle conserve des valeurs voisines de 90°, les variations de  $\alpha$  restant elles-mêmes inférieure a une vingtaine de degré.

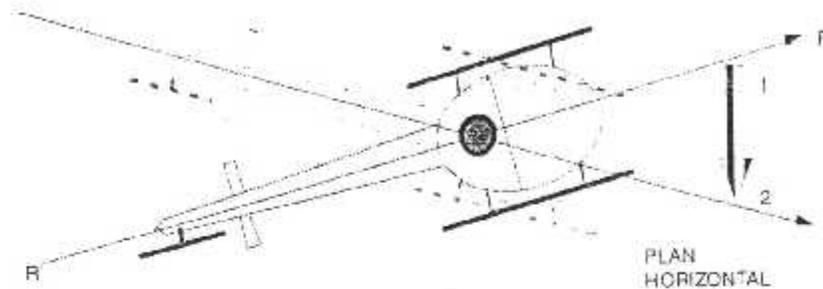


Quelle que soit la valeur de l'assiette, il y a augmentation d'assiette lorsque l'axe de roulis se déplace vers le bas, par conséquent, il y a des diminutions d'assiettes lorsque l'axe de roulis se déplace vers le haut.



### I.4.1.3.3- Cadence :

La cadence, c'est la vitesse angulaire de rotation du plan vertical par l'axe de roulis, mesuré dans le plan horizontal.



Toute rotation autour de l'axe de lacet entraîne l'apparition d'une cadence.

### I.4.2- Le contrôle de la portance en intensité :

La majorité des rotors hélicoptères ont un régime de rotation pratiquement constant, le seul facteur influant sur la portance  $F_n$  sera de coefficient  $C_r$  variable avec l'incidence, donc avec l'angle de pas.

Le pilote agira alors mécaniquement sur l'angle de pas des pales :

Il résultera une variation simultanée de la poussée de toutes les pales et ceci quelle que soit leur position sur le plan d'entraînement.

Le schéma pratique (**figure I.11**) montre que :

- La pale peut pivoter autour de l'axe MP.
- Le plateau C peut coulisser le long de mat : Ce mouvement obtenu sous l'action du levier E est transmis à la pale par la biellette B. il y a une biellette B par pale. Le plateau C est schématiquement constitué de deux éléments réunis par un ou plusieurs roulements. Cette disposition permet à la partie extérieure de tourner, entraînée par les biellettes B, toutes en restent solidaires de l'élément central et coulis le long de mat. Nous constatons que le plateau C se déplace dans le cas de la variation collective de pas en restant toujours parallèle à sa position initiale, donc le pas augmente et diminue dans la même valeur simultanément sur toutes les pales du rotor.

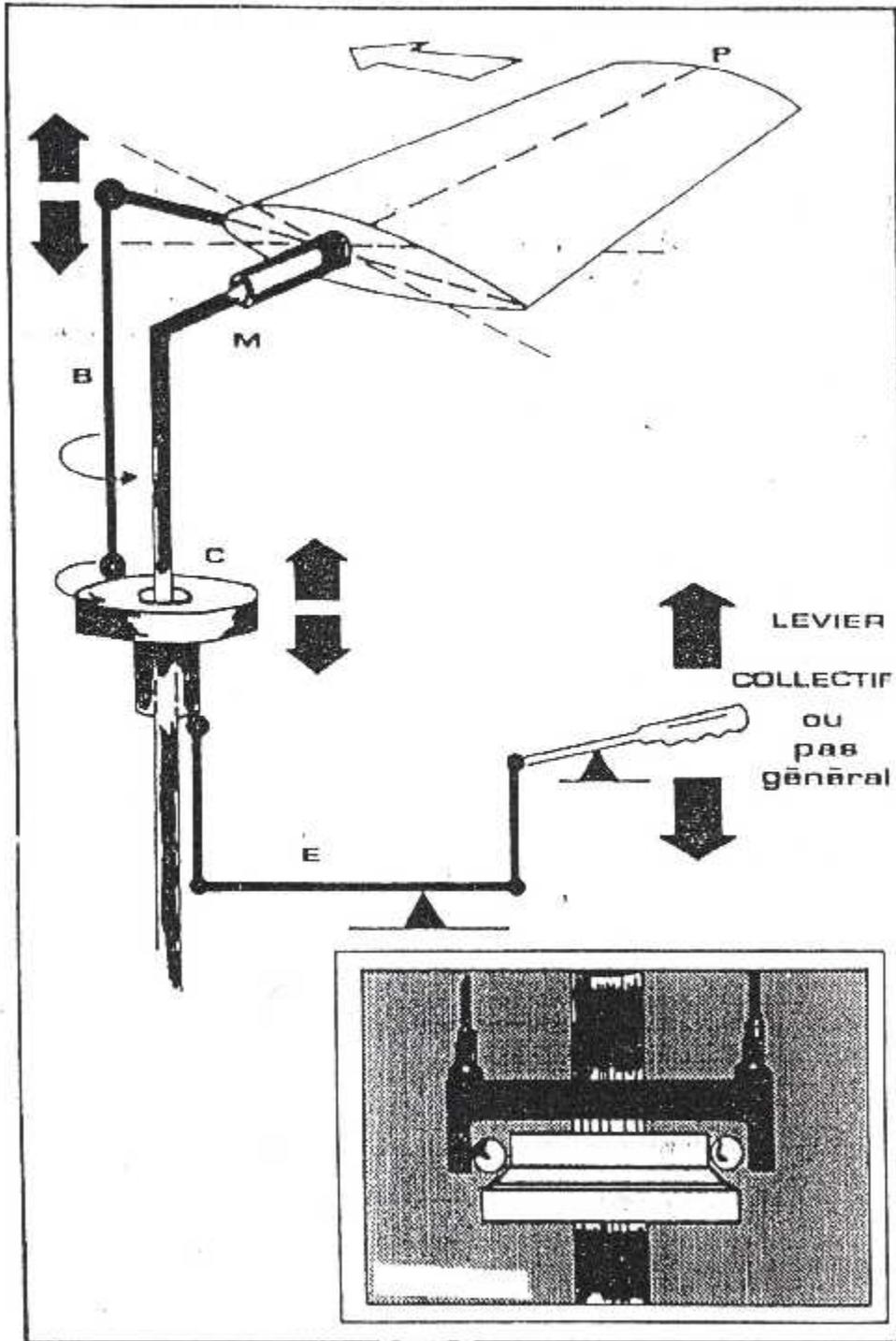


Fig (I. 14). Le contrôle de la puissance ou intensité.

### 1.4.3- Le contrôle de la portance en direction :

#### 1.4.3.1- Introduction :

Le contrôle de la direction de la force de portance ( $F_n$ ) est obtenu par la variation cyclique du pas.

#### 1.4.3.2- Le principe de la variation cyclique du pas :

Il y a variation cyclique du pas lorsque l'angle de pas  $\theta$  varie en fonction de l'azimut des pales, passant pour un tour complet d'une pale (et à chaque tour de pale) par une valeur maximale et une valeur minimale : Ces valeurs extrêmes étant obtenus dans des azimuts opposés.

La variation cyclique du pas (commandée par le pilote) entraîne, bien sur, une variation cyclique de la portance des pales qui a pour effet d'incliner le plan de rotation du rotor et ce, d'autant plus que la différence :  $\theta_{\max} - \theta_{\min}$  est grande.

La variation cyclique de pas fait varier la direction de  $F_n$  (qui reste toujours perpendiculaire au plan de rotation) mais est sans effet sur son intensité

#### 1.4.3.3- la variation cycliques du pas : (Figure 1.12)

En A, le pas est minimal ( $\theta$  cyclique mini)

En C, le pas est maximal ( $\theta$  cyclique maxi)

De A à C le pas croît progressivement, on dit que la variation cyclique est positive.

De C à A, le pas décroît progressivement, on dit que la variation cyclique est négative.

En B et D, où la variation cyclique n'est pas ressentie, on trouve le pas collectif d'origine

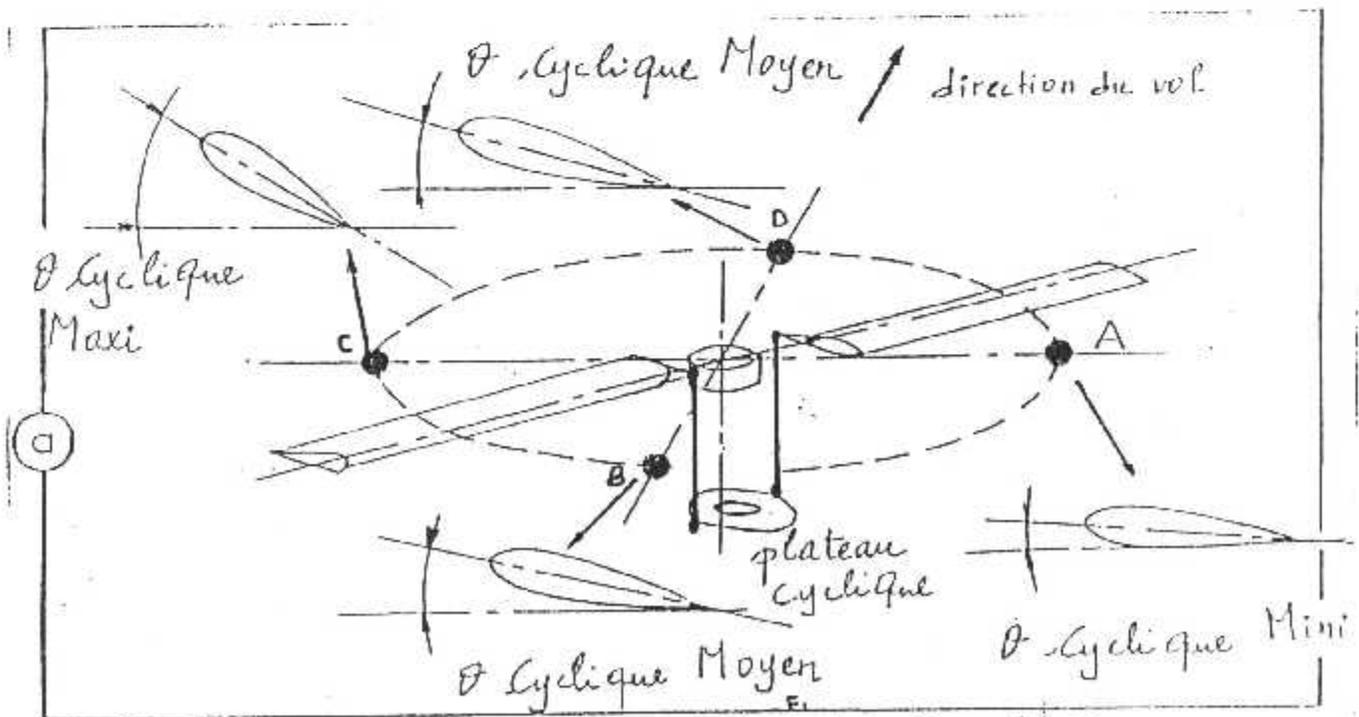
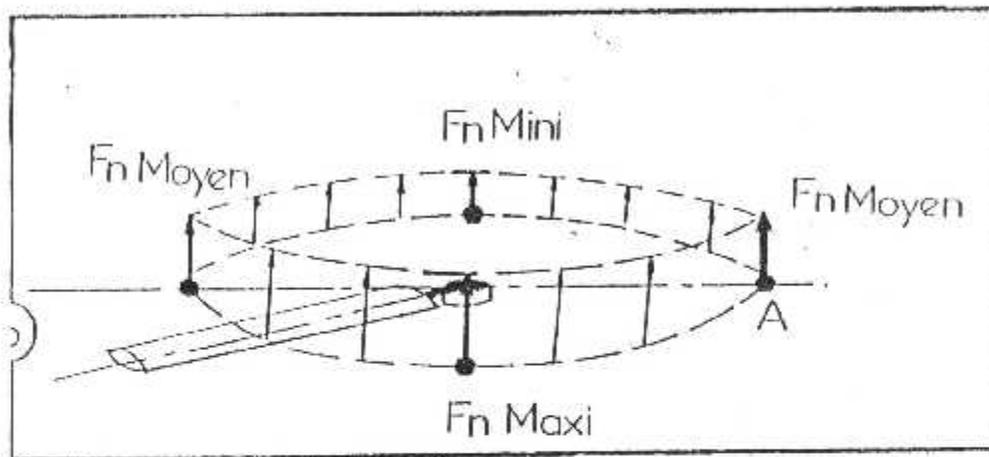


Fig. (1.12) LA VARIATION cyclique du pas.

**I.4.3.4- Les effets de la variation cyclique du pas :****a- Battement de la pale : (Figure I.13)**

Rappelons un principe fondamental : L'effet d'une variation d'incidence (soit la variation de portance ( $F_n$ ) et le battement ( $\beta$ ) de la pale) se fait sentir  $90^\circ$  après la variation d'incidence, par exemple : si le pas (donc l'incidence) est maxi en C, la portance  $F_n$  est la levée  $\beta$  de la pale sont maxi en D,  $90^\circ$  après C.

Si le pas est mini en A,  $F_n$  et  $\beta$  sont mini en B.



Fig(I.14) le battement de la pale.

**b- Basculement du plan de rotation : (Figure I.14)**

La variation cyclique de portance, engendrée par la variation cyclique de pas, entraîne une variation de l'angle de battement des pales  $\beta$ . Donc le plan de rotation s'est incliné (on dit aussi qu'il a basculé).

Sur le plan mécanique, et dans la pratique, a fin de rendre l'ensemble des commandes cohérents, le manche cyclique, le plateau et le plan de rotation doivent se déplacer dans le même sens. Ceci est facilement obtenu par un système de renvois à  $90^\circ$ .

**c- La conservation de l'intensité de portance :**

Le battement vertical des pales joue un rôle d'autorégulation de la portance par ce principe :

- Lorsque la pale monte son incidence diminue.
- Lorsque la pale descend son incidence augmente de telle manière que la portance reste constante et, il n'y a en effet variation cyclique de la portance que dans la phase (très courte) provoquant l'inclinaison du plan de rotation. Dès que les pales se mettent à battre suivant la variation cyclique leur portance  $F_n$  redevient constante reprenant sa valeur d'origine correspondant au seul pas collectif.

