

L'ÉVOLUTION RÉCENTE DE L'HÉLICE AÉRIENNE

par J. LEDROIT

Les progrès enregistrés ces dernières années par l'aviation ne sont pas dus seulement à l'emploi de moteurs plus puissants et suralimentés et à l'augmentation de la finesse des cellules. Une part importante des résultats obtenus revient sans conteste à l'organe propulseur lui-même, l'hélice, dont la forme et le fonctionnement ont fait, depuis d'ailleurs une douzaine d'années à peine, l'objet d'études très poussées et de réalisations des plus ingénieuses. L'hélice bipale en bois a fait place aux hélices tripales et quadripales en alliage léger ou en matière plastique. Aux pales fixes ont succédé les pales orientables en vol grâce auxquelles, à chaque instant, les conditions de fonctionnement de l'hélice s'adaptent à celles du moteur, conférant ainsi à l'ensemble du groupe motopropulseur le maximum de souplesse en même temps que de rendement. Chef-d'œuvre de mécanique de précision et d'équilibrage, l'hélice à pas variable automatique fait aujourd'hui partie intégrante de l'équipement de l'avion moderne à performances élevées au même titre que le compresseur à plusieurs vitesses, le train d'atterrissage escamotable et les dispositifs hypersustentateurs.

UNE hélice comprend deux, trois ou quelquefois quatre pales, qui en sont les éléments actifs et qui sont réunies par un moyeu. Ce dernier assure la liaison avec l'arbre moteur, généralement par un intermédiaire cinématique important, mais dont nous ne parlerons pas ici : le réducteur.

Le calage et le pas d'une pale d'hélice

La figure 1 représente schématiquement une pale d'hélice et les sections de cette pale par une série de plans perpendiculaires à l'axe de la pale (1). On remarquera tout de suite que ces sections droites ont toutes des allures différentes, variant d'une manière continue depuis le pied de la pale jusqu'à son extrémité. Leur forme est celle d'un profil d'aile. Leur orientation est définie par l'angle que fait la corde de référence de ce profil avec le plan de l'hélice, angle qui a reçu le nom de *calage*. On voit sur la figure 1 que ce *calage* varie tout le long de la pale, allant en décroissant depuis le pied jusqu'à l'extrémité.

Si l'on considère une section particulière de la pale, définie par sa distance à l'axe de l'hélice et son calage, on met facilement en évidence un des éléments d'importance primordiale liés à cette section : son *pas*. C'est celui de l'hélice géométrique qui aurait même axe que l'hélice considérée et serait tangente à la section considérée, donc serait caractérisée par un angle précisément égal au calage. C'est en somme le pas du filet de vis suivant lequel le profil en question se visserait dans l'air en supposant celui-ci aussi résistant qu'un bloc de bois où pénétre une vis. On voit donc que ce pas, comme tout à l'heure le calage, varie tout le long de la pale, suivant une loi d'ail-

(1) Cet axe peut se définir comme étant, pour les hélices à pas variable (voir plus loin), l'axe de rotation de la pale elle-même; pour les hélices à pas fixe, une droite voisine du lieu géométrique des centres de gravité des différentes sections droites.

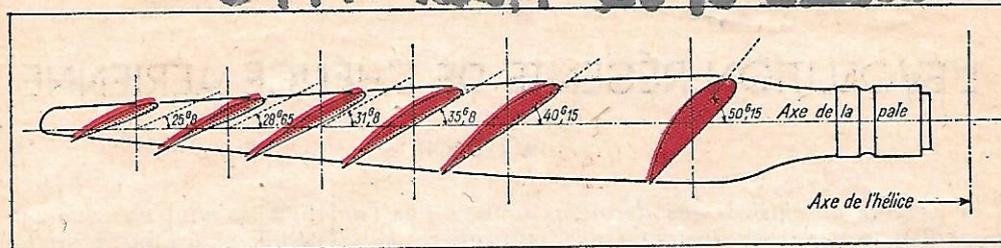
leurs différente de celle que suit le calage, car il dépend non seulement du calage, mais aussi de la distance du profil considéré à l'axe de l'hélice.

Cette variation du pas quand on passe d'une section à une autre d'une même hélice n'apparaît pas dans l'expression assez impropre d'hélice « à pas fixe », qui désigne à proprement parler une hélice à *calage fixe* et non une hélice dont le pas serait constant tout le long de la pale. Le qualificatif d'hélice « à pas variable » désigne, dans le langage courant, une hélice dont le calage des différentes sections peut être modifié en vol par un mécanisme approprié. Nous en verrons de nombreux exemples plus loin. L'intérêt de cette catégorie d'hélice est mis en évidence par l'analyse du comportement d'une pale que nous allons maintenant exposer, non rigoureusement, car la théorie du fonctionnement de l'hélice est compliquée et fait appel à un appareil mathématique important qui ne saurait trouver sa place ici, mais en raisonnant par analogie avec les phénomènes aérodynamiques autour d'un profil d'aile classique.

Le principe du fonctionnement d'une hélice

Prenons, en premier lieu (fig. 2), une aile d'avion vue de profil et supposée, pour simplifier, illimitée. Sa corde de référence AB est inclinée de l'angle i sur la direction générale du mouvement de l'aile, marquée par la vitesse V . L'ensemble des actions de l'air sur cette aile équivaut à une force que l'on décompose aisément en deux : une horizontale opposée à la direction du mouvement, et dite *traînée*, l'autre verticale, et dite *portance*. La *traînée* est équilibrée en vol horizontal par la traction du groupe motopropulseur; elle caractérise la résistance du planeur à l'avancement, d'où son nom. La portance équilibre le poids et assure ainsi la sustentation de l'ensemble, d'où également son nom.

EPPA TWA in 2002



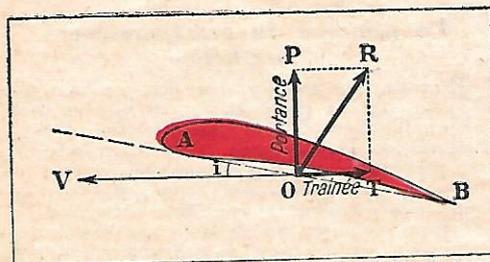
T W 25024

FIG. 1. — UNE PALE D'HÉLICE ET SES DIFFÉRENTS PROFILS

Il s'agit ici d'une pale d'hélice tripale Ratier de 2,30 m de diamètre, à pas variable. Les sections ont été faites par des plans perpendiculaires à l'axe de la pale et rabattues sur le plan de l'hélice, de manière que les bords d'attaque soient tournés vers le pied de la pale. Les angles indiquent les « calages » des différents profils; on voit qu'ils vont en décroissant depuis le pied de la pale jusqu'à l'extrémité.