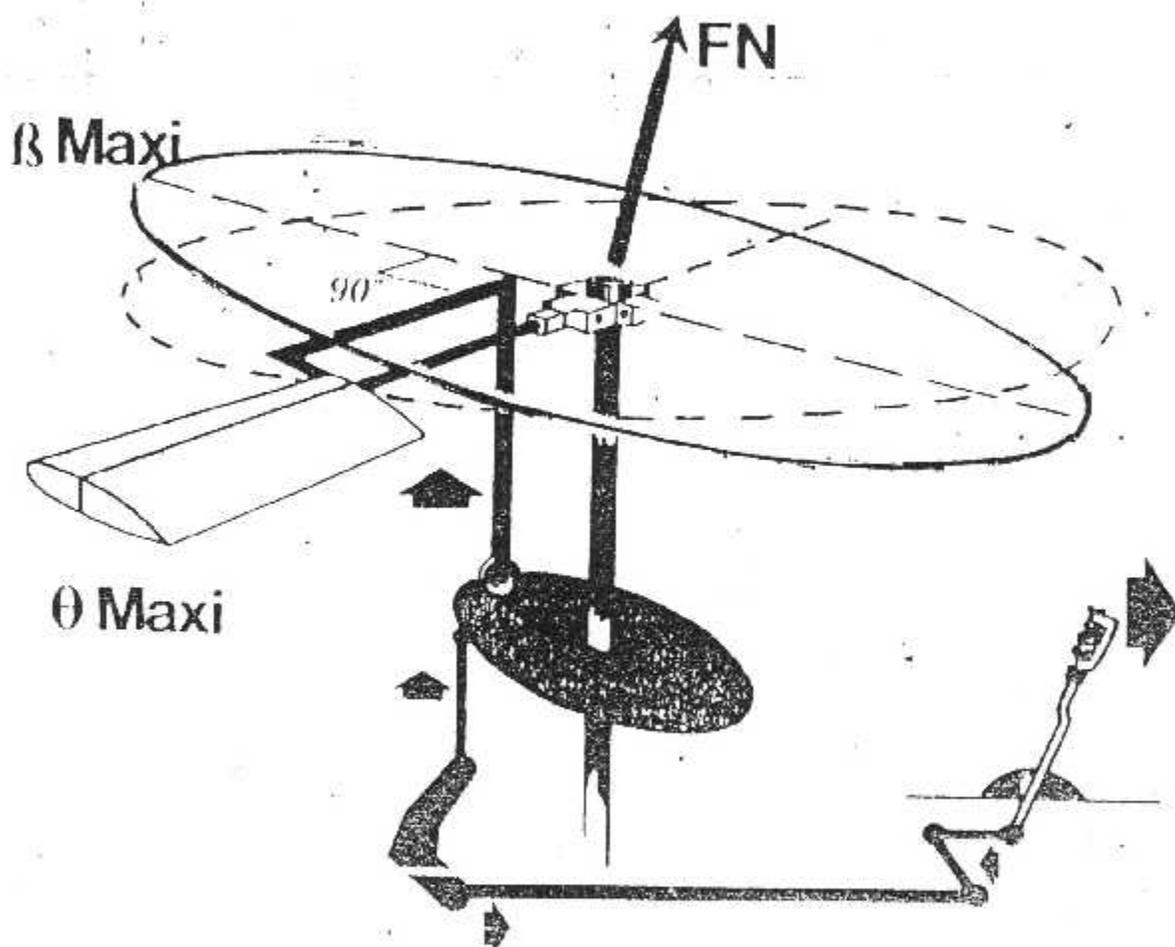


Fig (3 24) de basculement du plan de rotation

#### **1.4.4- Equilibre de l'appareil au vol stabilisé : (Figure I.15)**

##### **1.4.4.1- équilibre longitudinal :**

En vol stationnaire, les seules forces en présence sont :

- Le poids de l'appareil appliqué au centre de gravité de l'ensemble.
- La portance du rotor qui est appliquée au foyer.

Comme la vitesse de l'aire par rapport à la pale est constante sur un tour, il n'y a pas de variation d'incidence cyclique sur la pale et par conséquent le plateau cyclique est horizontal.

Plus le centrage de l'appareil sera avancé par rapport à l'arbre, plus l'assiette de l'appareil sera à piquer et plus le manche sera calculé pour maintenir l'horizontalité du plateau cyclique.

En vol de translation, il convient d'ajouter les efforts aérodynamiques sur le fuselage que l'on peut réduire à une force appliquée au C.G, la traînée du fuselage et un moment de tangage. Le disque rotor est incliné de façon à ce que la poussée rotor équilibre la résultante du poids et de la traînée fuselage. Le fuselage prend une assiette d'équilibre de façon à ce que le moment dû à la poussée rotor par rapport au C.G équilibre le moment dû au fuselage.

L'inclinaison du plateau cyclique, vers l'avant par rapport à l'arbre servira donc :

- a) À contrer la tendance au basculement du disque en arrière dû à la vitesse.
- b) À assurer le basculement du disque vers l'avant par rapport à la vitesse.
- c) À compenser la variation d'assiette du fuselage.

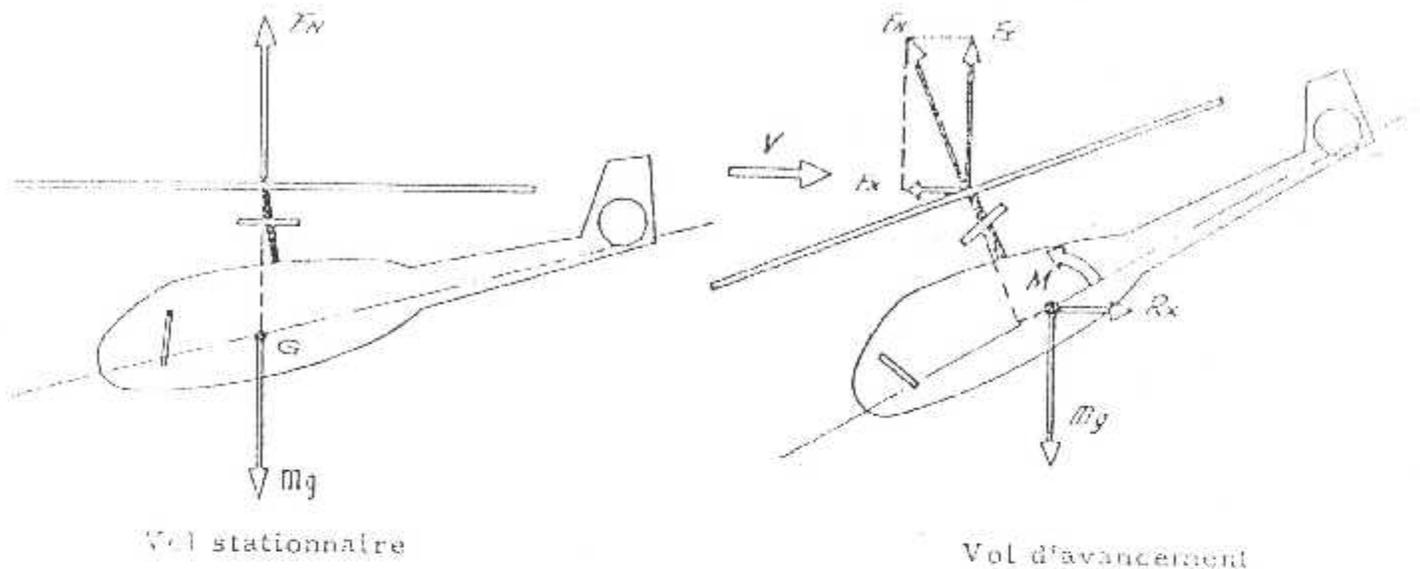
L'inclinaison du plateau cyclique se calcule donc simplement à partir de l'équation de battement de la pale, les caractéristiques aérodynamiques du fuselage et les considérations d'équilibre.

##### **1.4.4.2- Equilibre de lacet :**

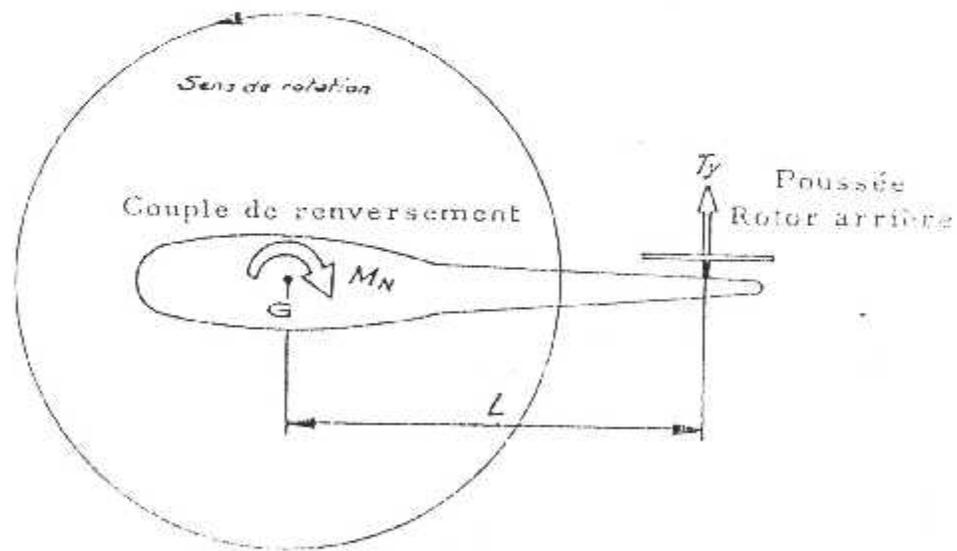
En vol stationnaire, il est nécessaire d'équilibrer le couple de renversement du rotor principal à l'aide d'un effort développé par le rotor arrière.

En vol de translation, l'équilibre est légèrement modifié par suite du moment de lacet dû au fuselage, qui dépend évidemment de la dissymétrie de l'appareil et de l'influence du flux rotor sur la dérive et le fuselage ainsi que du dérapage pour un cas de vol dérapé.

Dans les deux cas, le contrôle s'effectue en modifiant le pas du rotor arrière au palonnier.



- EQUILIBRE LONGITUDINAL.



- EQUILIBRE DE LACET

Fig(3. 15): equilibre de l'appareil au vol stabilise

**1.4.4.3- Equilibre latéral :**

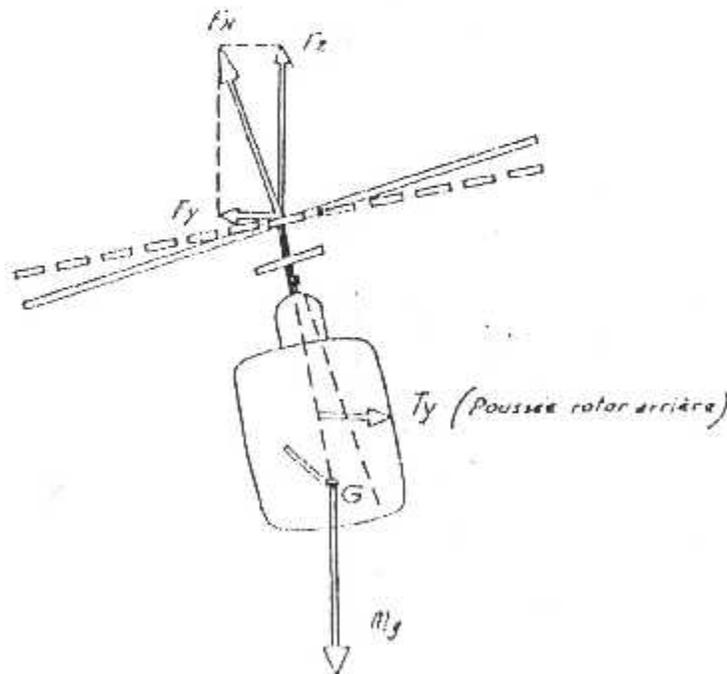
L'équilibre latéral en stationnaire est semblable à l'équilibre longitudinal.

La seule différence réside dans la présence de la poussée rotor arrière qu'il faut contrebalancer par une inclinaison latérale du disque, la poussée ne passant plus par le C.G.

En vol d'avancement, l'équilibre est de nature identique, les efforts aérodynamiques sur un fuselage en roulis étant pratiquement négligeables.

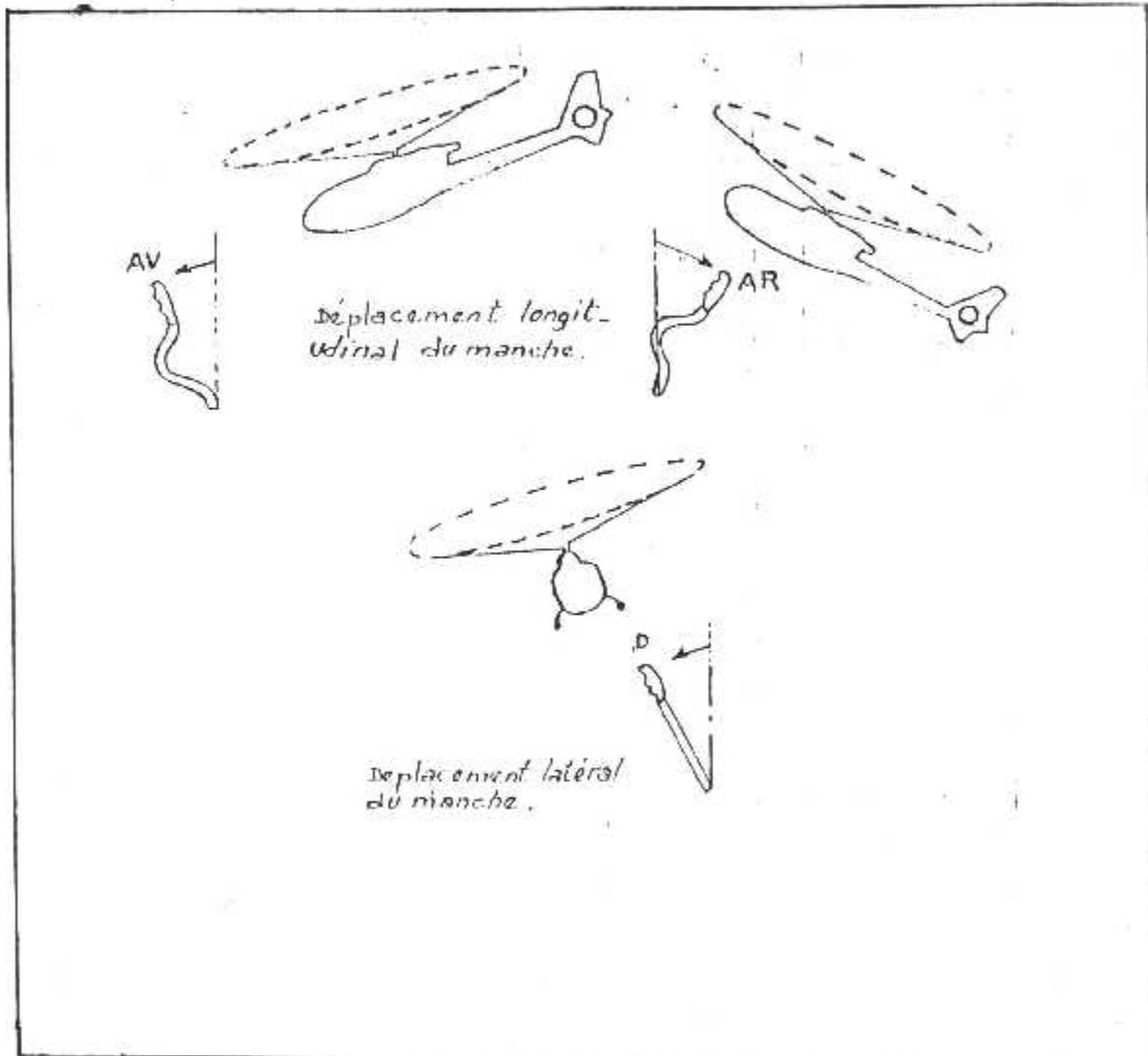
L'inclinaison du plateau cyclique vers le côté servira donc :

- À compenser l'inclinaison latérale de l'appareil déduite de l'équilibre.
- À assurer le basculement latéral du disque.
- À contrebalancer par ailleurs le basculement dû à la conicité ( ce basculement est dû à la dissymétrie de portance sur la pale avant et sur pale arrière liée à la conicité du rotor).



### 1.4.5- Déplacement d'hélicoptère : (Figure I.16)

On peut décrire maintenant les mouvements de l'hélicoptère, le basculement de la portance générale de rotor résulte de basculement du plan du disque qui est fait par inclinaison du plateau cyclique dans la direction correspondant au mouvement des manches en longitudinale ou latéral.



Fig(I. 16) Déplacement d'hélicoptère

# Chapitre II

Représentation

des commandes de vol

## **II.1- Généralités :**

Le changement de la position équilibrée d'hélicoptère par rapport aux trois axes de giration s'effectue par variation de la valeur et du sens de la poussée du rotor sustentateur et par variation de la poussée du rotor anti-couple.

L'hélicoptère est commandé par le pilote agissant sur le rotor sustentateur et le rotor anti-couple par l'intermédiaire des tringleries de commande reliées aux commandes de vol (levier de pas collectif, levier de pas cyclique, palonnier de direction), il peut être commandé automatiquement à l'aide de l'auto pilote.

## **II.2-La commande cyclique de pas :**

### **II.2.1- Définition :**

La commande cyclique de pas est un organe permettant de faire varier la valeur et la direction de la résultante des forces aérodynamiques du rotor sustentateur par le changement correspondant des angles de calage des pales.

### **II.2.2- Composition : (figure II.1)**

La commande cyclique de pas comprend un guide de coulisseau 1, un coulisseau 28, une bague 22 du plateau portant les leviers 8 et 14 et relié au coulisseau à l'aide d'un joint universel, un levier 5 de pas collectif, des renvois de commande en tangage (non représentés dans la figure II.1) et de commande en roulis 25, des tringles 19 et 24 de commande de plateau cyclique en tangage et en roulis, des tringles 9 actionnant les pales et l'entraîneur de plateau constitué par deux pièces principales 15 et 17.

#### **II.2.2.1- Le coulisseau :**

Le coulisseau est reçu par le guide (se présente sous la forme d'un cylindre lisse en acier portant une bride fixée par huit goujons sur le réducteur principal), Ce coulisseau est divisé par trois parties.

##### **II.2.2.1.1- La partie supérieure du coulisseau :**

Porte extérieurement deux tenons coaxiaux qui font corps avec celui-ci. Dans ces tenons sont alésés deux logements pour les paliers du joint universel.

##### **II.2.2.1.2- La partie moyenne du coulisseau :**

Présente des faces plates pour la fixation des supports 26 des renvois de commande en tangage et de commande en roulis.

##### **II.2.2.1.3- La partie inférieure du coulisseau :**

Il fixe deux supports 26 sur les quels sont articulés les renvois de commande en roulis 25 et en tangage. L'un des bras du renvoi la commande en roulis est relié par la tringle de commande en roulis 24 à l'oreille de bague extérieure du cardan, tandis que l'autre est articulé sur la tringle des commandes en roulis.

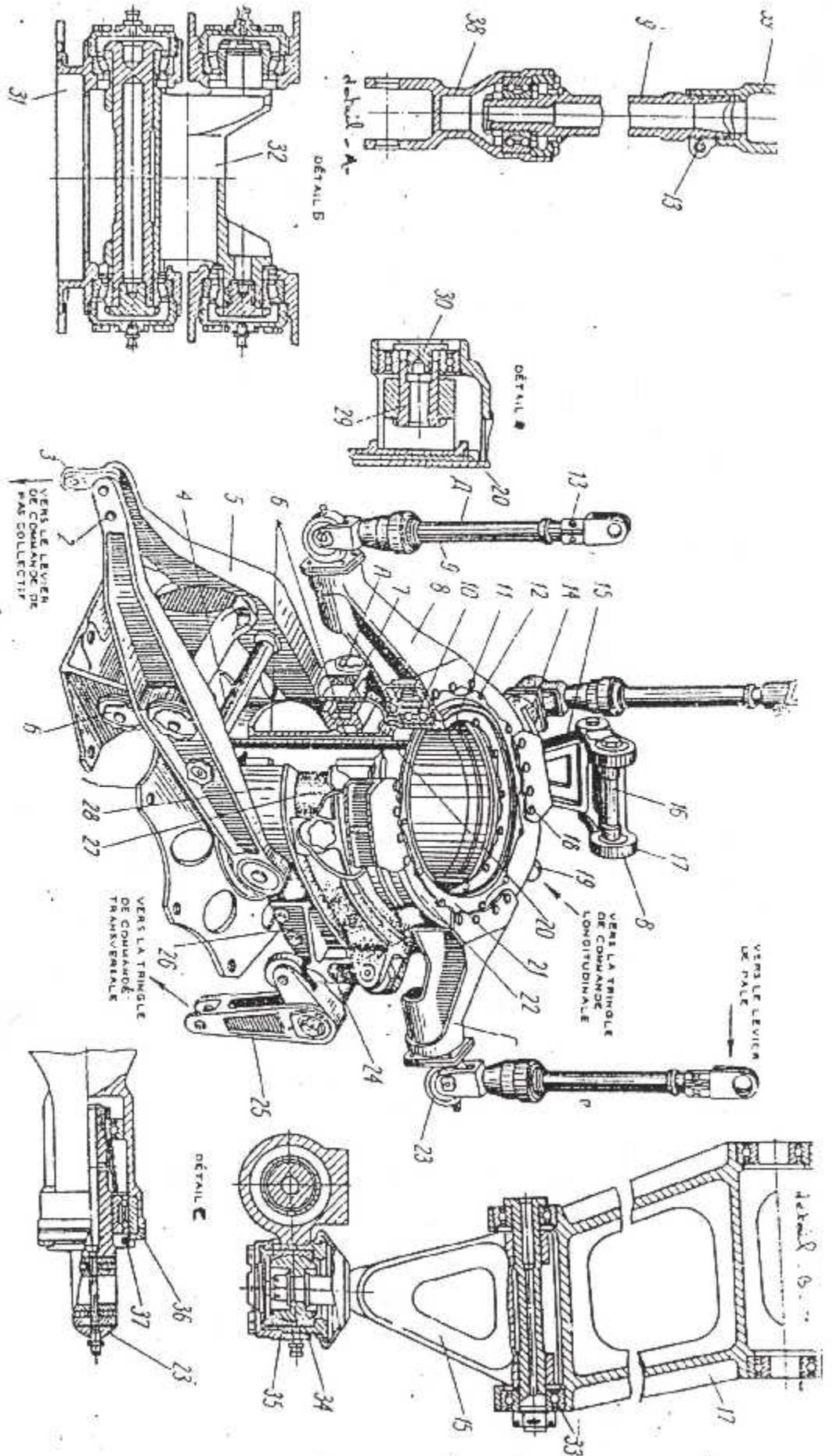


Fig. (L. 1) : COMMANDE CYCLOQUE DE PAS

- 1 - guidage du coulisser; 2 - boulon du levier de pas collectif; 3 - biellette; 4 - entoilage du levier de pas collectif; 5 - levier de pas collectif; 6 - manchon de bronze du coulisser; 7 - bague intérieure de cardan; 8 - levier de plateau cyclique; 9 - bielle de commande de la pale; 10 - roulement de plateau; 11 - bague de serrage du roulement de plateau; 12 - défecteur; 13 - boulon de serrage de la fourche supérieure de la bielle de commande de la pale; 14 - levier de pêne avec le logement d'entraîneur; 15 - levier d'entraîneur de plateau; 16 - axe de la bielle d'entraîneur de plateau; 17 - bielle d'entraîneur de plateau; 18 - boulon de fixation du levier; 19 - triangle de commande en longueur; 20 - bague d'entraînement en courroie du coulisser; 21 - couvercle du roulement de plateau; 22 - bague du plateau cyclique; 23 - axe de l'articulation du levier de plateau; 24 - triangle de commande en rouille; 25 - renvoi de commande en rouille; 26 - support du renvoi de commande en rouille; 27 - bague extérieure de cardan; 28 - coulisser de la commande cyclique de pas; 29 - fourrillon de cardan; 30 - boulon du fourrillon de cardan; 31 - support du levier de pas collectif; 32 - bielle du levier de pas collectif; 33 - axe du levier d'entraîneur de plateau; 34 - rotule du levier d'entraîneur; 35 - coussinet de bronze de l'articulation à rotule d'entraîneur; 36 - couvercle de l'articulation du levier de plateau; 37 - bague d'entraînement en courroie de l'articulation du levier de plateau; 38 - fourche inférieure de la bielle de commande de la pale; 39 - fourche supérieure de la bielle de commande de la pale

### **II.2.2.2- Le plateau cyclique (figure II.1)**

Le plateau cyclique, proprement dit, se compose d'une partie médiane (bague 22) et de quatre leviers 8 et 14 fixés sur le plateau par des boulons prisonniers.

Les leviers sont en double T et se terminent par une douille à bride telle que la douille comporte deux roulements à bille sur lesquels porte l'axe 23 d'articulation du levier du plateau (voir détaille C (figure II.1)), cet axe est tenu en place par le couvercle 36 et quatre boulons. Ce couvercle est muni de la bague d'étanchéité 37.

### **II.2.2.3- La tringle de pale : ( voir détaille A (figure II.1))**

Elle se compose d'une fourche supérieure 39, d'une fourche inférieure 38 et d'une tringle, proprement dit, 9. Elle est raccordée à sa fourche inférieure par l'intermédiaire d'un roulement à double rangée de billes à poussée radiale et axiale.

L'extrémité supérieure de la tringle se visse dans la fourche 39 et est retenue contre le dévissage par le boulon 13 qui serre les branches de la fourche.

*Remarque:* l'usinage de finition du plateau se faisant après son assemblage, ses éléments ne sont pas interchangeables et l'ensemble est non démontable.

### **II.2.2.4- L'entraîneur de plateau : ( voir détaille B (figure II.1))**

L'entraîneur sert à relier le plateau de commande de pas cyclique à la tête du rotor sustentateur, il se compose de deux éléments de la biellette d'entraîneur 17 et du levier d'entraîneur 15. La biellette et le levier sont articulés l'une sur l'autre par l'axe de levier 33 et par deux roulements à billes. L'axe 16 sert à raccorder la biellette sur le corps de la tête du rotor sustentateur au moyen de deux roulements à billes.

Sur l'extrémité du levier 15 est emmanchée une rotule 34 fixée par écrou. Cette rotule est embrassée par deux coussinets de bronze 35 montés dans le logement du levier de plateau 14. Pendant la rotation du rotor sustentateur le plateau entraîne par l'entraîneur est également en rotation. Une telle construction de l'entraîneur permet au plateau de tourner à toutes ses inclinaisons possibles et à tous les déplacements verticaux.

### **II.3- Commande à main :**

Les commandes à main servent à piloter l'hélicoptère en tangage et en roulis et comprennent deux manches à balai, les tringleries de commande en tangage et en roulis, et les servomoteurs PA-10.

Les commandes à main sont dupliées de sorte que l'hélicoptère peut indépendamment être conduit par le pilote ou le copilote.

#### **II.3.1- Le manche à balai :**

##### **II.3.1.1- Représentation : (figure II.2)**

Les manches à balai sont courbés pour les commodités d'utilisation. Chaque manche est constitué par un levier tubulaire d'acier 6, une poignée coulée en alliage d'aluminium et un levier inférieur 7 soudé en acier.

Dans les logements spéciaux de la poignée sont montés le bouton radio 8, celui de l'interphone de bord 1, celui de largage de la charge extérieur 3 (sur le manche gauche). Le bouton 9 de mise en action du système d'équilibrage automatique et le bouton de débrayage du pilote automatique. Pour éviter une pression accidentelle sur le bouton de largage de la charge extérieur, on a prévu une sécurité 4.

Le manche à balai gauche comporte un levier 2 de commande du frein de la roue du train principale et un dispositif 11 de blocage du levier de frein. Le blocage du levier est obtenu par la rotation de la gâchette 10, par cette manœuvre le chien 13 emmanché sur l'axe du levier 2 prend appui sur un méplat du bouton 12 et retient le levier dans la position « FREINE ».

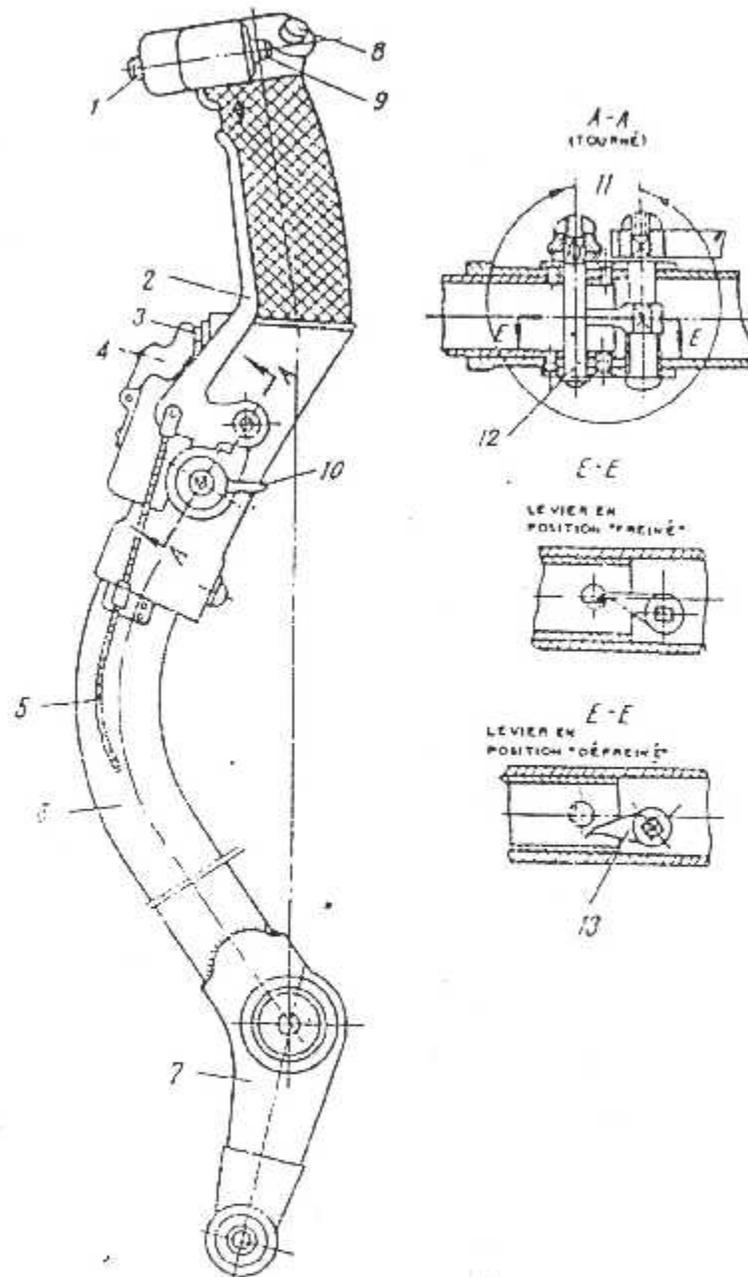


Fig (II. 3) : MANCHE A BALAI

- 1 - bouton de commande de l'interphase de bord; 2 - levier de frein; 3 - bouton de largage de la charge extérieure; 4 - sécurité; 5 - câble; 6 - levier en tube; 7 - levier; 8 - bouton RADIO; 9 - boutons TRIM; 10 - gâchette; 11 - dispositif de blocage; 12 - boulon; 13 - cliquet

**II.3.1.2- Le montage de manche à balai : ( figure II.3 )**

Les manches à balai sont montées dans des colonnes, chacune d'elles est fixée sur le plancher du poste de pilotage par cinq boulons et située symétriquement par rapport à l'axe longitudinal de l'hélicoptère.

Les colonnes sont de construction identique et se compose d'un arbre (9) avec la traverse 5, d'un support 8 coulé en magnésium, d'une bielle articulée spéciale 4 et d'un levier 11, un arbre cannelé est monté dans le bossage du support 8 à l'aide de deux roulements à bielle.