Revenons maintenant à la pale d'hélice et isolons-en une tranche limitée par des sections très voisines, suffisamment rapprochées pour qu'on puisse admettre que le calage ne varie pas sensiblement d'une section à l'autre. Malgré l'extrême petitesse de son envergure, nous assimilerons ce petit tronçon de pale à une aile. Sa vitesse par rapport à l'air ambiant résulte de la composition de la vitesse générale de translation de l'avion V (fig. 3) et de la vitesse de rotation v , d'autant plus grande que ce tronçon de pale est plus éloigné du moyeu. La résultante de ces deux vitesses est figurée en OW , de sorte que l'on voit apparaître l'incidence comme la différence entre le calage α et un angle β qui ne dépend que du rapport des deux vitesses d'entraînement et de rotation. Pour une valeur donnée de ce rapport, on voit que l'incidence varie exactement comme le calage. C'est là une remarque essentielle et qui a d'importantes conséquences.

Pour un avion de chasse courant, la vitesse V est de l'ordre de 180 m/s (540 km/h). Supposons que l'hélice tourne à 40 tours par seconde (2400 t/mn). A une distance de l'axe égale à 1,50 m, W a pour valeur 360 m/s et β est de l'ordre de 26°; à 1 m de l'axe, on trouve respectivement 240 m/s et 37°; à 0,5 m, on a de même 120 m/s et 56°. Le calage de chaque section s'obtient en ajoutant, à chacun de ces angles, l'incidence la plus favorable, compte tenu de la forme du profil et de la vitesse résultante W qui lui correspond. On voit que ce calage doit varier très fortement depuis le moyeu jusqu'à l'extrémité de la pale.



T W 25020

FIG. 2. — LA « PORTANCE » ET LA « TRAINÉE » D'UN PROFIL D'AILE

Le profil AB est incliné de l'angle i (incidence) sur la direction de la vitesse V . Les forces aérodynamiques résultantes sont équivalentes à OT et OP : la trainée qui s'oppose au mouvement, et la portance qui assure la sustentation.

Sur la figure 3, nous pourrions marquer, comme sur la figure 2 la résultante R , des efforts aérodynamiques qui s'exercent sur le tronçon de pale. Nous la décomposerons ici suivant les deux forces composantes T_1 , dans la direction du vol, et N_1 dans le plan de l'hélice normalement à la pale. T_1 caractérise la « traction » de l'élément de pale. N_1 s'exerce à une distance de l'axe de l'hélice égale à celle de l'élément de pale se traduit par un couple élémentaire C_1 . Les valeurs de C_1 et T_1 , pour une même vitesse de vol et une même vitesse de rotation de l'hélice varient avec l'incidence, donc, comme nous l'avons vu, avec le calage.

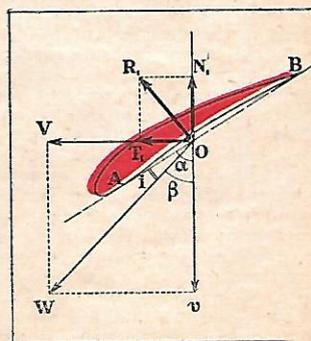
En faisant la somme de toutes les tractions élémentaires, telles que T_1 et de tous les couples élémentaires tels que C_1 correspondant aux différents tronçons de la pale, nous voyons qu'en définitive l'hélice, par sa rotation, fait apparaître un effort de traction T , somme de tous les efforts T_1 , qui ne sera maintenu qu'à condition d'assurer, par le moteur, la permanence d'un couple C , somme de tous les couples C_1 . Toutes choses égales d'ailleurs, les valeurs de la traction et du couple moteur sont fonction du calage de la pale, remarque qui met déjà en évidence l'intérêt du pas variable, notion que nous allons préciser.

La nécessité du « pas variable » sur les avions modernes

Portons notre attention sur la puissance utile.

FIG. 3. — LA « TRACTION » ET LE « COUPLE RÉ-SISTANT » D'UN ÉLÉMENT DE PALE

Le mouvement de l'élément de pale AB est défini par les deux vitesses: V (d'entraînement) et v (de rotation), qui se composent en W . L'incidence apparaît ainsi en i et le « calage » en α . Les actions aérodynamiques équivalent à OT_1 et ON_1 : traction de l'élément de pale et effort résistant, lequel, s'exerçant à une certaine distance de l'axe de rotation de l'hélice, engendre le couple résistant à vaincre par le moteur.



T W 25019

Elle est égale au produit de l'effort de traction par la vitesse de translation. On voit, puisque cet effort de traction dépend du calage, que toute modification de ce dernier aura une répercussion sur la puissance utile.

On sait que, jusque vers 1928-1930, les avions en service avaient un faible « écart de vitesse ». Autrement dit, la vitesse maximum en palier, à plein gaz, restait toujours du même ordre de grandeur que la vitesse minimum compatible avec la sustentation. Par exemple, un avion courant avait une vitesse maximum de 180 km/h et une vitesse minimum de 100 km/h.

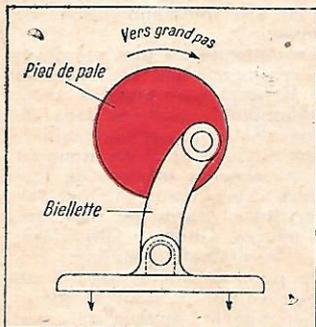
Au fur et à mesure que les performances s'amélioraient, on a vu apparaître des écarts considérables, tels que la vitesse maximum en palier à pleins gaz et la vitesse minimum avaient des ordres de grandeur nettement différents : aujourd'hui, la vitesse d'un avion de chasse normal peut dépasser 650 km/h, alors que sa vitesse minimum, celle avec laquelle il doit atterrir, n'excède pas 130 km/h. Dans ces conditions, comment va se comporter une hélice à pas fixe? Elle est évidemment calculée pour donner à l'avion la vitesse maximum en vol horizontal à l'altitude d'utilisation. Lorsque la vitesse est faible (au décollage par exemple), on voit, en se reportant à la figure 3, que, d'une part, la vitesse relative de la pale par rapport à l'air diminue et surtout que l'angle d'incidence s'accroît considérablement. Il en résulte une diminution de l'effort de traction et une augmentation du couple de l'hélice. Le moteur ainsi freiné, la vitesse de rotation s'abaisse et le moteur ne peut plus donner sa puissance nominale. L'hélice à pas fixe ne permet donc pas de maintenir le moteur dans ses conditions de fonctionnement nominal. Pour retrouver le régime maximum, il faut réduire le freinage de l'hélice, donc diminuer l'incidence des pales en modifiant leur calage dans le sens d'une diminution du pas (1).

L'hélice à pas variable apparaît donc, sur les avions modernes, comme une véritable nécessité, au même titre que les trains d'atterrissage escamotables et les dispositifs hypersustentateurs.