L'extrémité supérieure de cet arbre porte le levier 11 articulé sur la bielle 4. Sur l'extrémité inférieure de l'arbre le renvoi 12. Un bras du renvoi 12 est articulé sur la tringle 13 de la tringlerie de commande en tangage, tandis que sur l'autre est articulée la tringle raccordée au levier de la colonne droite : celui-ci est également monté sur un arbre cannelé et muni de deux roulements à bielles servant au raccordement de la tringle allant de la colonne gauche et au raccordement de la tige du mécanisme de sensation artificielle des commandes en tangage.

**II.3.1.3- Les débattements du manche à balai :**

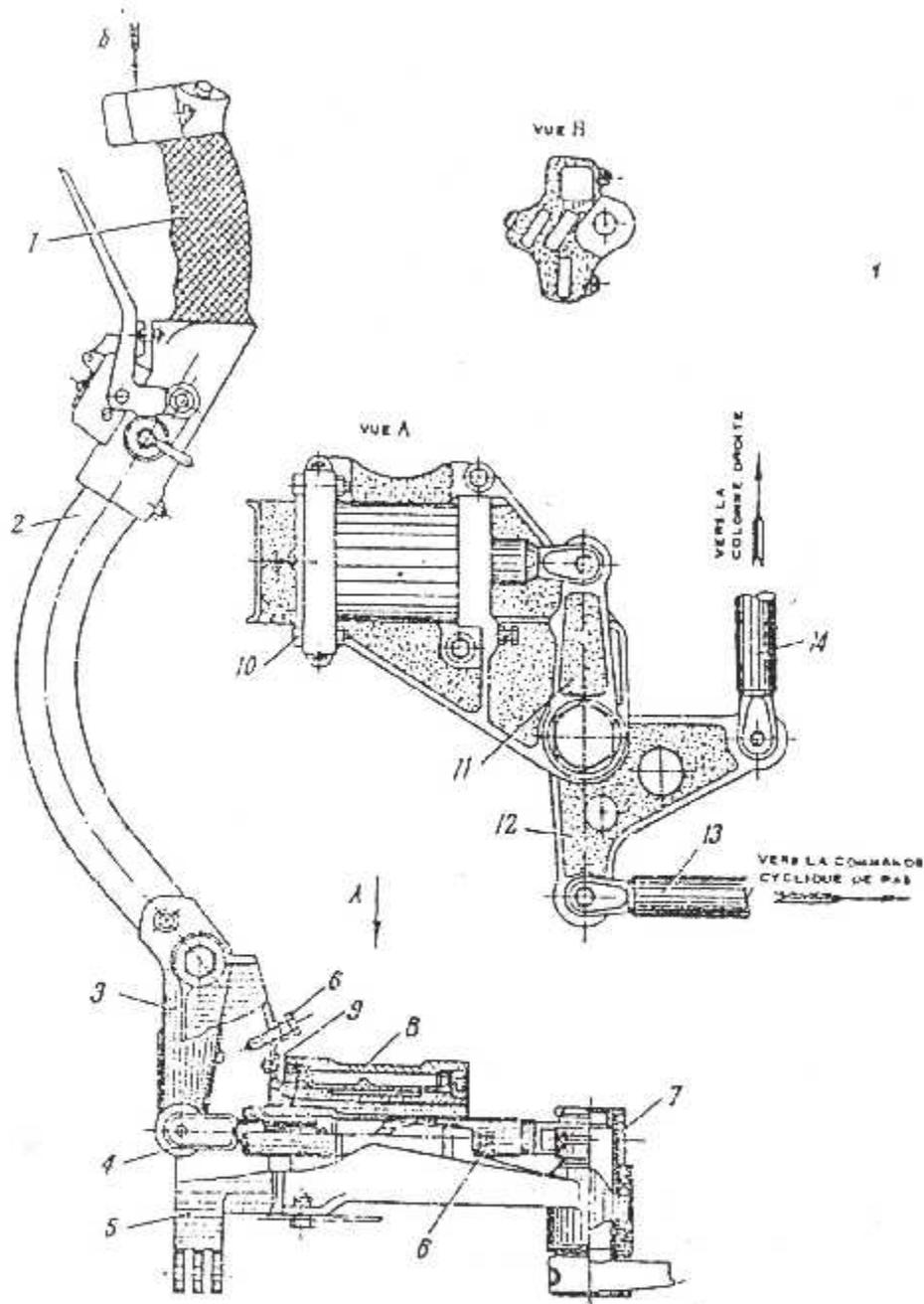
Les débattements transversaux sont possible grâce à la rotation de la traverse et de l'arbre sur les roulements à bielles du support 8.

La bielle articulée de commande en tangage 4 reliant le manche au levier 11 passe à l'intérieur de l'arbre 9. Ceci permet d'assurer l'action indépendante des commandes en tangage et en roulis.

Les débattements longitudinaux sont assurés par la fixation de manche à balai par boulon sur la traverse qui assure en plus la fixation le pivotement du manche dans le sens longitudinal.

Pour limiter les débattements du manche à balai, la colonne gauche est dotée de butées. Dans les commandes en tangage ces butées sont constituées par des boulons réglables 6 se vissant dans la traverse 5 ( Limitation des mouvements manche pousse ) et dans le support 8 ( limitation des mouvements manche au ventre ).

Les débattements transversaux du manche sont limités par les boulons non réglables 10 montés sur le bout du support 8 de la colonne gauche.



**Fig(II.3).** COLONNE DU MANCHE A BALAI

1 - poignée; 2 - tube; 3 et 11 - leviers; 4 - bielle; 5 - traverse; 6 - limiteur de débattements longitudinaux du manche; 7 - arbre cannelé; 8 - support; 9 - arbre; 10 - limiteur de débattement transversaux du manche; 12 - renvoi de commande; 13 - tringle allant vers la colonne du manche droit; 14 - tringle allant vers la commande cyclique de pas

### II.3.2- le system de débrayage du pilote automatique :

#### II.3.2.1- généralité :

Sur quelques renvois et sur leurs supports est monté un dispositif spécial à minirupteur servant à débrayer le pilote automatique aux certains angles de débattement du manche à balai.

#### II.3.2.2- Le montage du system à minirupteurs: (figure II.4)

Les dispositifs à minirupteurs sont montées sur quelques renvois et sur leur support. Les nervures du support en magnésium 3 portent les supports soudés d'aciers 4 fixés par trois boulons. Deux trous de boulons de ces supports sont ovales pour permettre le réglage de position de supports. Sur les supports 4 sont vissés les minirupteurs 5 et les leviers poussoirs 7 munis des galets 8.

Le ressort 1 monté sur l'axe de rotation du levier 7 applique constamment celui-ci à la surface de travail des supports matricés en duralumin 9 rivetés sur les renvois.

Sur les épaulements des supports 9 sont situées les plaques de pression 6 : Le boulon de fixation de la plaque peut se déplacer dans une fente longitudinale du support 9.

#### II.3.2.3- Fonctionnement :

Lorsque le renvoi se déplace, le galet du levier 7 vient rouler sur la plaque 6 : Ceci provoque le pivotement du levier 7 qui ferme le minirupteur.

Pendant le réglage des commandes les plaques 6 sont fixées de manière que le fonctionnement des mini rupteurs, donc le débrayage du pilote automatique se produise au moment où le manche à balai vient en butée de débattements longitudinaux ou bien lorsque le manche est incliné dans le sens transversal jusqu'à la position correspondant à l'inclinaison du plateau cyclique de  $2^{\circ} 20' \pm 5'$  à gauche et de  $2^{\circ} \pm 5'$  à droite.

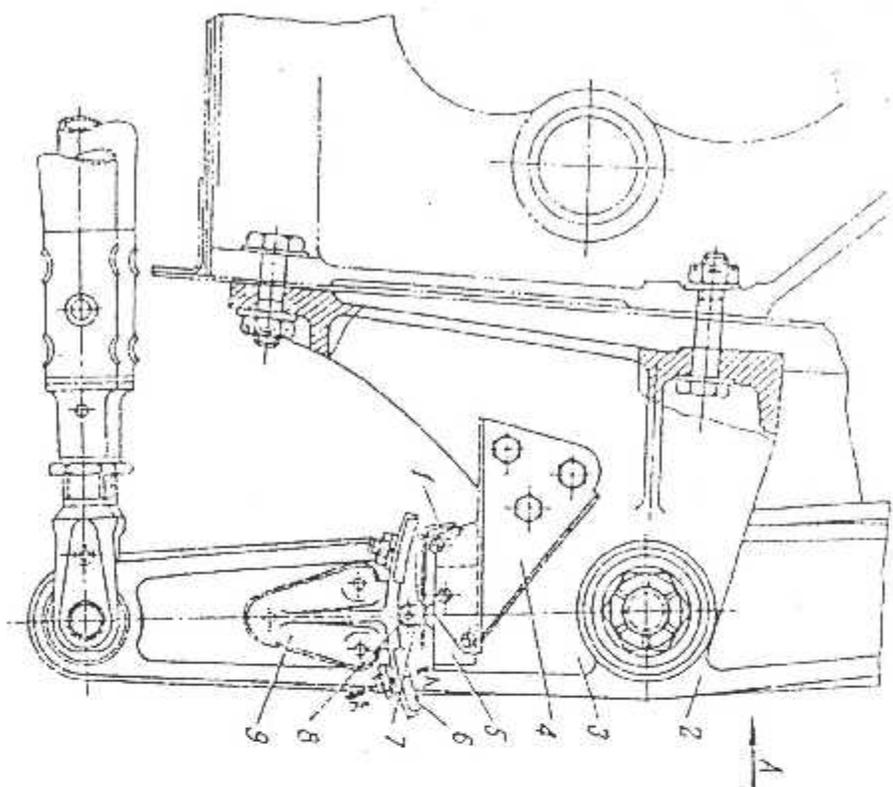
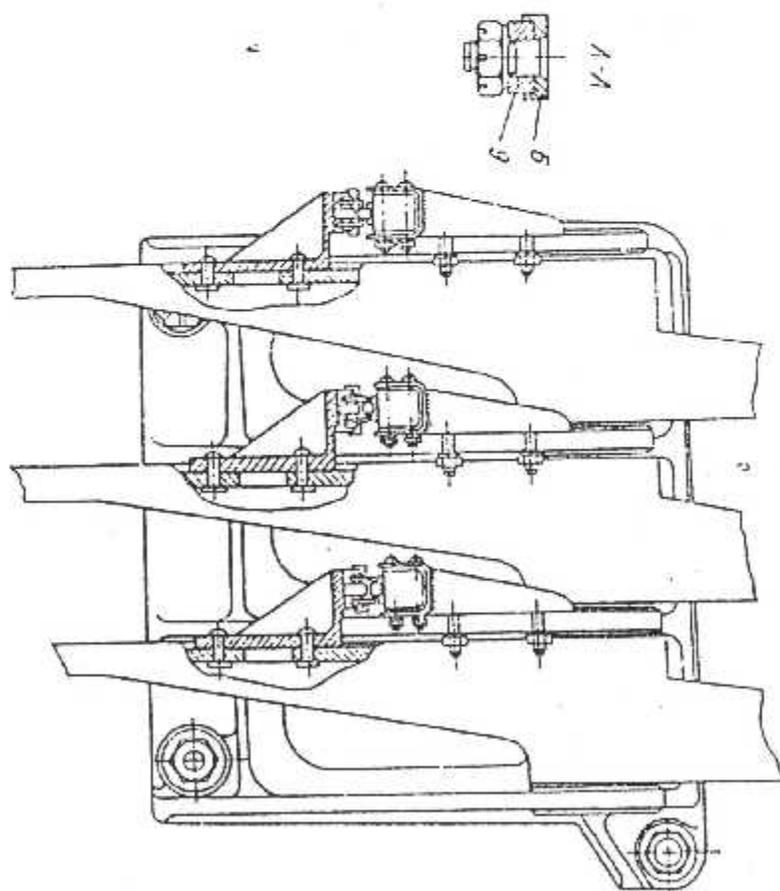


Fig (II. 4) **ROTTAGE DES MULTIPLEURS DE DEBRAYAGE DU PILOTE AUTOMATIQUE**  
 1 - ressort; 2 - assise de commandes par pedales; 3 - support; 4 - support; 5 - multiplicateur; 6 - plaque; 7 - levier; 8 - gâchette; 9 - support



### **II.3.3- Les servomoteurs :**

#### **II.3.3.1- généralité :**

Un servomoteur se compose :

- D'un moteur à courant continu.
- D'un système réducteur de vitesse à roues dentées.
- D'un potentiomètre.
- D'un circuit électronique.

Vous me direz, ça fait beaucoup de choses dans un petit boîtier. Les servomoteurs sont beaucoup utilisés en modélisme, par exemple : Pour sortir le train d'atterrissage d'un avion.

Les servomoteurs permettent de déplacer un bras jusqu'à une certaine position ( ou angle).

#### **II.3.3.2- Description :(figure II.5)**

Les servomoteurs sont fixés sur des supports qui sont fixés sur le réducteur principal à l'aide de seize goujons.

Sur ce support sont boulonnée les supports soudés d'acier 11 : Ces derniers portent les transmetteurs de retour d'asservissement du pilote automatique fixés par quatre boulons.

Les leviers des transmetteurs sont reliés par une tringle réglable 5 aux supports soudés d'acier fixé aux renvois 2 de commande en roulis en tangage. Pour rattraper les jeux accidentels dans la tringlerie d'entraînement des leviers des transmetteurs de retours d'asservissement, on a prévu le ressort à traction en acier 4, monté entre les leviers des transmetteurs et les supports fixés sur les renvois 2.

Les tourillons du servomoteur sont montés sur les appuis 8 à l'aide des roulements à billes et peuvent pivoter sur ces appuis.

Les appuis sont fixés par des goujons vissés dans les supports. Lors du montage les axes des servomoteurs et ceux des renvois reliés aux dispositifs à tiroir des servomoteurs, sont situés dans le même plan, pour assurer une course uniforme et éviter les désaxements pendant le fonctionnement des servomoteurs.

Les tiges des servomoteurs sont retenues contre la rotation à l'aide des compas. Le levier d'acier 13 du compas est raccordé par un boulon d'articulation à l'embout de la tige matrice des servomoteurs, le levier de duralumin 12 est articulé sur les pattes du support 6.

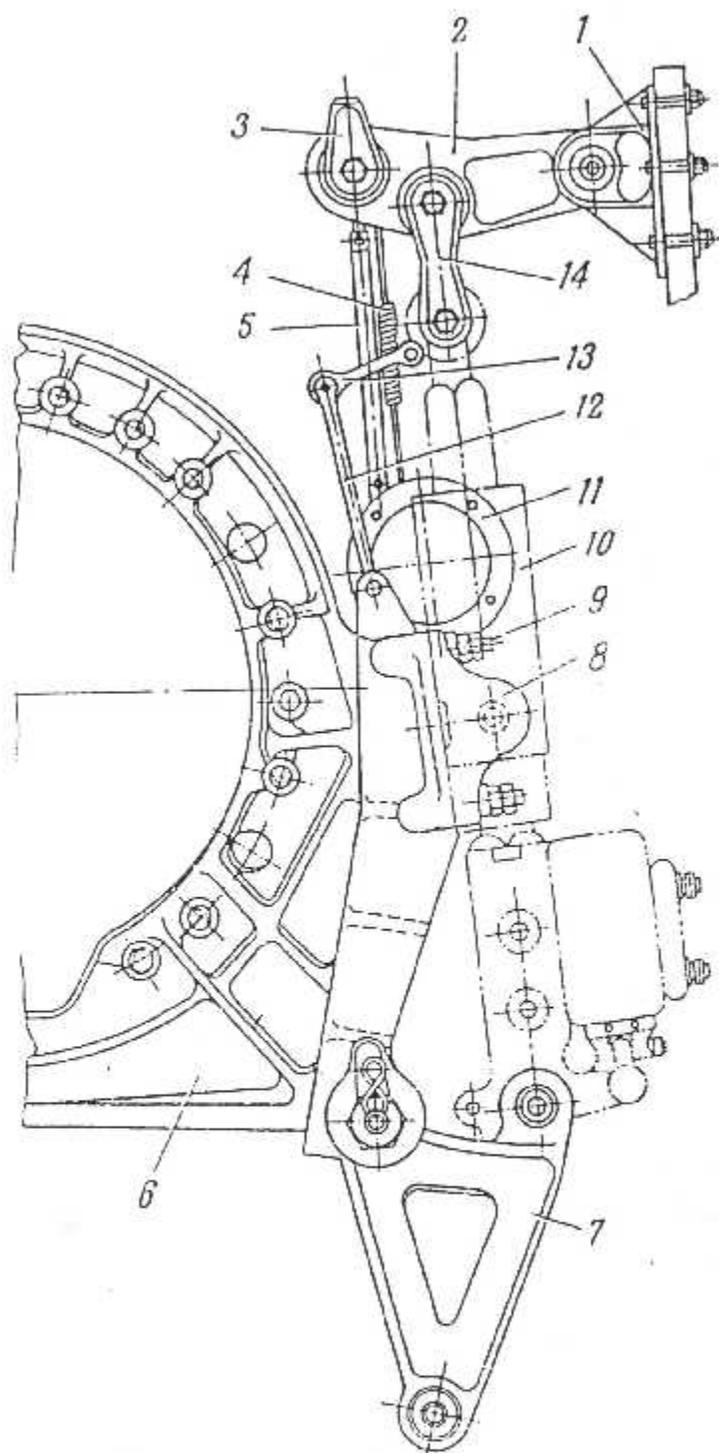


Fig (II. 5) : MONTAGE DU SERVO-MOTEUR PA-10 DE  
COMMANDE EN ROULIS

1 - support; 2 - renvoi; 3 - embout; 4 - ressort; 5 - tringle;  
6 - support; 7 - renvoi; 8 - appui; 9 - broche; 10 - servo-moteur PA-10; 11 - support du transmetteur de liaison par réaction; 12 et 13 - leviers; 14 - bielle

**II.3.3.3- Fonctionnement :**

L'hélicoptère étant piloté à la main, Les déplacements du manche à balai sont transmis par les tringleries de commande en tangage et en roulis aux renvois 7 articulés à ceux des servomoteurs, et provoquent les déplacements du tiroir de distribution et de la tige motrice des servomoteurs. Lorsque l'hélicoptère est conduit ou moyen du pilote automatique, les signaux électriques, fournis par le bloc de commande de l'autopilote au relais électromagnétique des servomoteurs, produisent les déplacements du tiroir de l'autopilote et des tiges motrices des servomoteurs.

Les embouts des tiges motrices sont reliés par les biellettes d'acier 14 avec les renvois 2 montés sur une plaque coulée en magnésium fixée sur le bâti du réducteur, les tringles d'acier 3 transmettent les mouvements des renvois 2 aux renvois de tangage et de roulis de la commande cyclique de pas.

Les servomoteurs étant du type irréversible, ils ne transmettent pas les efforts du rotor sustentateur au manche à balai tant que le système hydraulique n'est pas sous pression, les tiges motrices des servomoteurs fonctionnent comme des tringles de commande rigide et la totalité du couple de réaction du rotor principal sont transmis au manche à balai.

## II.4- Les commandes par pédales :

Ces commandes permettent de piloter l'hélicoptère en lacets à l'aide du routier anti-couple.

### II.4.1- Le palonnier de direction :(figure II.6)

Le palonnier de direction du type à parallélogramme articulé constitué un groupe séparé monté sur le support 11 coulé en alliage de magnésium.

Le parallélisme de la course des pédales est assuré par deux tringles 4 articulées sur les goujons du support et des marches pieds du palonnier. Le réglage du palonnier Selon la taille du pilote est effectué en faisant tourner le volant de la vis de réglage 6.

L'extrémité inférieure de l'axe cannelé 10 porte un levier matrice 5 en alliage d'aluminium.

Le levier 5 du palonnier droit est articulé sur la tringle 4 des tringles de commandes à pied et sur la tringle 3 reliant entre eux le palonnier droit et le palonnier gauche. Sur le levier du palonnier droit sont articulée la tringle allant du palonnier gauche et la tige du mécanisme de sensation artificielle des commandes à pieds.

La liaison entre le palonnier de gauche et de droite est assurée par des tringles réunies par un renvoi intermédiaire.

Les débattements du palonnier sont limités par des butées réglables situées au support du palonnier.

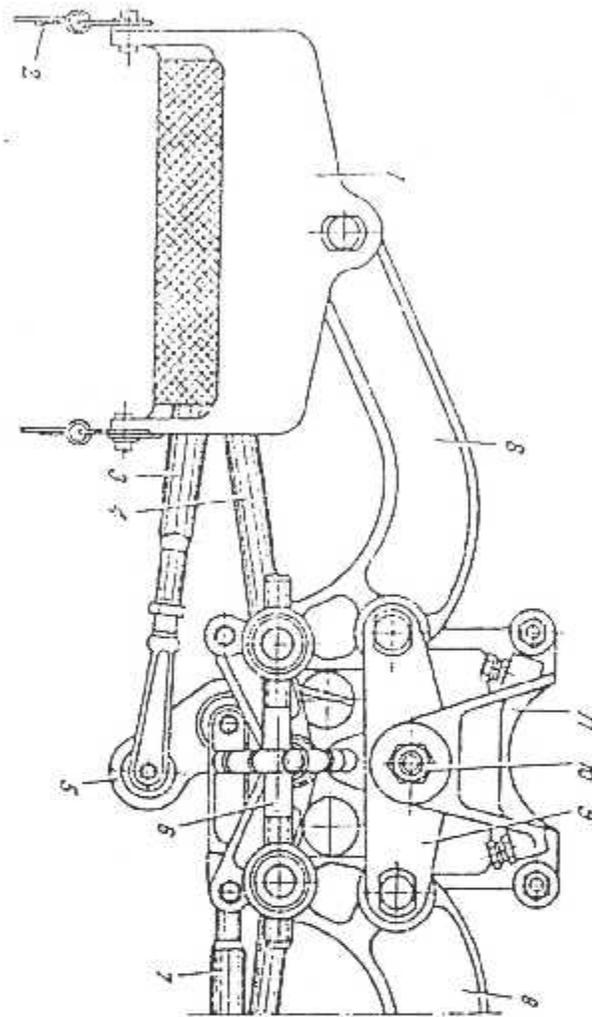
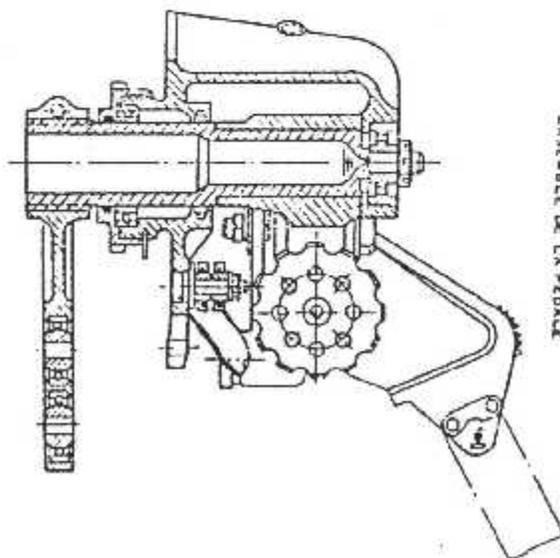


FIG (II 6) : PALANIER DE L'HELICOPTERE EQUIPE DU PILOTE AUTOMATIQUE.

1 - pédale; 2 - câbles; 3, 4 - trigleas; 5, 8 - lancers; 6 - vis de réglage; 7 - axe; 9 - axe; 10 - axe; 11 - support



ENTREE DE LA PEDALE

**II.5- commandes des mécanismes de sensation artificielle :****II.5.1- le rôle :**

Du fait que les commandes de vol en roulis, tangage et direction sont irréversibles et les forces aérodynamiques provenant du rotor sustentateur et du rotors anticouple et ne se transmettent pas, par conséquent, aux organes de commande, ces commandes comprennent des mécanismes de sensation artificielle servant à créer un gradient positif des efforts au levier de pas cyclique et au palonnier de direction, lorsque ceux-ci sont déplacés, ainsi que des mécanismes électriques qui permettent de compenser les efforts au levier et au palonnier de direction, lorsque leurs tiges sont sorties de 20mm.

La compensation des efforts aux organes de commande se fait automatiquement à l'aide d'un dispositif spécial assurant la commande des mécanismes et faisant parties de l'ensemble des mécanismes de sensation artificielle.

**II.5.2- la composition de mécanisme de sensation artificielle :(figureII.7)**

Le mécanisme de sensation artificielle des commandes en roulis, tangage et direction sont identiques et ne se différencient que par leurs caractéristiques de forces et dimensionnelles. Chaque mécanisme de sensation se compose d'un boîtier 1 d'une tige 10 et de deux ressorts 2 à caractéristique de force égales.

Les boîtiers des mécanismes de sensation sont de construction soudée : ils sont constitués par un type d'acier dont l'une des extrémités présente un fond portant une oreille munie d'un roulement à billes monté à la presse, tandis que sur l'autre extrémité est soudé un écrou dans le taraudage duquel se visse un couvercle 9. Le type reçoit extérieurement par soudage des bossages sur lesquels sont vissées les plaques de pression en acier 5 et les gaines matricées de duralumin 7 servant à protéger les mécanismes de sensation artificielle contre la pénétration de corps étrangers sur les boîtiers des mécanismes de sensation artificielle sont prévus des fontes longitudinales, diamétralement opposées servant de guidage pour le vis 6 de la tige.

Les tiges des mécanismes de sensation sont également de construction soudée : sur le tube d'acier servant de guidage de la tige est soudée une tête constituée par deux rondelles soudées entre elles et par deux parois longitudinales.

Deux mini-rupteurs 3 sont fixés par des vis entre les parois de la tête de la tige. Les mini-rupteurs sont isolés des parois de la tête de tige par des plaques de textolyte, de plus des surfaces intérieures de la tête de tige sont enduites du vernis isolant.

Les fils de mini-rupteurs gainés d'un type en chlorure de vinyle sont logés dans le type de la tige et sortent par la queue percée de la fourche 12 de la tige, ils sont fixés sur le type de la tige à l'aide du collier 11.

Les ressorts 2 de chaque mécanisme de sensation possèdent les mêmes caractéristiques dimensionnelles et de forces. Ils sont fabriqués à partir des

barres d'acier spéciales à ressort. La longueur des ressorts est telle que, pendant le montage des mécanismes de sensation, ils subissent un certain cirage préalable qui est différent pour chacune de commandes ( en roulis, tangage et direction).

La tête des mécanismes de sensation comporte un dispositif de pression produisant la fermeture des minirupteurs 3. Les vis 6 fixent les oreilles 15 sur la tête de tige. Sur les axes de ces oreilles sont articulées et les leviers 13 et les ressort 14.

L'axe de levier 13 porte les galets 4 : le montage se fait de façon à assurer de rotation facile de ces galets.

### **II.5.3- fonctionnement de mécanisme :**

Lorsque la tige du mécanisme de sensation est déplacée, le galet 4 se heurte contre le bord biseauté de la plaque 5 : Ceci provoque le pivotement de leviers 13 qui commence à actionner la tige de mini rupteur.

La fermeture de celui-ci s'opère au moment de l'écartement maximum du levier. A partir de ce moment de minirupteur reste fermé a toute la longueur de la course de la tige.

Le déplacement de la tige dans le sens inverse provoque l'ouverture de ce minirupteur suivi de l'ouverture de l'autre minirupteur. La position des plaques 5 est réglée de façon que la fermeture des minirupteurs ne se produit qu'après un certain déplacement de la tige du mécanisme de sensation par rapport à sa position neutre (centrale ). Cette course morte est édite zone d'insensibilité du mécanisme de sensation.

La zone d'insensibilité est la même pour tous les trois mécanismes de sensation : elle est réduite au minimum admissible pour assurer au pilote les conditions les plus favorables de manœuvre des commandes de vole pendant l'équilibrage de l'hélicoptère a tous les régimes de vol.

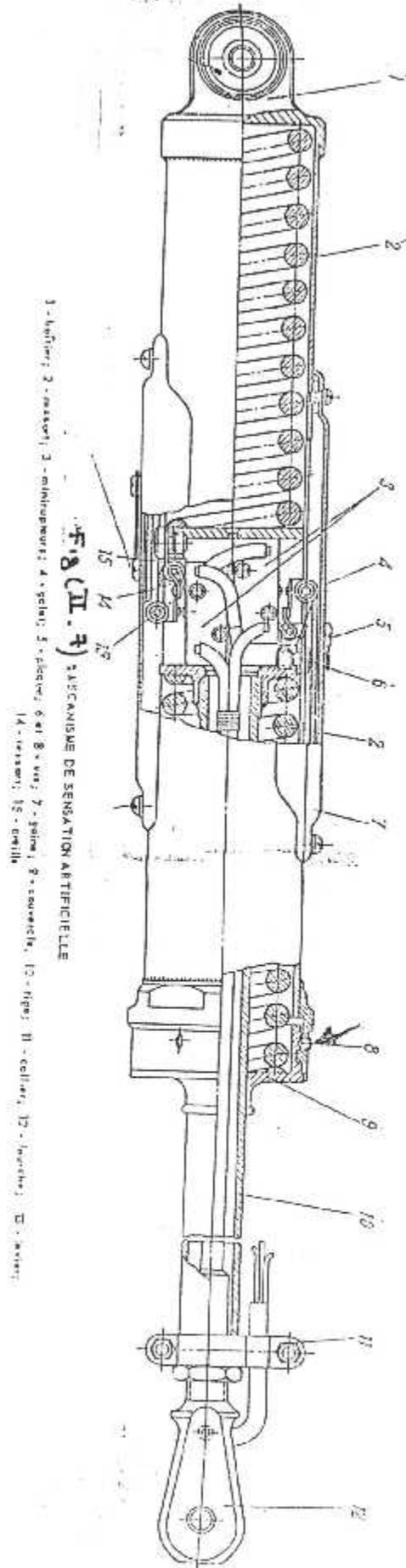


Fig. (II. 7) MECANISME DE SENSATION ARTIFICIELLE  
 1 - bouchon; 2 - ressort; 3 - minifrappeurs; 4 - galet; 5 - pignon; 6 et 8 - vis; 7 - pignon; 9 - ressort; 10 - frottoir; 11 - cellule; 12 - manche; 13 - ressort; 14 - ressort; 15 - dentelle

**II.5. 4- le montage des mécanismes : (figure II.8)**

Les ensembles de mécanisme de sensation artificielle sont identiques pour toutes les trois commandes de vol : Chacun d'eux comprend un mécanisme de sensation a ressort ( 1, 5 et 6) relie avec le mécanisme électrique au moyen du renvoi 2.

Les supports 7 sur lesquels sont articulés les corps des mécanismes électriques et les supports 4 portant les renvois 2 sont rivetés sur la carcasse du plancher du poste de pilotage.

Tous les éléments précités sont montés dans le plancher du poste de pilotage du coté droit, les renvois 2 tournent sur des supports matricés en alliage d'aluminium rivetés sur la carcasse du plancher.

En service on accède aux mécanismes de sensation artificielle par des portes aux panneaux facilement amovibles pratiquées dans la partie inférieure du plancher du coté de la soute.