Les avantages qui découlent de son emploi sont considérables. L'emploi d'un pas réduit au décollage, permettant un effort de traction

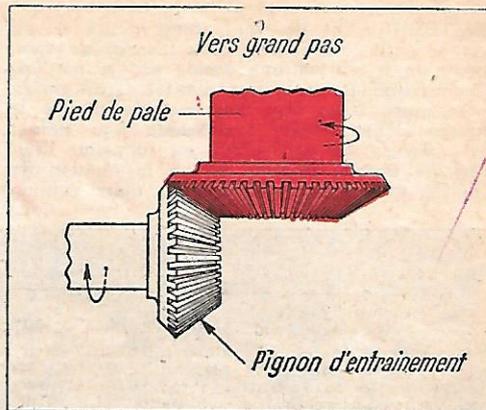
(1) Il faudrait, en toute rigueur, modifier non seulement le calage, mais aussi les divers profils des pales et même leur longueur, ce qui est évidemment

impraticable. En pratique, l'amélioration du rendement obtenue par une rotation d'ensemble de la pale modifiant tous les calages de la même valeur est considérée comme très suffisante. Cependant, on peut observer que l'obligation d'avoir un diamètre fixe conduit à une adaptation généralement assez mauvaise au décollage (rendement 40 % au lieu de 80 % en croisière).



T W 25031

FIG. 4. — SCHÉMA DE PRINCIPE DE LA COMMANDE D'UNE PALE PAR BIELLETTE



T W 25022

FIG. 5. — SCHÉMA DE PRINCIPE D'UNE COMMANDE DE PALE PAR PIGNONS CONIQUES

plus grand, abrège la durée de décollage, autorise les pistes de longueur réduite, et en même temps une charge emportée plus élevée, donc, si ce supplément de charge est reporté sur le combustible, une augmentation du rayon d'action.

La variation continue du pas, permettant l'adaptation de l'hélice à tous les régimes de vol, conduit à des vitesses en palier plus élevées aux différentes altitudes et à une diminution du temps de montée à une altitude donnée par suite de l'augmentation de la vitesse ascendante.

L'évolution des hélices

Les premières hélices, évidemment à pas fixe, furent construites en bois. Une hélice en bois était constituée par un assemblage de lames de 20 mm d'épaisseur moyenne, empilées dans des plans perpendiculaires à l'axe et collées entre elles. Le bord d'attaque était généralement blindé par un revêtement de cuivre ou de duralumin, destiné à protéger l'hélice contre toutes projections (surtout les gouttes de pluie). L'hélice était la plupart du temps monobloc, et le moyeu consistait simplement en deux flasques. Ces hélices sont de moins en moins utilisées. Signalons toutefois que seules les hélices bipales en bois peuvent être montées sur certains avions-école (Morane-Saulnier 230) destinés à la voltige aérienne, les hélices métalliques bipales ayant donné lieu à des vibrations.

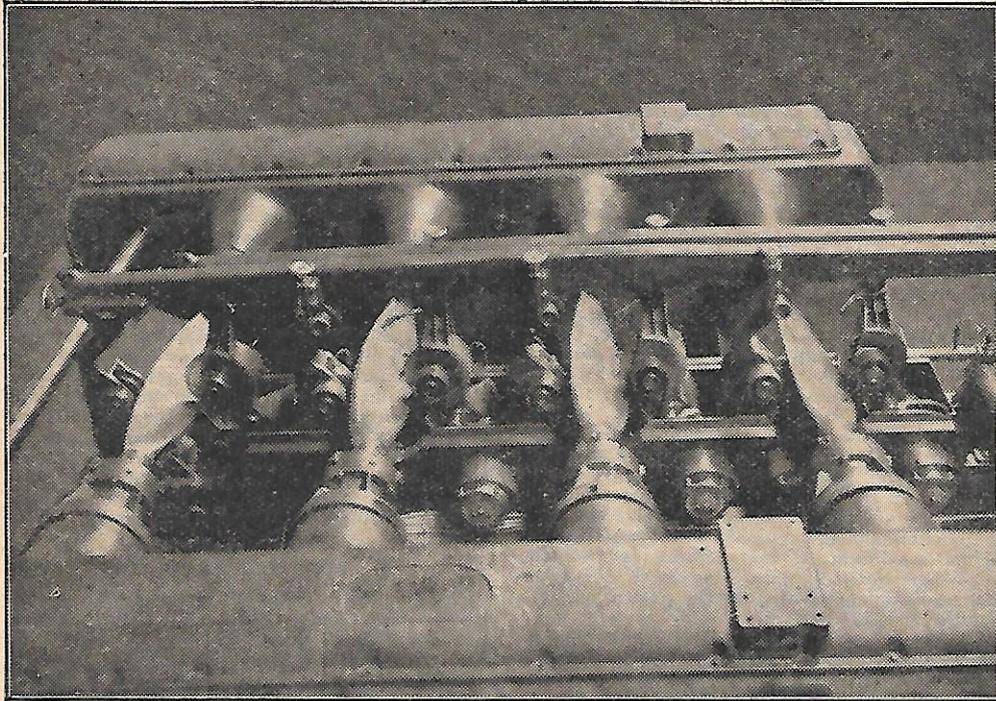
En vue d'assurer une plus grande résistance aux hélices, on les construisit ensuite en métal, généralement en duralumin. Les avantages essentiels du métal sont bien connus : homogénéité, résistance mécanique, résistance à l'usure. Le magnésium est encore assez peu utilisé, car il est assez difficile à obtenir sous une forme parfaitement homogène. De plus, il est très sensible à la corrosion marine et par suite peut difficilement être employé dans l'aéronautique maritime.

Il y a environ une douzaine d'années, les premières hélices à pas variable faisaient leur apparition. Elles comportaient deux positions de pales : un petit pas pour le décollage, et un grand pas pour le régime de croisière.

Très rapidement, on rendit réalisable la mise « en drapeau », c'est-à-dire l'orientation de la

pale dans le lit du vent, bord d'attaque en avant; cette disposition offre l'avantage que, lorsqu'on a en vol une avarie sur le moteur, elle entraîne son arrêt immédiat (1). Outre qu'on évite ainsi, dans bien des cas, de rendre le moteur définitivement inutilisable (par défaut de graissage, en particulier), on supprime l'importante traînée parasite due à la rotation de l'hélice qui fonctionne en effet alors comme

le moyeu et y sont centrées soigneusement par différents procédés. Nous n'entrerons pas dans ces détails de construction et dirons seulement que les divers dispositifs adoptés par les constructeurs d'hélices ont pour but d'assurer un centrage géométrique satisfaisant, de résister à la traction, à la torsion due à la force centrifuge, ainsi qu'à la flexion de la pale et enfin de donner des couples résistants minimes lors



I W 49034

FIG. 6. — LA MACHINE RATIER POUR TAILLER LES PALES D'HÉLICES

Les trois pales à tailler et la pale modèle (à gauche) sont montées sur des axes autour desquels elles pivotent en synchronisme. Un disque « palpeur » suit le profil du modèle et ses mouvements sont reproduits par les trois fraises qui amènent les pales au profil désiré. Cette machine pèse 36 tonnes et est capable d'usiner en trois heures les trois pales d'une hélice de 3 m de diamètre.

frein. Il faut remarquer, à cet égard, que sur un grand nombre de bimoteurs modernes, le vol sur un moteur n'est possible qu'après la mise en drapeau de l'hélice correspondant au moteur stoppé.