Les mécanismes de sensation artificielle sont raccordés aux commandes de vol de la façon suivante :

La fourche de la tige du mécanisme de sensation des commandes en tangage et articulées sur le renvoi de la colonne de commande droite, l'oreille du boîtier de mécanisme de sensation des commandes en roulis est reliée avec la traverse de la colonne de commande droite, la fourche de la tige du mécanisme de sensation des commandes à pied est raccordée au levier du palonnier de direction droit.

La construction des mécanismes de sensation et le schéma électrique de branchement de ceci et des mécanismes électriques sur le réseau de bord électrique assurent la compensation automatique et simultanée des efforts dans tous les trois commandes de vol.

**II.5.5- la compensation des efforts :**

Un tel système de branchement simultanée des mécanismes de sensation et des mécanismes électriques pendant la mise en marche du pilote automatique assure la compensation automatique des efforts aux organes de commande en cas d'un changement de la position équilibrée de l'hélicoptère et permet d'éviter des déplacements brusques du manche à balai et des pédales au moment de débrayage du pilote automatique, ainsi que de prolonger le potentiel des mécanismes électriques ( origine de vol stabilisé par le pilote automatique les efforts au commandes de vol ne sont pas compensés et les mécanismes électriques restent inactifs).

La position du mécanisme de sensation et la sortie des tiges des mécanismes sont contrôlées d'après les indicateurs électriques montées au tableau de bord devant le pilote.

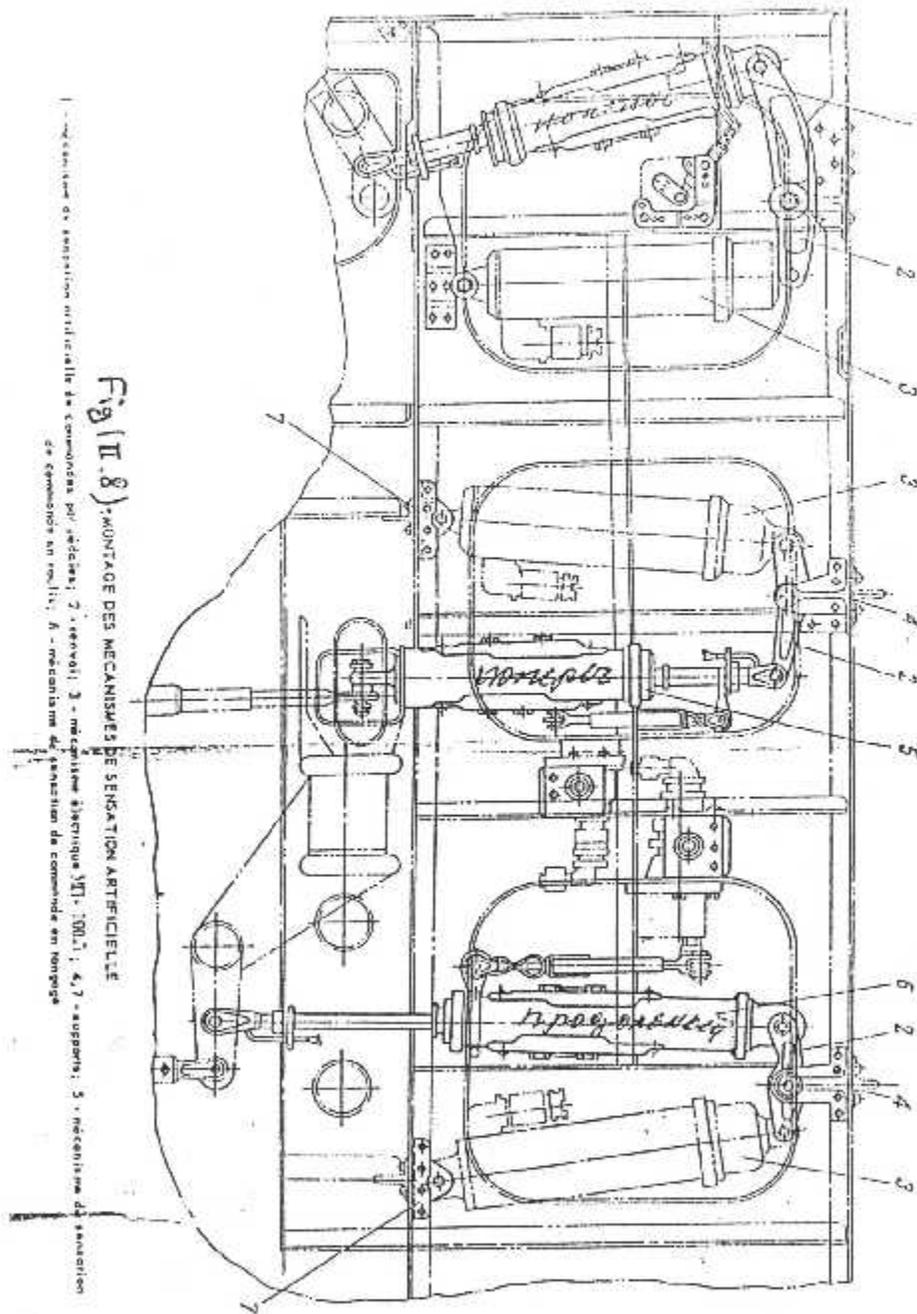


Fig (II.8) : MONTAGE DES MECANISMES DE SENSATION ARTIFICIELLE

1 - mécanisme de sensation verticale de commandes par câbles; 2 - servomoteur; 3 - mécanisme électrique; 4 - supports; 5 - mécanisme de sensation de commandes en roules; 6 - mécanisme de sensation de commandes en temps; 7 - supports de sensation

## **II.6- commandes de pas collectifs du rotor sustentateur et de gaz normal du moteur :**

### **II.6.1- Généralité :**

La commande de pas collectif sert à augmenter ou diminuer le changement simultané de l'angle de calage de toutes les pales, donc la variation de la poussée du rotor sustentateur tandis que la commande de gaz normal de moteur sert à varier la puissance du moteur par l'ouverture ou la fermeture de la vanne d'étranglement du moteur.

### **II.6.2 - levier de commande gaz-pas :**

#### **II.6.2.1- composition :**

Les leviers de commande « gaz-pas » sont montés sur le même arbre et se trouvent au poste de pilotage à gauche de chaque pilote. Ils se composent de :

##### **II.6.2.1.1- Un arbre de levier :(figure II.9)**

L'arbre de levier est constitué par le tube d'acier 9 dont les extrémités portent les brides soudées en acier 16 raccordées par trois boulons au corps gauche 8 et corps droit 14.

Les parties en bout des corps 8 et 14 portent les tourillons d'acier 1 fixé par les écrous 2 qui sont freinés par rapport au corps par des bagues d'arrêt 3.

Les corps 8 et 14 sont décalés l'un par rapport à l'autre de sorte que les deux leviers de commandes font un angle de  $15^{\circ}$ . Sur le tube de l'arbre des leviers est soudée le levier d'acier 12 sur lequel est articulée la tringle de commandes de pas collectif.

L'arbre 10 est constitué par un tube de duralumin sur lequel sont rivetés deux tourillons d'acier 13. les tourillons de l'arbre porte sur les corps 8 et 14 au moyen de deux roulements à bille. Le roulement de corps gauche 8 est montées à la presse, celui de corps droit 14 est de type flottant.

Les leviers 5 sont fixées sur les tourillons 13 par des écrous 6.

L'arbre 10 assure ainsi la liaison entre les poignées de puissances du levier gauche et du levier droit.

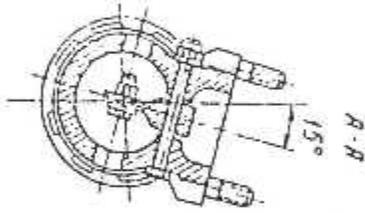
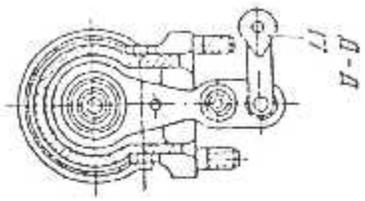
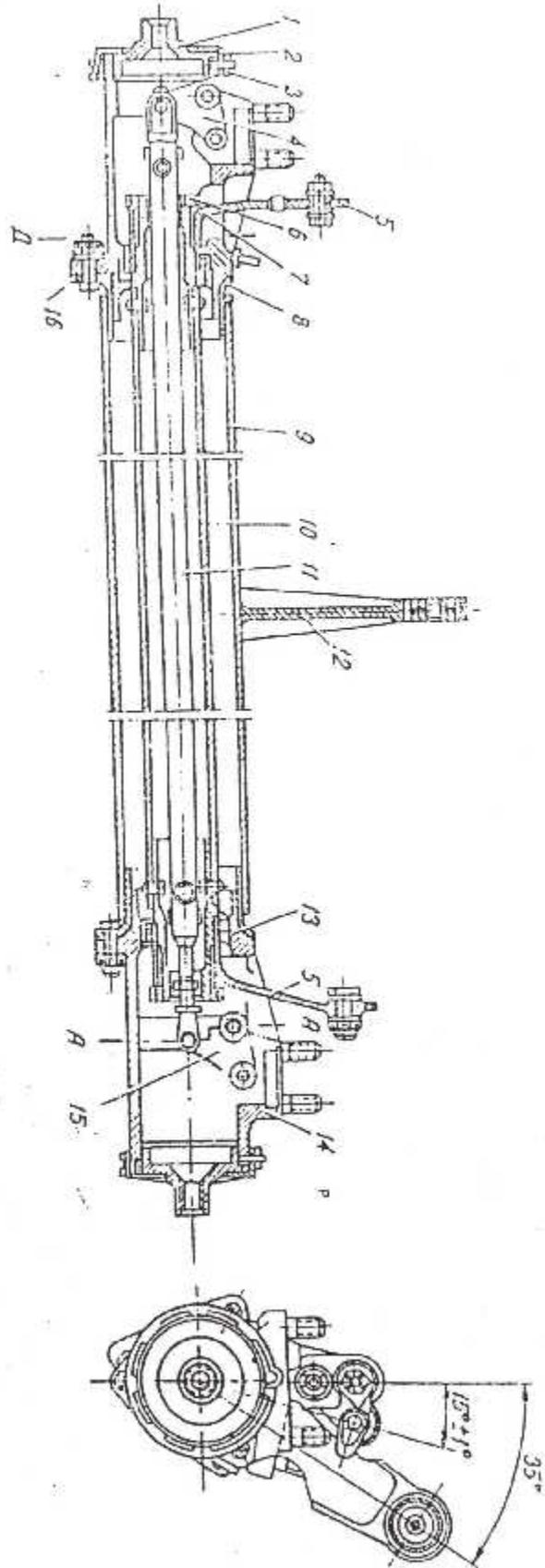


Fig. (L. 9) L'ARBRE DES LEVIERS DE COMMANDE "GAL-PAS"

- 1 - touffillon; 2, 5 - écrous; 3 - bougeon d'arrêt; 4 - renvoi; 5, 12 - leviers; 7 - tige; 8 - corps; 9 - tube; 10 - arbre; 11 - triangle; 13 - touffillon; 14 - corps; 15 - renvoi;
- 16 - tige; 17 - maille

### II.6.2.1.2- Un secteur denté :(figure II.10)

Le secteur denté en acier 19 est boulonné sur les supports 17 du levier gauche servant à immobiliser les leviers gaz-pas. En certaines positions intermédiaires, le pas des dents du secteur permet le réglage du pas collectif du rotor sustentateur tous les  $36^\circ$ . Les surfaces des dents du secteur sont cémentées. Le secteur comporte une butée de position basse du levier gaz-pas : cette position correspond à un pas collectif de  $3^\circ 30'$  des pales du rotor sustentateur. Cette butée se présente sous la forme d'un étrier fraisé en acier fixé sur le secteur par un boulon. Le tube 23 est la tige 30 du levier gauche gaz-pas présente des fontes pour le passage du secteur 19. A l'intérieur du levier gaz-pas et de leurs arbres sont montés des dispositifs de verrouillage des leviers sur le secteur 19. Ce verrouillage est effectué à l'aide d'un cliquet d'acier 21 fixé par une goupille dans le cylindre d'acier 22. La surface des dents du cliquet 21 est cimentée. Le ressort 7 repousse constamment le cylindre 22 vers le haut de sorte que le cliquet soit en prise sur les dents du secteur et immobilise le levier de commande dans la position voulue.

Pour débloquer le cliquet on presse sur la gâchette 34 articulées sur les pattes du capuchon 32. Celui-ci est vissé sur la partie supérieure de la poignée tournante et freinée par deux goupilles filetées. Lorsqu'on appuis sur la gâchette, le piston 33 se déplace vers le bas, actionne la tringle 29 articulée sur lui et sur le cylindre 22, comprime le ressort et, le cliquet se trouve écarté du secteur denté.

### II.6.2.1.3- Un poigné :

Aux extrémités supérieures des tiges de tous les deux leviers de commande sont montés sur deux roulements à billes, les poignées tournantes 31 sur lesquelles sont mis à la presse et fixés par des vis des écrous de bronze 28 au taraudage rectangulaire à huit filets. La poignée est en duralumin et porte extérieurement une couche de caoutchouc. Le roulement à billes inférieur est monté à la presse dans la poignée et serré contre celle-ci par un écrou 28 et par une rondelle. Le roulement à billes supérieur est du type flottant.

Lorsqu'on tourne la poigner 31 de  $50^\circ 30'$  dans le sens antihoraire (ouverture de la vanne d'étranglement), la vis 26 se déplace axialement de  $9.5 \pm 0.1$  mm vers le bas : Lorsqu'on fait tourner la poignée de  $45^\circ$  dans le sens horaire (réduction du gaz), la vis se déplace de  $9 \pm 0.1$  mm vers le haut.

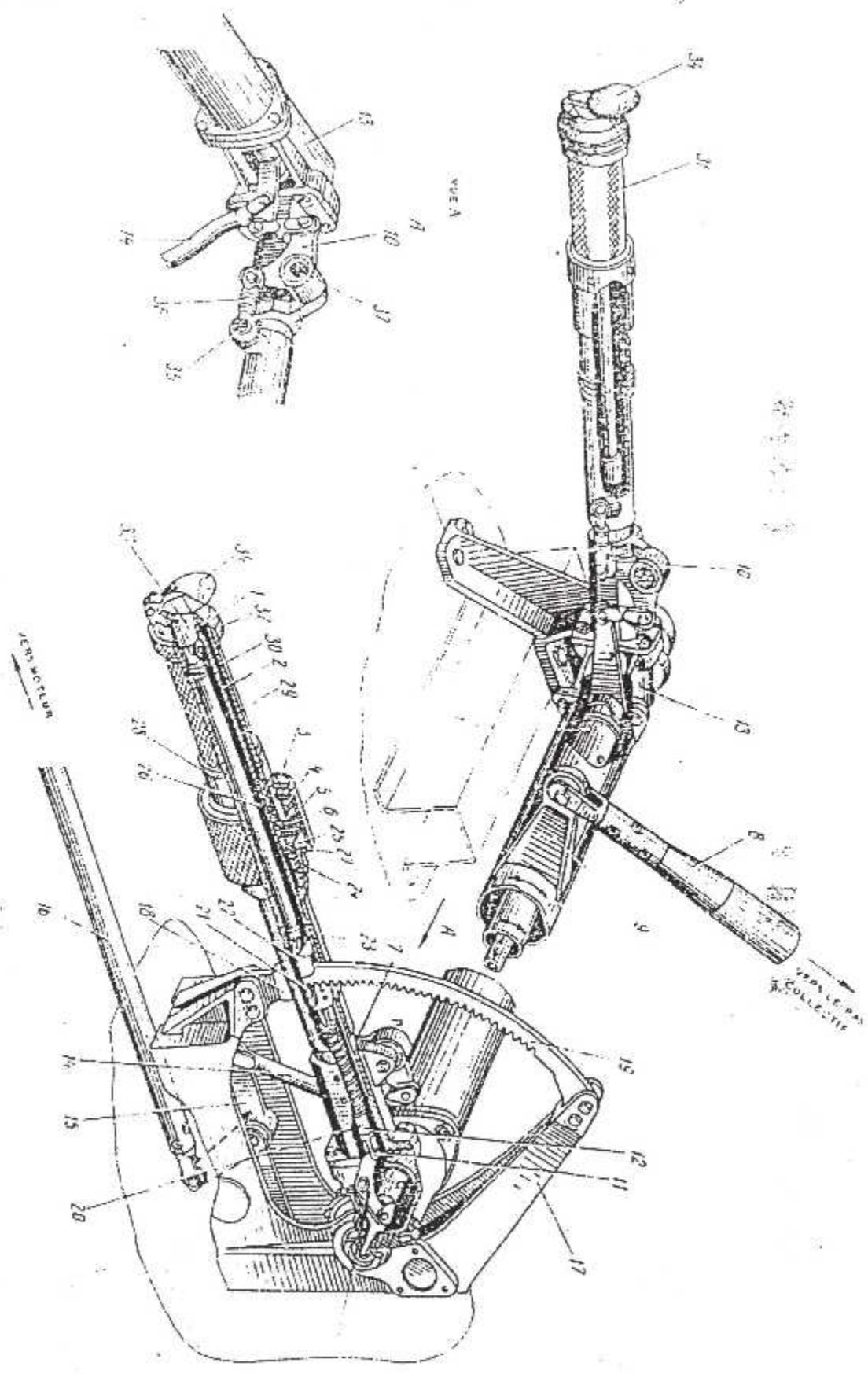


Fig (II 10) LEVIERS DE COMMANDE "CAT-PAS"

5. 24 vis écrou, 2 manœuvres de commande, 3 articulation, 4 et 7 vissés  
 5 et 6 disque à friction, 8 tige, 9 et 10 de commande, 3 leviers, 10 tiges  
 11 bague réglable, 12 clavette, 13 corps, 15 vissés, 17 supports

18. butée, 19 support, 21 cliquet, 22 cylindre, 23  
 24 enroule, 25 clavette, 26 vis, 28 tige, 29 pignion  
 30 pignon, 31 piston, 32 gauchette, 33 et 37 axes, 36 anvil

436

## II.7- Commande du frein du rotor sustentateur :

### II.7.1-définition :

Les commandes du frein du rotor sustentateur servent à freiner la transmission pendant le démarrage et le réchauffage du moteur, ainsi qu'à l'arrêt rapide du rotor sustentateur lorsque le moteur est coupé.

### II.7.2- Composition :(figure II.11)

Les commandes du frein du rotor sustentateur comprennent un levier de commande situé dans le poste de pilote à droite du pilote, des poulies de guidage en duralumin montées sur des supports en acier soudées, un câble avec un tendeur et un ressort de décharge situé devant le frein du rotor sustentateur.

Le levier de commande du frein est en tube de duralumin 5 dont l'extrémité supérieure porte la poignée en caoutchouc durci 4, tandis que son extrémité inférieure est rivetée sur le socle en duralumin 7 de levier. Le socle est articulé par deux roulements à billes et un boulon sur le support 15 coulé en magnésium boulonné sur le plancher du poste de pilotage.

Le socle est percé d'une fente pour le secteur denté 12 permettant d'immobiliser le levier de commande du frein dans la position voulue. Et d'une autre fente pour le cliquet 10 du dispositif de verrouillage. Le secteur est boonnées sur les pattes du support 15.

A l'intérieur du levier de commande du frein est monté un dispositif de verrouillage commandé par le bouton de caoutchouc durci 1 situé au bout de la poignée du levier.

La commande du dispositif de verrouillage comprend un bouton 1, un poussoir d'acier 2, un coulisseau 9 sur lequel est riveté le cliquet d'acier 10 et un ressort de rappel 11.lorsqu'on appuie sur le bouton, il se produit un déplacement du poussoir et le cliquet se trouve désengrené du secteur, en débarrassant le levier de commande qui peut ainsi être sollicité le long du secteur. Lorsqu'on relâche le bouton, le ressort de rappel met le cliquet en prise avec les dents du secteur.

Le levier de command du frein comporte des pattes auxquelles est attaché, par un boulon, le câble de commande se terminant par une cosse, ce câble est passe par une poulie montée sur une poulie montée sur un bossage du support du levier et mené vers une autre poulie située dans le plancher du poste de pilotage dans la zone du couple, puis vers une poulie montée un panneau du fuselage dans la soute et enfin vers une poulie se trouvant sous le plancher du compartiment du réducteur.

Le câble est introduit dans le compartiment par un trou encadré du plancher de ce comportement et attaché par la cosse de son extrémité à l'embout d'un tendeur reliant le câble à la tige du ressort de décharge.

Les poulies de guidage sont montées sur des supports en acier soudées fixées sur les éléments du fuselage. Pour retenir le câble dans les gorges des poulies, les supports comportent des limiteurs 13.

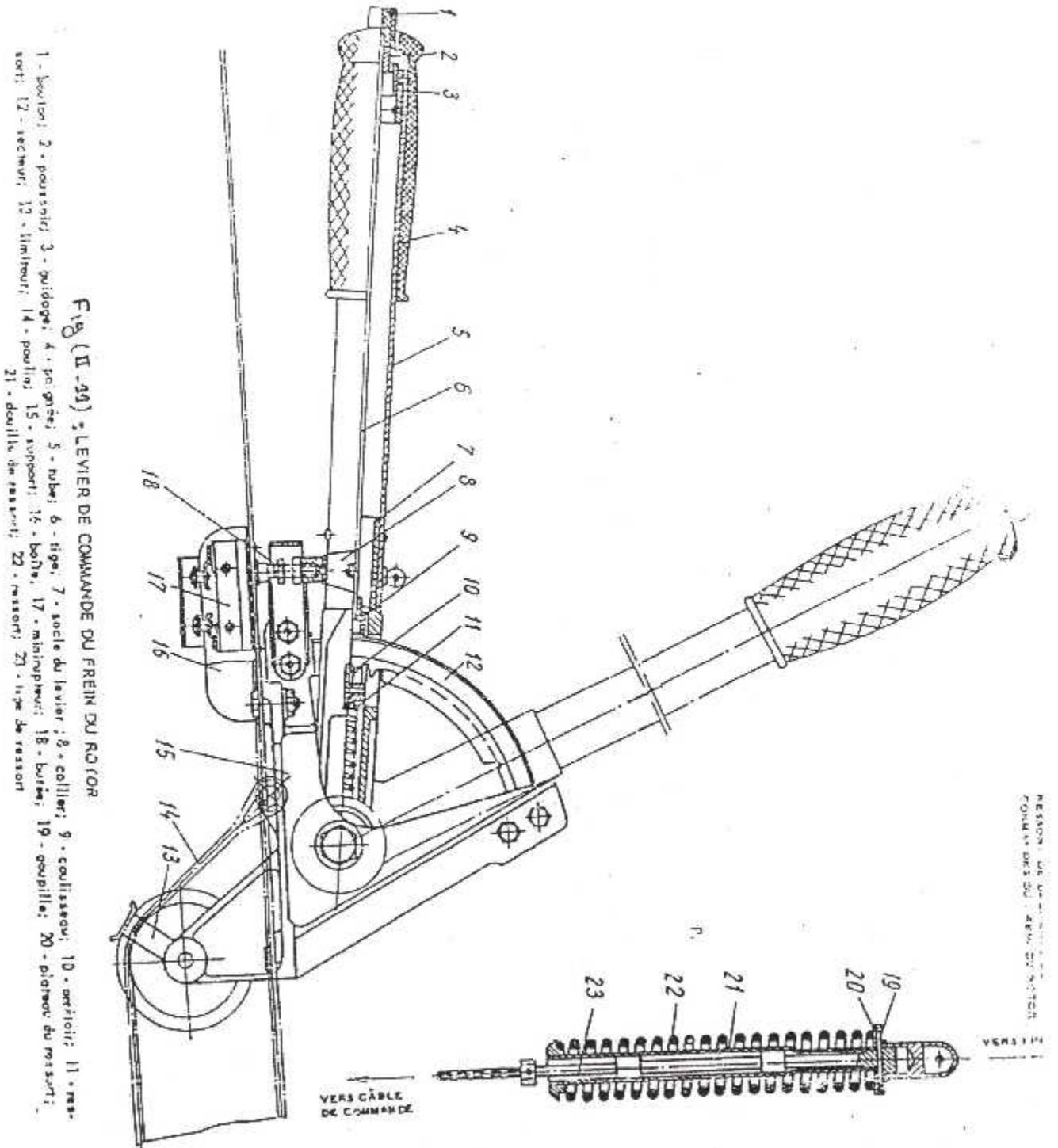


FIG (II-25) : LEVIER DE COMMANDE DU FREIN DU ROTOR

- 1 - bouton; 2 - poussante; 3 - guidage; 4 - poignée; 5 - tube; 6 - tige; 7 - socle du levier; 8 - coller; 9 - coulisseau; 10 - orfèvre; 11 - ressort; 12 - secteur; 13 - limitour; 14 - poillon; 15 - support; 16 - boîte; 17 - minipneu; 18 - boîte; 19 - œuille; 20 - plateau du ressort; 21 - douille de ressort; 22 - ressort; 23 - tige de ressort

Le ressort de décharge sert à limiter les efforts transmis des leviers de commande au frein du rotor sustentateur. Il se compose d'une tige 23, d'une douille 21, d'un plateau 20, d'une goupille 19 et d'un ressort proprement dit 22.

Le mouvement du levier de commande du frein est transmis à la tige du ressort de décharge par le câble de commande. Le déplacement de la tige provoque la compression du ressort ( la goupille se déplace dans une fente de la douille) : l'effort fourni par le ressort est transmis à la douille et au frein du rotor. La caractéristique de force du ressort de décharge est choisie de façon que, tant que l'effort au câble ne dépasse pas 30kgf, il travaille comme une tringle rigide et que, lorsque l'effort devient supérieur à cette valeur (le levier de commande en position extrême arrière), le ressort limite les efforts au câble à 150kgf, valeur nécessaire au freinage.

Quand le frein est desserré (levier de commande en position extrême basse), le câble de commande doit présenter un léger mou.

Pour éviter l'embrayage accidentel de l'accouplement de la transmission du moteur avec le frein serré du rotor sustentateur, le circuit électrique de commande de l'accouplement comprend un minirupteur 17 monté dans le plancher du poste de pilotage sous le levier de commande du frein de rotor.

Le levier comporte un collier 8 avec le boulon de butée 18. le levier étant en position extrême basse ( position « desserré »), la butée appuie sur la tige du mini rupteur et ferme le circuit de commande de l'accouplement ne peut se produire que lorsque le levier de commande se trouve dans cette position.

Si, au contraire le levier de commande est déplacé dans la position arrière, le mini rupteur coupe le circuit et l'embrayage de l'accouplement de transmission du moteur, est impossible.

# Chapitre III

## Fonctionnement des commandes de vol

**III.1-Introduction :**

Le fonctionnement des commandes de vol agira principalement sur le comportement du rotor suivant le changement de la portance en direction et en intensité qui provoque le changement de la position équilibre de l'hélicoptère.

**III.2- Commande à main:****III.2.1- Généralité :**

Les commandes à main servent à piloter l'hélicoptère en tangage et en roulis, et comprennent deux manches à balai, les tringleries de commande en tangage et en roulis et les servomoteurs PA-10 (voire figure III.1, rep 54 et 75).

**III.2.2- Le fonctionnement de commande à main : (figure III.1)**

Les traverses de la colonne gauche sont reliées par la tringle de commande en roulis au renvoi 16 monté sur un support dans le plancher de poste de pilotage, ce renvoi est le renvoi monté sur le support de la colonne gauche sont reliés par des tringles de commande en roulis 18 et de commande en tangage 22 au renvoi à sonnette 24 montés avec le renvoi 23 de commande en direction sur un même axe de rotation d'un support coulé en magnésium.

Sur les renvois 23 et 24, et sur leur support est monté un dispositif spécial à minirupteurs servant à débrayer le pilote automatique.

Les renvois 24 sont reliés par les tringles 25 et 26 aux renvois 27 et 28 montés sur des supports dans le compartiment de réducteur.

Les renvois 27 et 28/ sont reliés par les tringles 71 et 72 aux renvois 73 et 74 montés sur un support coulé en magnésium sur lequel sont fixés par des appuis les servomoteurs PA-10 de commande en roulis 54 et de commande en tangage 75.

Le support de fixation des servomoteurs est fixé sur le réducteur principal à l'aide de seize goujons.

Les embouts des tiges motrices de servomoteur sont reliés par les biellettes avec les renvois montés sur une plaque coulée en magnésium fixée sur le bâti de réducteur, les tringles d'acier de servomoteur transmettent les mouvements des renvois de celui-ci aux renvois 51 et 77 reliés par des tringles aux renvois de commande en roulis et en tangage de la commande cyclique de pas. Le manche à balai étant incliné de  $\pm 187^{+13}_{-8}$  mm (jusqu'en butée) dans le sens longitudinal, le plateau cyclique doit s'incliner de  $5^{\circ}30'_{-15'}$  vers l'avant et de  $4^{\circ}15' \pm 15'$  vers l'arrière, le déplacement du manche à balai de  $150^{+15}_{-10}$  mm dans le sens transversal doit correspondre à l'inclinaison du plateau cyclique de  $4^{\circ}20'_{+15}$  à gauche et de  $4^{\circ}15'_{-15}$  à droite.

### **III.3- Les commandes par pédales :**

#### **III.3.1- Introduction :**

Ces commandes permettent de piloter l'hélicoptère en lacets à l'aide du routier anti-couple.

#### **III.3.2- fonctionnement du palonnier : (figure III.1)**

Les déplacements du palonnier sont transmis par la tringle 12 au renvoi 13 monté sur support dans le plancher du poste de pilotage. Le renvoi 13 est relié par la tringle 15 avec le renvoi 23 monté sur le même support que ceux des commandes en roulis et tangage.

Comme dans les commandes en roulis et en tangage, le renvoi 23 comporte un dispositif spécial à minirupteur servant à débrayer le pilote automatique aux débattements limités du palonnier de direction.

Du renvoi 23 part une tringle allant vers le renvoi 29 monté sur le support coulé en magnésium 31 sur le quel est fixé par des appuis un servomoteur PA-10 des commandes a pied.

Derrière le servomoteur est fixé par les goujons de la plaque en magnésium un support en acier soudé pour le transmetteur à réaction d'asservissement du pilote automatique.

Le levier de transmetteur est relié avec le renvoi 34 par une tringle réglable. Une tringle reliée le renvoi 34 avec le renvoi 39 monté sur le couple n° 9 du fuselage, entre ce renvoi et le secteur 82 monté sur le réducteur intermédiaire, les tringleries de commande se trouvant en haut de la partie supérieur de fuselage et de la poutre de queue sont situées parallèlement à l'arbre d'entraînement du rotor anticouple à gauche de cet arbre (regardant dans le sens de vol).

La tringle 81 munie d'un embout spécial en acier est articulée sur le secteur. L'embout de la tringle présente une fente longitudinale dans laquelle s'engage le secteur lorsqu'il se trouve incliné dans la position extrême.