On a ensuite cherché à rendre continue l'adaptation de l'hélice au moteur : car c'est là tout le problème. C'est ainsi qu'on a construit les hélices à variation continue de pas, réglables en vol, au gré du pilote : ce fut l'ère du « manuel »; ce réglage s'effectue d'ailleurs très facilement, par tâtonnements ou, mieux, par approximations successives.

Enfin, et c'est l'ère actuelle de l'automatique, on est arrivé à obtenir des hélices dont le pas s'établit de lui-même à la valeur optimum, correspondant à chaque régime de vol.

Principe général des hélices à pas variable

Dans toute hélice à pas variable, les pales sont ancrées dans des logements ménagés dans

(1) Sans qu'il soit nécessaire d'utiliser un frein d'hélice.

de la manœuvre de changement de pas.

En principe, la rotation de la pale sur elle-même est assurée par une commande actionnée par un système moteur.

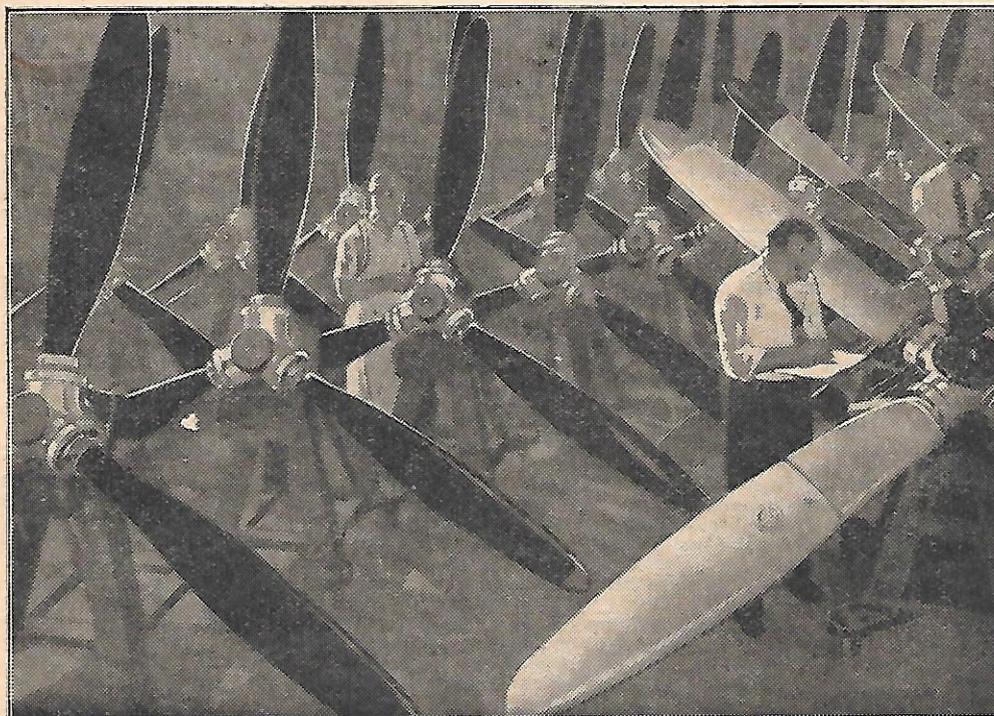
Les systèmes de commande les plus employés sont les suivants : commande par bielle (Rotol, Escher-Wyss, Ratier), par pignons coniques (Hydromatic-Hamilton), par vis sans fin (Gnome, Chauvière, Ratier), par crémaillère (Ratier). Les figures 4, 5, 8 et 9 en donnent les principes. Les mécanismes moteurs se rangent en trois grandes catégories : mécaniques, hydrauliques et électriques. Parmi les premiers, nous citerons les hélices Gnome, Chauvière; parmi les seconds, l'Hydromatic-Hamilton. Enfin, on sait que le nom de Ratier est lié au progrès des hélices électriques, dont le mécanisme est commandé par un moteur qui peut être fixe ou, au contraire, participer à la rotation de l'hélice.

Les hélices à commande mécanique

C'est le moteur lui-même qui fournit l'énergie nécessaire pour faire tourner les pales au-

tour de leur axe. Cela est obtenu d'une manière très simple en pratique, en utilisant le mouvement relatif entre le carter du moteur et l'arbre du moteur. Il suffit d'installer un embrayage entre le carter immobile et le dispositif de commande des pales pour provoquer à volonté le mouvement de ce dernier, qui à son tour, par l'intermédiaire de l'un quelconque des systèmes de commande précédemment

de l'huile sous pression se fait par des canalisations ménagées dans l'arbre moteur. Suivant les réalisations, c'est tantôt le cylindre et tantôt le piston qui sont mobiles; la commande peut aussi être à simple effet ou à double effet. Dans le premier cas, la pression d'huile provoque la rotation dans un sens, celui du grand pas par exemple, le rappel dans l'autre sens étant produit en général par la force centrifuge. Ce type



T W 25035

FIG. 7. — L'USINE SPÉCIALISÉE DANS LA FABRICATION DES HÉLICES CURTISS A PAS VARIABLE A CLIFTON (NEW JERSEY, ÉTATS-UNIS)

On voit ici les hélices tripales destinées aux chasseurs Curtiss P-40 « Tomahawk » et « Kittyhawk » et à droite les hélices quadripales destinées aux bombardiers bimoteurs Martin B-26 « Marauder ».

indiqués et avec une démultiplication convenable, agira sur les pales.

La commande de l'embrayage peut s'effectuer à la main à la rigueur, mais plus souvent en faisant appel à des coupleurs pneumatiques ou électromagnétiques.

La figure 10 montre précisément le principe d'un de ces coupleurs électromagnétiques (Chauvière), réalisation particulièrement intéressante, car elle unit aux qualités de la commande mécanique (aucune consommation d'énergie de servitude) la plupart des avantages des hélices électriques, sans en présenter les inconvénients. Ce système est également susceptible de fonctionner en automatique, moyennant l'asservissement à un régulateur.

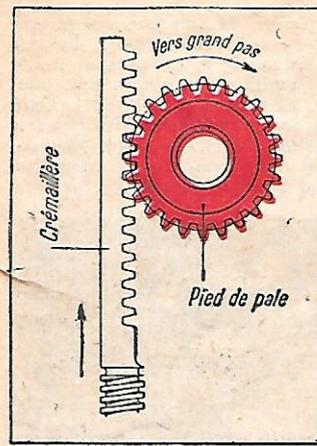
Les hélices à commande hydraulique

Comme la commande mécanique, la commande hydraulique n'entraîne aucune consommation d'énergie de servitude. Le mécanisme est très robuste, puisqu'il comporte seulement en principe un cylindre et un piston, ayant tous deux pour axe l'axe de l'hélice. L'arrivée

d'hélices ne comporte que deux positions définies par des butées et correspondant au petit pas et au grand pas. Au contraire, les hélices double effet permettent un réglage continu. Tel est le cas de l'hélice Hamilton double effet, dite Hydromatic que représente la figure 11. Le dispositif de commande est absolument analogue à celui d'un stylographe à plume rentrante. On voit de plus, dans ce système, que l'ampleur de la rotation de la pale ne dépend que de la longueur du chemin de roulement oblique où se déplacent les galets liés au piston. On conçoit donc qu'il soit possible d'atteindre facilement la mise en « drapeau », résultat qui ne peut être obtenu sur les hélices hydrauliques simple effet qu'avec une installation auxiliaire lourde et encombrante. Enfin, les hélices double effet se prêtent admirablement à la régulation automatique.

Les hélices à commande électrique

Comme il fallait s'y attendre, les constructeurs ne se sont pas fait faute d'utiliser l'incom-



T W 25033
FIG. 8. — SCHEMA DE PRINCIPE
D'UNE COMMANDE DE PALE PAR
CREMAILLERE

ment indépendant du moteur. Par ailleurs, la régulation automatique de telles hélices est facile, en même temps que leur mise en drapeau. D'une manière générale, il est facile d'immobiliser les pales dans une position quelconque. Enfin, les hélices électriques présentent une grande souplesse de fonctionnement. La rançon obligatoire de ces avantages se paie par une grande fragilité des mécanismes électriques soumis aux efforts centrifuges, d'une part, et, d'autre part, par la dépense de courant très importante (1) qu'entraînent les grandes vitesses de variation de pas.

Les réalisations d'hélices électriques sont variées. On peut toutefois distinguer deux grandes catégories : les hélices à moteur mobile, placé en bout d'arbre et entraîné par l'hélice dans son mouvement de rotation, auquel le courant doit être envoyé par l'intermédiaire d'un collecteur ; et les hélices à moteur fixe, installé sur le châssis au voisinage de l'arbre moteur

Dans les deux cas, le principe est le même : le moteur transmet son mouvement de rotation aux pieds de pales par l'intermédiaire d'un réducteur. Etant donnée la vitesse de rotation élevée du moteur électrique, on conçoit que la réalisation de ce réducteur soulève des problèmes délicats. Le taux de démultiplication varie en général entre 1/30 000 et 1/100 000 (c'est-à-dire 100 000 tours de moteur pour un tour complet de la pale), de sorte qu'il est difficile de donner au réducteur un rendement élevé. Le mécanisme doit être irréversible pratiquement de manière que les efforts agissant sur les pales

(1) Le circuit électrique de bord fonctionne, ne l'oublions pas, sous une tension continue de 24 volts. L'utilisation du 110 volts alternatif est à peine en cours d'étude.

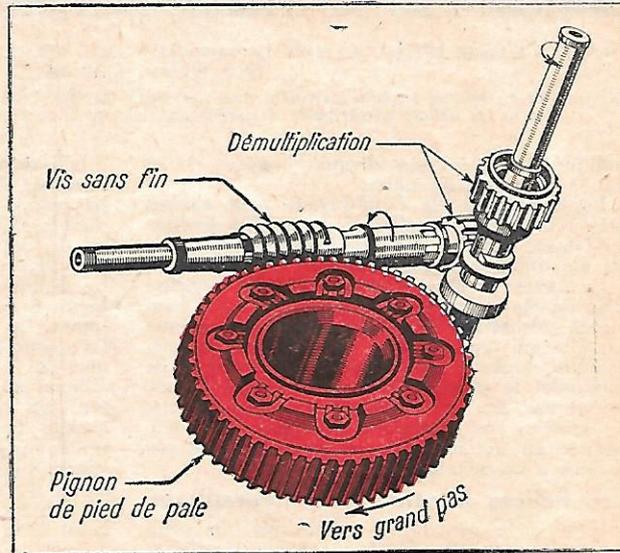
ne puissent faire varier leur incidence. En général, pour simplifier la manœuvre, un certain nombre de rupteurs automatiques sont prévus pour arrêter automatiquement les pales au petit pas (pour le décollage), au grand pas (pour le vol de croisière), à l'incidence de montée ou à la position drapeau (moteur arrêté).

Pendant longtemps, on a utilisé uniquement des hélices à moteur tournant, moteur à deux sens de rotation (vers grand pas et vers petit pas), exigeant dans leur construction des précautions spéciales du fait de la force centrifuge. L'axe du moteur étant confondu avec celui de l'hélice, lorsque les sens de rotation sont les mêmes, les entoulements se trouvent soumis à des efforts centrifuges considérables et doivent être renforcés, et soigneusement équilibrés, ainsi que les pièces polaires.

Au prix de quelques complications techniques, on préfère depuis quelque temps utiliser un moteur fixe. Une telle disposition présente en effet d'importants avantages : suppression du collecteur et des charbons, qui sont à l'origine d'un certain nombre de pannes ; suppression d'organes électriques dans les parties tournant à grande vitesse et soumises par conséquent à des efforts centrifuges considérables ; facilité de graissage du réducteur qui est fixe ; consommation électrique plus faible en général, le moteur de l'avion fournissant une partie de l'énergie nécessaire pour la variation du pas.

La régulation automatique

A chaque régime de vol correspond, comme nous l'avons vu, une incidence optimum des pales, et c'est le rôle d'un organe important, le *régulateur*, dont sont munies les hélices les plus perfectionnées, d'assurer à chaque instant la position correcte des pales, sans que le pilote ait à intervenir. Les régulateurs sont le plus généralement du type centrifuge et agissent par l'intermédiaire de relais sur l'organe de commande de variation de pas. Si la vitesse a tendance à augmenter, le régulateur tend à ac-



T W 25029
FIG. 9. — EXEMPLE D'UNE COMMANDE DE PALE PAR VIS SANS FIN (GNOME)

croître le pas; si la vitesse a tendance à diminuer, le régulateur tend à réduire le pas (1). Le moteur est ainsi maintenu à un régime de rotation constant, sans être influencé par les variations de vitesse de l'avion. Libéré de la sujétion d'accélération brutales, il aura un fonctionnement plus souple et, en définitive, sa longévité sera accrue. D'autre part, si la vitesse de rotation est judicieusement choisie, le moteur fonctionnera à chaque instant dans les conditions optima d'endurance et de consommation pour la puissance qui lui est demandée.