Le secteur est matricé en alliage d'aluminium et comporte une oreille dans laquelle est monté à la presse un roulement servant à l'articulation de la tringle et deux autres oreilles pour le raccordement des câbles.

Les extrémités des câbles 84 sont serties dans des embouts spéciaux fixées par boulons sur les oreilles des secteurs et sur les extrémités de la chaîne de tringle de commande, le câble est retenu dans la gorge du secteur par deux limiteurs de celui-ci, le secteur est monté sur deux roulements à billes portés par un tourillon dont la bride est fixée par quatre goujons solidaires du carter du réducteur intermédiaire. Le câble comprend deux tendeurs de réglage 83 servant à obtenir sa tension nécessaire pendant le montage et le réglage des commandes et à rattraper le mou du câble en cours d'utilisation, la chaîne de commande est passée sur la noix de réducteur arrière.

**III.3.3- fonctionnement des rotors anticouple :**

Les déplacements des palonniers de direction dans le poste de pilotage sont transmis à la noix du réducteur arrière: Cette noix est reliée à la tige de ce réducteur par un engrenage à vis sans fin. Pour une course de  $190^{+5}_{-20}$  mm du palonnier de direction la tige de réducteur arrière se déplace de  $57.5 \pm 0.5$  mm et fait varier l'angle de calage des pales de rotors anticouple.

Si c'est la pédale gauche qui est déplacé vers l'avant, la tige du réducteur est sortie et diminue l'angle de calage des pales (la pédale gauche étant poussée à la position extrême avant, cet angle doit être de  $-8^{\circ}15' \pm 35'$ ).

Lorsqu'on pousse la pédale droite, l'angle de calage se trouve augmenté et devient égal à  $+20^{\circ}15' \pm 25'$ .

### III.4- commande de pas collectifs : (figure III.1)

#### III.4.1- fonctionnement :

La tringle 56 portant du levier 68 de l'arbre des leviers (gaz-pas) est raccordée au renvoi 55 matricé en alliage d'aluminium. Ce renvoi est monté dans le compartiment de réducteur sur un support boulonné sur la carcasse du fuselage. Ce support est également matricé en alliage d'aluminium.

La tringle 53 relie le renvoi 55 avec le renvoi soudé en acier 52 articulées sur une plaque coulée en magnésium. Cette plaque est fixée par huit boulons sur le bâti du réducteur.

Le renvoi 52 est constitué par un tube d'acier sur le quel sont soudées deux cylindres munis de roulements à billes. L'un de ces roulements est monté à la presse et serti, l'autre est flottant.

Un manchon d'écartement est placé à l'intérieur du tube entre les bagues intérieures des roulements à billes. Sur le tube du renvoi sont soudées deux leviers d'aciers munis de roulements à billes. L'un de ces leviers est raccordé à la tringle de commande, l'autre est articulée sur le renvoi 55 de la servocommande hydraulique (ce renvoi sert à actionner de terroir distributaire de celle-ci).

La servocommande hydraulique est montée sur une plaque de magnésium de la même façon que les servomoteurs des commandes à main et à pied.

La commande de pas collectif s'opère de la façon suivante :

Lorsque le pilote sollicite le levier gaz-pas, les mouvements de celui ci sont transmis au terroir distributeur de la servo-commande par les tringles 56 et 53 et les renvois 55 et 52.

La tige motrice de la servocommande hydraulique actionne le levier de pas collectif 47 du plateau cyclique par l'intermédiaire de la biellette d'acier 49 et provoque le déplacement du coulisseau du plateau cyclique sur le guidage suivant l'axe du réducteur principal.

Avec la commande cyclique de pas on met en mouvements ces quatre tringles à l'aide desquelles on fait tourner simultanément les pales par rapport aux charnières axiales. Ils sont suit la variation du pas collectif du pal du rotor principal.

L'angle de débattement du levier gaz-pas entre la position extrême basse et la position extrême haute ( avec la butée de limitation montée à sa place ) est égale à  $50^{\circ}$ , ce qui correspond au déplacement maximal de 33 mm du coulisseau du plateau cyclique et au changement du pas collectif des pales du rotor sustentateur de plus  $3^{\circ} 30'$  ( position extrême basse du levier des commandes gaz-pas ) à  $+14^{\circ} -1^{\circ}$  (Position extrême de leviers de commande).

L'angle de calage du pas collectif des pals du rotor sustentateur est contrôlé par un indicateur situé au tableau de bord devant le pilote.

Le transmetteur de cet indicateur est monté sur le carter du réducteur principal, son entraîneur est relié aux coulisseaux du plateau cyclique.

#### **III.4.1- Commande de gaz normal : (figure III.1)**

Les tringleries de commande de pas normal comprises entre le levier gaz-pas et le mécanisme à came 66 sont montées dans le plancher du poste de pilotage. Le revois de commande 15 (figure III.2) monté sur le support en magnésium 17 est relié par la tringle 17 (figure III.1) avec le renvoi 14 monté sur un support riveté sur la carcasse du plancher, l'autre bras du renvoi 14 est relié au levier supérieur du mécanisme à came. Pour pouvoir accéder aux tringles de commande et aux mécanismes à came, on a prévu des panneaux amovibles dans le revêtement inférieur du plancher du poste de pilotage des cotés de la soute à fret. Les tringleries de commande partant du levier inférieur de mécanisme à came sont situées dans le compartiment de ventilateur et dans les parties supérieures et avant du capot.

Le renvoi de commande 1 est monté sur un support boulonné sur la carcasse du plancher du poste de pilotage. Le support du renvoi 2 est boulonné sur la paroi avant inclinée du poste de pilotage, le support de renvois 9 est monté sur l'anneau du bâti-moteur.

Les deux autres renvois 3 et 5 sont montés sur les mêmes supports que ceux de commande d'arrêt du moteur. Le support du renvoi 5 est boulonné sur un profilé de la carcasse du capot, le support soudé du renvoi 9 est monté sur l'anneau de bat-moteur. Dans la partie avant du capot se trouve un renvoi 9 monté sur deux supports soudés rivetés sur les profilés de la carcasse du capot, ce renvoi se compose d'un tube d'acier sur le quel sont soudées deux oreilles munies de déroulements à billes montées à la presse, un manchon fileté et un levier servant à l'articulation de la tringle de la commande. Dans le manchon fileté se visse une oreille avec roulement à billes qui est relié par une tringle 8 au renvoi monté sur la tige du régulateur de pression. En réglant l'oreille du renvoi 9, on obtient la gamme nécessaire d'angle d'ouverture de la vanne d'étranglement entre les butées de plein gaz et de gaz réduit du moteur. Les tringles de commande 7 et 8 se représentent sous la forme de tendeur fabriqué par tournage à partir des barres d'acier et comportent des embouts au filetage à gauche et à droite.

Le régulateur de pression constant monté sur le moteur n'est pas commandé, son levier d'accélération est toujours maintenu dans la position **décollage** à l'aide d'une butée spéciale. Cette butée en tôle d'acier est montée sur l'axe du levier d'accélération du régulateur de façon qu'il s'appuie d'une part sur un bossage du corps du régulateur et de l'autre maintient en position de levier de régulateur.

### III.4.2- Mécanisme à came : (figure III.2)

Le mécanisme à came constitue un ensemble isolé monté dans un boîtier démontable.

Le boîtier 1 coulé en alliage de magnésium, se compose de deux couvercles assemblés par neuf boulons. Le couvercle supérieur présente quatre oreilles percées à l'aide desquelles le mécanisme est boulonné sur les profils du plancher du poste de pilotage. Le boîtier renferme une came 4 et un entraîneur 6 dont l'extrémité porte un roulement à billes fixé par un boulon et situé dans une rainure profilée de la came.

La came est fabriquée à partir d'une pièce matricée en acier, la rainure profilée est réalisée sous la forme d'une échancrure curviligne fermée à largeur constante. Les surfaces latérales de l'échancrure sont meulées. La came comporte l'axe 10 fixé par trois rivets et qui sert à la monter dans le boîtier à l'aide de deux roulements à billes mis à la presse dans les couvercles du boîtier. La partie supérieure prolongée de l'axe de la came est dotée de cannelures, elle émerge du boîtier et porte le levier 2 articulé sur la tringle de commande de gaz normal relié au levier « gaz-pas », ce levier est fixé sur l'axe par un boulon de serrage.

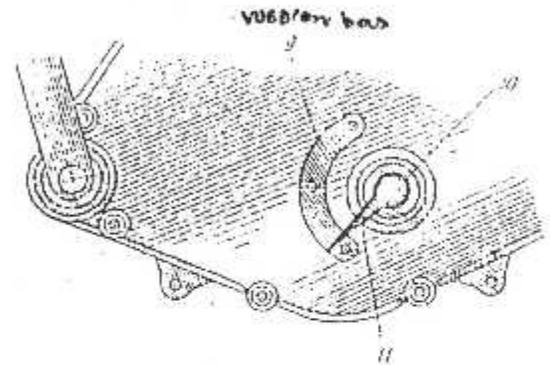
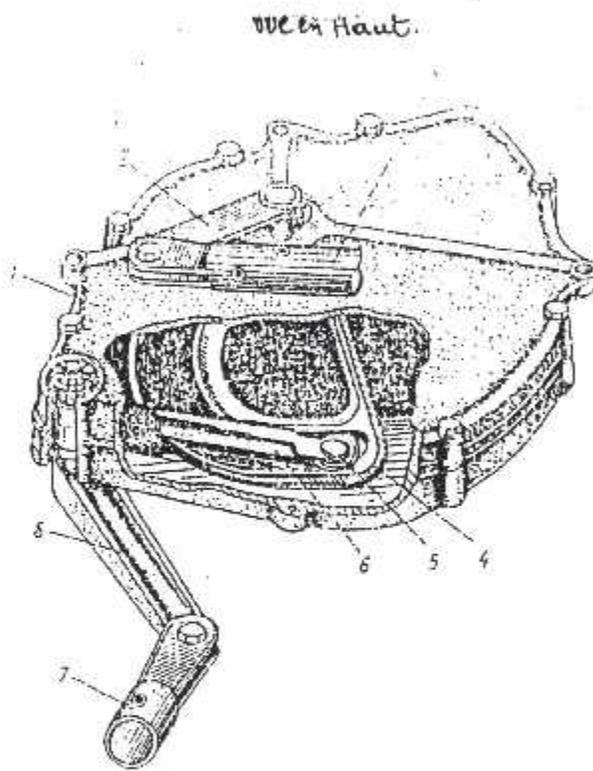
L'entraîneur 6 en acier embrasse la came par ses flasques et maintient dans son échancrure le roulement à billes fixé par un boulon entre ces flasques.

La partie inférieure de l'axe de l'entraîneur sort du boîtier et présente des cannelures pour la fixation du levier 8 dont les mouvements sont transmis à la vanne d'étranglement du moteur par l'intermédiaire de la tringlerie de commande, ce levier est fixé sur l'axe par un boulon de serrage. Les leviers 2 et 8 sont matricés en alliage d'aluminium.

Lorsqu'on manœuvre le levier « gaz-pas » ou la poignée tournante, les mouvements de ces organes sont transmis par la tringlerie de commande au levier 2 qui provoque une rotation de la came. Les mouvements angulaires uniformes de celle-ci sont transformés, par l'échancrure et le roulement à billes se déplaçant dans cette échancrure, en mouvement varié de l'entraîneur 6 et du levier 8 qui est solidaire de cet entraîneur.

Ces mouvements du levier, qui varient selon l'angle de rotation de la came, provoquent les déplacements nécessaires de la tringlerie de commande de la vanne d'étranglement du moteur en fonction du profil de l'échancrure de la came.

La paroi inférieure du boîtier du mécanisme à came porte une plaquette signalétique 9 et une aiguille 11 fixée sur l'axe de la came. Deux repères blancs de la plaquette correspondent à deux positions extrêmes du mécanisme, c'est-à-dire aux positions dans lesquelles le roulement à billes de l'entraîneur vient buter contre les extrémités de l'échancrure de la came. Le repère rouge permet de mettre le mécanisme à came dans la position correspondant au régime de ralenti.



MECANISME A CAME

1 - point de pivot, 2 et 8 - leviers, 3 et 7 - triangles, 4 - came, 5 - entraîneur, 6 - plaque scissale, 10 - axe, 11 - aiguille

### III.5- Commande de stabilisateur : (figure III.1)

Les commandes du stabilisateur sont accouplées avec celles de pas collectif du rotor sustentateur et sont destinées à faire varier l'angle d'incidence du stabilisateur en cas d'un changement de pas des pales du rotor sustentateur.

La tringle de commande en acier 46 est raccordée sur un doigt du rapport du renvoi de commande en roulis du plateau cyclique et sur le renvoi 44 monté sur l'anneau du bâti du réducteur.

Le renvoi de commande 44 est relié par une tringle avec le renvoi 43, les tringleries partant de ce dernier renvoi sont logées dans la partie supérieure du fuselage et dans la poutre de queue parallèlement aux tringles des commandes à pied. Les tringles de commande sont articulées sur des renvois montées sur les mêmes supports que ceux des commandes à pied. La dernière tringle de commande 78 est raccordée sur un levier solidaire du longeron du stabilisateur.

Les mouvements du coulisseau du plateau cyclique sont transmis par les tringleries de commande au stabilisateur et provoquent une variation de l'angle d'incidence de celui-ci : Il en résulte que le stabilisateur produit un couple de tangage correspondant au régime de vol.

La mise de l'hélicoptère en régime d'autorotation se produit au pas minimal des pales du rotor sustentateur. Dans ce cas le stabilisateur se trouve dans la position d'incidence négative maximum de  $-7^{\circ} \pm 1^{\circ}$  ( le bec vers le bas). Un couple cabrer ainsi produit empêche l'hélicoptère de se mettre en piqué. Au pas maximal des pales du rotor sustentateur correspond une incidence positive de  $+10^{\circ} \pm 2^{\circ}$  du stabilisateur (le bec vers le haut) .

Pour améliorer les conditions de fonctionnement de la ferrure d'articulation de la tringlerie de commande sur le plateau cyclique, le doigt de celui-ci est muni d'un graisseur permettant la lubrification des surfaces de frottement.

L'embout de la tringle raccordé sur le doigt de la commande cyclique de pas est mis sous une gaine de caoutchouc qui le protège contre les poussières ou l'encrassement au cours du service.

*Conclusion*

## Conclusion :

L'hélicoptère est une réussite technologique très importante dans le domaine de l'aéronautique.

La préparation de ce mémoire m'a fait connaître les commandes de vol de l'hélicoptère et leurs effets sur le comportement du rotor.

Le sujet que j'ai étudié et qui est très vaste m'a permis d'approfondir mes connaissances, en aéronautique surtout en ce qui concerne l'hélicoptère et ces commandes

# *Bibliographie*

# Bibliographie

1. **hélicoptère manuel du pilotage – JEAN COURVOISIER-**  
édition Chiron 1999.
  
2. **cours hélicoptère par- (F.D'AMBRA, G.GENOUX,**  
**M.LAFARGUE et J.M.POURADIER).** école national supérieur  
d'ingénieur de construction aéronautique – **Toulouse** –  
édition provisoire 1980.
  
3. thèses et magazines
  - thème (**technologie de l'hélicoptère** ) par Soufari Abdel  
latif et Aksil m<sup>ed</sup> Seghire .-promotion 1991- I.A.B-
  - **théorie élémentaire de l'hélicoptère** – rédigée et illustrée  
par **ROGER RALETZ** édition 1980
  
4. cite Internet **www.google.fr**