On aperçoit donc immédiatement toute l'importance, non seulement de la présence d'un régulateur d'hélice, mais surtout de sa liaison avec l'organe de commande du moteur (admission). C'est pourquoi on a essayé de réaliser ce qu'on appelle la commande unique, en asservissant le régulateur d'hélice à la manette des gaz. Cette réalisation n'est d'ailleurs pas encore parfaitement au point. Il semble que

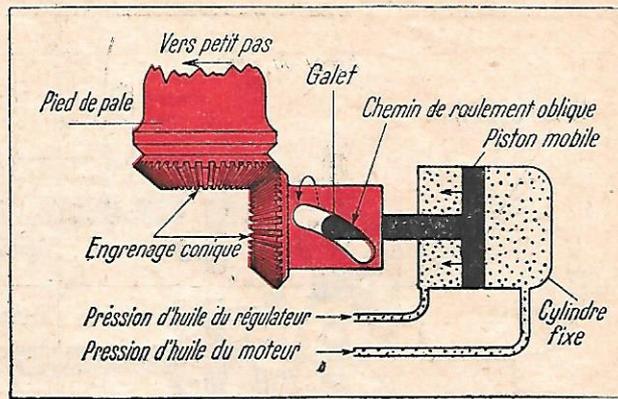


FIG. 11. — SCHEMA DE PRINCIPE DE LA COMMANDE HYDRAULIQUE DE VARIATION DE PAS

Il s'agit ici d'une commande à double effet (Hydromatic-Hamilton). Le déplacement du piston provoque la rotation du pignon, le galet se déplaçant dans le chemin de roulement prévu pour lui. Il suffit de donner à ce chemin de roulement une longueur convenable pour atteindre sans difficulté la mise en drapau.

son intérêt se borne actuellement à la suppression d'une commande au poste de pilotage (ce qui n'est pas, sur un avion moderne, un avantage à dédaigner). Il est néanmoins certain que ce dispositif mérite une attention particulière. En effet, la régulation du propulseur et l'admission des gaz sont deux variables dont dépend en définitive la puissance utile. Si on laisse ces variables indépendantes, une puissance déterminée correspondra à tout un domaine de valeurs possibles pour ces variables, entre lesquelles le pilote n'aura guère le loisir de faire un choix judicieux. Au contraire, si on établit au préalable, par la commande unique, une relation entre ces deux variables, le pilote, en agissant sur la seule admission, réglerà du même coup son régulateur au fonctionnement optimum. Bornons-nous à indiquer que cette relation entre les deux variables est encore empirique, et qu'elle demande à être précisée.

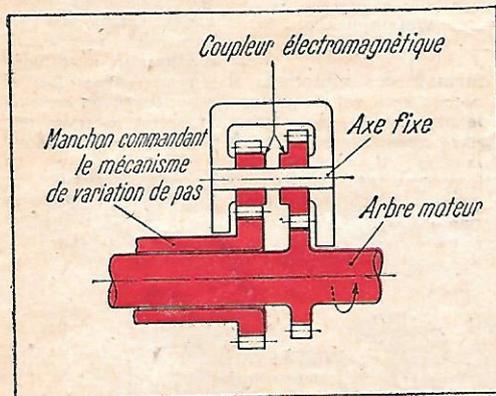


FIG. 10. — SCHEMA D'UN COUPLEUR ELECTROMAGNETIQUE (CHAUVIÈRE)

Lorsque le coupleur est excité, rendant solidaires les deux pignons sous montés sur l'axe fixe, la rotation de l'arbre moteur provoque une rotation par rapport à lui-même du manchon commandant le mécanisme de variation de pas. Quand le coupleur est au repos, arbre moteur et manchon tournent à la même vitesse.

(1) Alors que les régulateurs courants des machines motrices ont pour mission de maintenir la vitesse constante en faisant varier la puissance fournie à chaque instant pour l'adapter à l'effort demandé, les régulateurs d'hélices maintiennent la vitesse constante, ainsi que la puissance, en faisant varier l'effort demandé (c'est-à-dire en augmentant ou diminuant le couple résistant par la variation d'incidence des pales).

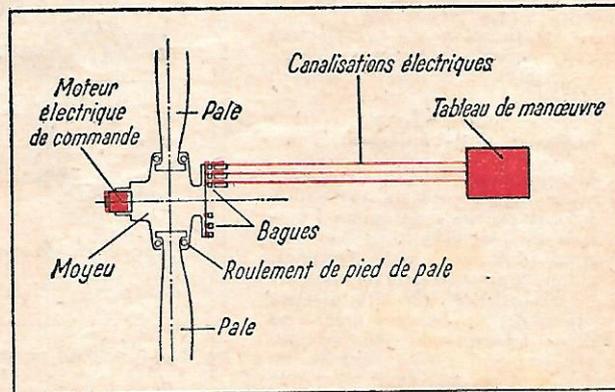


FIG. 12. — PRINCIPE DE LA COMMANDE ELECTRIQUE D'UNE HELICE A PAS VARIABLE A MOTEUR MOBILE

Le moteur électrique est ici placé en bout d'arbre et suit le mouvement de rotation de l'hélice.

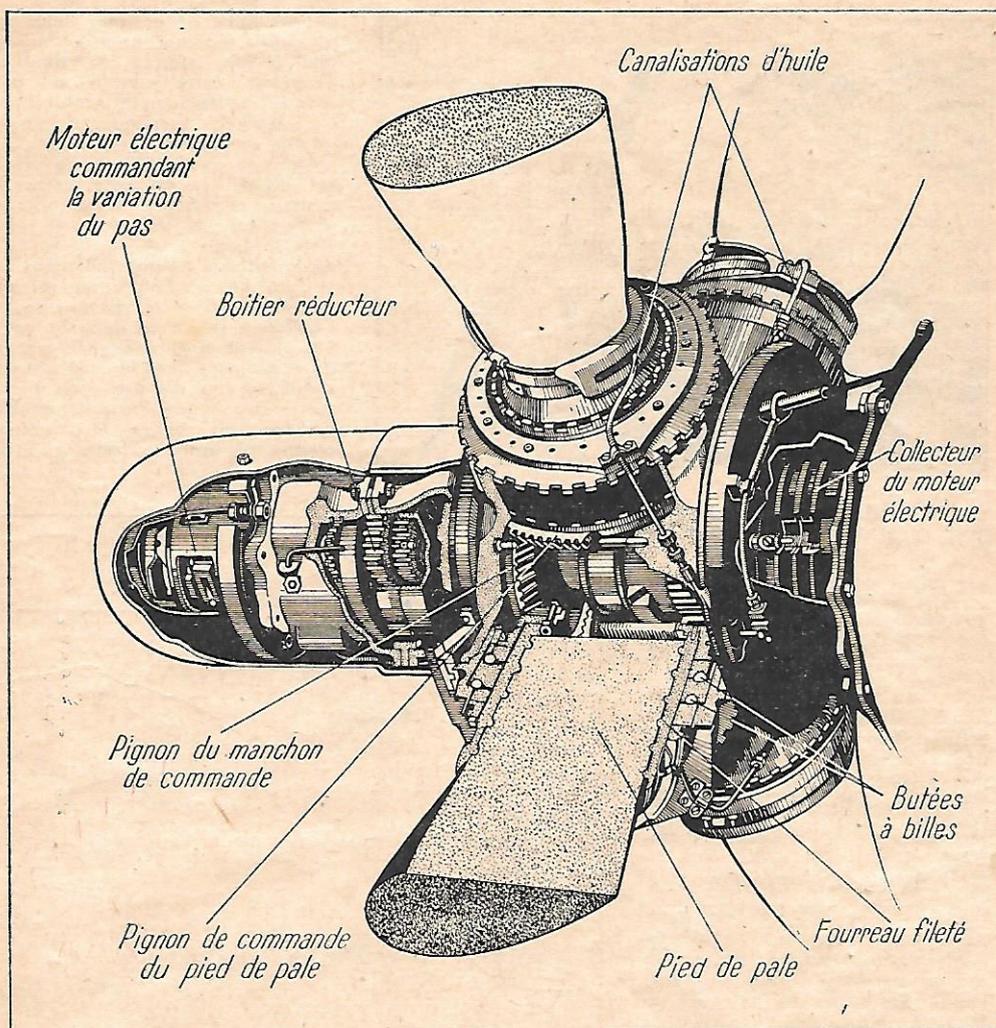


FIG. 15. — COUPE DU MOYEU D'UNE HÉLICE ROTOL ÉLECTRIQUE QUADRIPALE

T W 25023

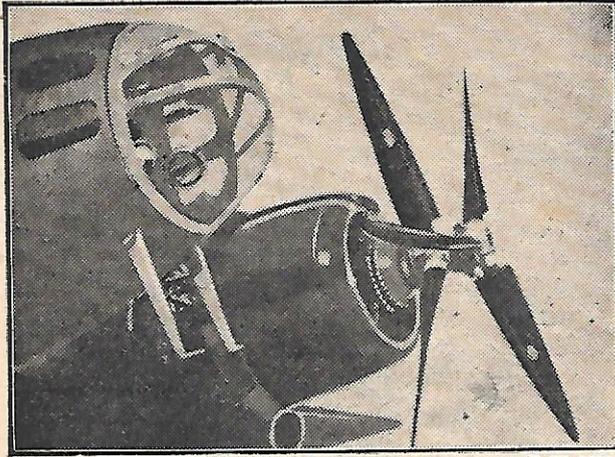
Le moteur électrique qui commande le changement de pas de l'hélice participe à la rotation de l'ensemble. Il entraîne le manchon de commande par l'intermédiaire du boîtier réducteur. Les pignons de commande des pieds de pale engrenent sur ce manchon. Le moteur électrique est alimenté par un collecteur représenté à droite. On remarque les canalisations de graissage sous pression, l'ancrage des pales dans leur fourreau par un filetage.

Si l'on veut poursuivre dans la voie de l'augmentation du nombre de pales, il faut concevoir l'hélice à la façon d'un ventilateur de diamètre relativement faible, enfermé dans une buse, pour éviter les pertes de rendement dues à un souffle excessif. Cette solution, séduisante *a priori*, se heurte à une difficulté qu'on ne saurait toutefois négliger : en augmentant le nombre des pales, on diminue du même coup, pour une puissance totale donnée, la vitesse de rotation, ce qui entraîne une augmentation supplémentaire du couple de renversement (1).

Enfin, une formule d'hélice étant adoptée,

(1) Rappelons que le couple de renversement est le couple de réaction opposé par l'arbre au couple de l'hélice et qui tend à faire tourner l'avion en sens inverse.

on peut multiplier le nombre d'hélices. Le premier stade de cette multiplication, et, à coup sûr, le plus intéressant à l'heure actuelle, est celui de l'hélice double, dont un exemple était déjà fourni par l'avion Macchi de la coupe Schneider. Il s'agissait de deux hélices tournant en sens inverse, chacune étant actionnée par un moteur distinct. La principale difficulté rencontrée réside dans la commande de variation de pas. Par contre, cette solution présente un réel intérêt au double point de vue du rendement et de l'aérodynamique. En effet, la juxtaposition de deux hélices tripales permet une diminution notable du diamètre. En outre, l'hélice arrière, tournant en sens inverse de l'hélice avant, redresse la veine d'air distordue par cette dernière. Il en résulte une diminution



T W 25030

FIG. 16. — HÉLICES COAXIALES TOURNANT EN SENS INVERSE « HAMILTON STANDARD »

Ces hélices tripales, que l'on voit ici à l'essai sur un bimoteur, sont en aluminium forgé. Le pas variable est à commande hydraulique et permet aux pales de prendre la position en drapeau.

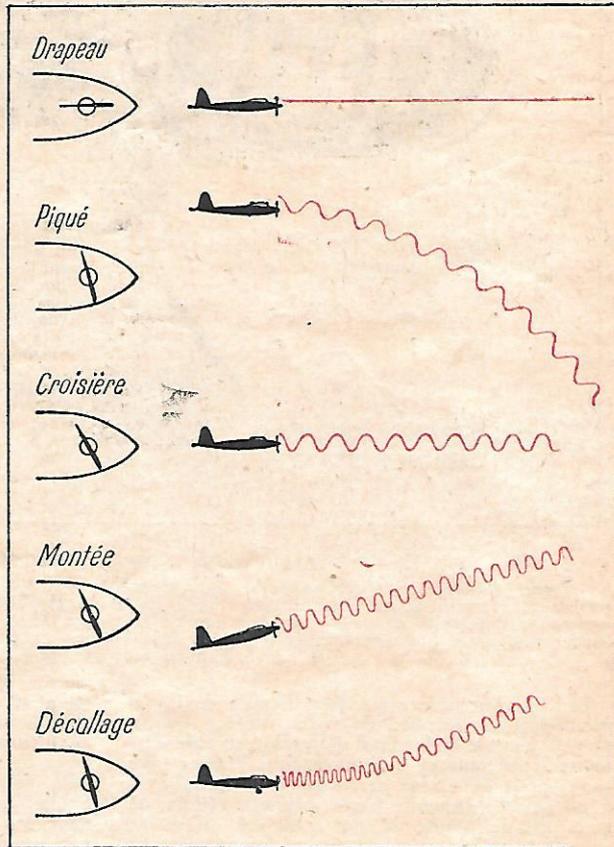
notable de l'énergie dissipée par cette distorsion de la veine soufflée, d'une part, et, d'autre part, une intéressante symétrie des interactions du propulseur et du planeur. Enfin, le couple de renversement est supprimé d'emblée.

L'aérodynamique du groupe moteur

On a songé à améliorer le rendement aérodynamique du groupe moteur par une disposition particulière des transmissions et du réducteur. Une première solution consiste en la séparation de l'hélice et du moteur : celui-ci peut alors être logé dans le fuselage de l'avion et l'hélice est entraînée par un système de transmissions à distance. On obtient ainsi un affinement aérodynamique des fuseaux (pas toujours du fuselage, car un moteur en étoile, par exemple, a encore un maître-couple important) et une réduction notable du maître-couple dans le cas où l'on peut grouper en tandem l'un derrière l'autre, deux moteurs en ligne. Par ailleurs, du point de vue purement aérodynamique, il est bien évident que l'écoulement autour de l'hélice est amélioré par la diminution du diamètre des parties situées immédiatement derrière son plan de rotation. Enfin, cette désolidarisation des moteurs et des propulseurs permettrait une plus grande souplesse de fonctionnement, par la possibilité, en cas d'insuffisance dans la puissance

des moteurs, de grouper deux ou plusieurs moteurs pour actionner une hélice, simple ou double. Toutefois, cette solution est encore à l'heure actuelle prohibitive, en raison des servitudes de poids qu'elle comporte.

Nous avons signalé, au début de cet article, la présence entre le moteur et l'hélice d'un organe particulier : le réducteur. Il peut être intéressant de le doter de deux vitesses, l'une adaptée au vol en palier, l'autre au vol en montée et au décollage (vitesse de l'hélice plus élevée dans ce cas). On obtient ainsi une amélioration du rendement dans les régimes variables et on dispose d'un paramètre supplémentaire pour choisir l'hélice qui réalise le meilleur compromis entre le décollage et le palier.



T W 25027

FIG. 17. — LA VARIATION DU PAS D'UNE HÉLICE DANS LES DIFFÉRENTES PHASES DE VOL

Le calage de la pale représentée ici est le calage dit de référence, soit celui de la section de la pale aux $7/10$ de sa longueur. Le calage, comme le pas, augmente quand on passe du décollage au vol de croisière. Il augmenterait encore pour les vols à grande altitude; par contre, les piqués sont exécutés à pas réduit. Le calage atteint son maximum à la position drapeau correspondant à l'arrêt du moteur en vol.

L'hélice frein

Enfin, les hélices peuvent servir de frein. Cette utilisation, qui aurait pu paraître insolite il y a quinze ans, est passée aujourd'hui dans la pratique courante. En particulier, l'hélice participe efficacement, par une révolution très rapide vers le petit pas, au freinage des avions de bombardement en piqué. Nous n'insisterons pas sur les difficultés techniques de ce problème. Indiquons seulement que sa solution est conditionnée par de très grandes vitesses de variation de pas (de l'ordre de 60 grades, ou 54 degrés par seconde). On conçoit que les dispositifs de commande correspondants doivent être particulièrement robustes et ne comporter pratiquement aucune inertie. Signalons en terminant qu'un simple passage à la limite a conduit, pour les gros hydravions multimoteurs, à installer des hélices à pas réversible, qui facilitent grandement les manœuvres à flot

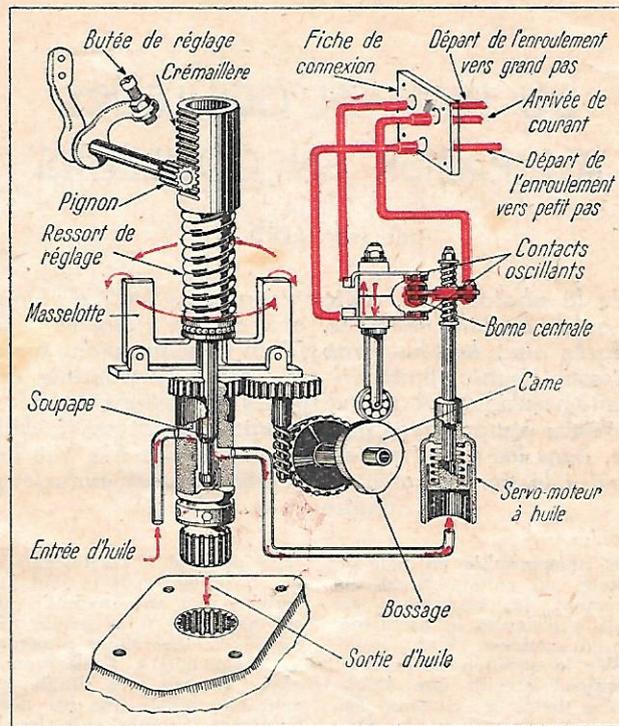


FIG. 18. — SCHÉMA DU RÉGULATEUR PROGRESSIF CURTISS

C'est un régulateur hydraulique mis en action par la force centrifuge qui s'exerce sur les deux masselottes pivotantes. Elles sont maintenues par le gros ressort de réglage, plus ou moins comprimé à volonté par l'intermédiaire de la crémaillère visible à la partie supérieure et que déplace le pignon solidaire de la butée de réglage. Si la vitesse s'accroît, les masselottes s'écartent, compriment ce ressort et entraînent la soupape, permettant à l'huile d'accéder au servo-moteur de droite et de déplacer la borne centrale du contact oscillant. Ce dernier est ainsi appelé parce que les deux bornes supérieure et inférieure sont animées d'un mouvement de va-et-vient continu par l'effet d'une came entraînée par le moteur. Normalement, dans ce mouvement, aucune des bornes ne doit toucher la borne centrale. Lorsque celle-ci se déplace, le contact s'opère avec une des bornes et le moteur reçoit une série d'impulsions plus ou moins longues suivant la pression de l'huile. Ce changement est progressif, car la vitesse de rotation du moteur électrique, et donc des pales, est d'autant plus grande que la variation de vitesse à corriger est elle-même plus importante. Le bossage de la came, en particulier, a une forme telle que les contacts d'augmentation de pas sont plus longs que ceux de diminution, l'effort à développer par le moteur étant alors plus considérable pour vaincre l'inertie centrifuge.

Conclusion

Telles sont les tendances actuelles de la technique des hélices aériennes. Ce qui précède

que l'hélice aérienne n'a pas encore dit son dernier mot et qu'avant de disparaître, elle donnera sûrement à la sagacité et à l'ingéniosité des constructeurs plus d'une occasion de se manifester.

J. LEDROIT.

montre les progrès prodigieux accomplis par cette technique en quelques années seulement. Il faut voir de près un mécanisme moderne de changement de pas et imaginer que cet ensemble, non seulement tourne vite, mais encore est soumis au cours d'un même vol à des variations de vitesse qui mettent en jeu des efforts d'inertie considérables : c'est alors qu'il est permis de s'extasier devant une telle perfection de conception et de réalisation. C'est alors aussi qu'on est en droit de se demander si l'hélice aérienne est susceptible de nouveaux progrès ou si, au contraire, elle n'est pas près d'avoir atteint le maximum de ses possibilités. C'est la question qui se pose aujourd'hui, de la compatibilité du fonctionnement de l'hélice avec des vitesses constamment croissantes et dépassant notamment la vitesse du son.

" Science et Vie " est le seul magazine de vulgarisation scientifique et industrielle.