



Faisons un arrêt sur image d'un hélicoptère en translation longitudinale. Sa vitesse est indiquée par les flèches vertes.

Les pales du rotor possèdent une vitesse de rotation, indiquée par les flèches bleues. On peut dire que lorsque l'hélicoptère avance, il y a une pale avançant (ici la jaune) et une pale reculant (ici la rouge).

La vitesse de la pale avançant s'ajoute à la vitesse de l'hélico (flèche rose), tandis que celle de la pale reculant se soustrait à cette vitesse (flèche grise). Donc la pale avançant ayant plus de vitesse voit sa portance augmenter (elle va donc monter), tandis que la pale reculant la voit diminuer (elle va donc descendre).

A chaque tour du rotor, elles vont battre de haut en bas.

Une articulation existe donc pour éviter à l'hélice de se coucher en translation, et l'amortisseur de battement amorti, comme son nom l'indique, le battement de ces pales.

2.5.13 Amortisseur de battement

Ce sont des rondelles de caoutchouc disposées autour de l'axe porte-pale, et qui permettent à celui-ci de pouvoir «débattre» sur le plan vertical. Ils ne sont pas visibles, il faut démonter le porte-pale pour y avoir accès.

Comme leur nom l'indique, ils amortissent le débattement vers le haut (et vers le bas) des pales.

La raison est que lorsque l'hélicoptère est en vol et qu'il avance (on dit qu'il est en translation), la pale avançant du disque rotor a plus de vitesse que la pale reculant (par rapport au vent relatif). Donc comme elle a une certaine incidence, (la même que l'autre), et qu'elle va plus vite, elle a tendance à monter. Tandis que l'autre aura plutôt tendance à descendre. Cet amortisseur permet donc aux pales de se mouvoir de haut en bas sans provoquer de basculement sur le côté de l'hélicoptère. A chaque tour du rotor en translation, les pales oscillent donc de haut en bas chacune à tour de rôle... 1500 fois par minutes environ !

2.5.14 Articulation de traînée

A cause d'un certain Coriolis, qui a découvert une certaine accélération liée à la force centrifuge qui s'applique au niveau des pales dans le sens horizontal, il y a une articulation des pales dans le sens horizontale (ne rentrons pas dans le détail, c'est trop matheux..!). Celle-ci est donnée généralement par la fixation des pales, le boulon qui les retient, quoi..!

Sinon, l'amortisseur de battement peut aussi remplir cette fonction, en permettant à l'axe des portes pales de « débattre » aussi sur le plan horizontal.

M'enfin, ne m'en demandez pas plus..!

2.5.15 Les pales principales

Ce sont les ailes de l'hélicoptère. Elles tournent à une certaine vitesse (1500 tr/mn environ), et c'est la raison pour laquelle on appelle les hélicoptères des « voilures tournantes ».

Le poids et le centre de gravité des pales doivent être identiques, pour des raisons d'équilibrage, vu la vitesse de rotation. Généralement, elles sont livrées terminées, prêtes à l'emploi.

Elles peuvent être en bois avec un revêtement en film plastique adhésif. Un lest est inclus à l'avant des pales et permet de les alourdir et de les équilibrer. Un renfort est présent à l'emplanture et permet une fixation solide sur le porte-pales.



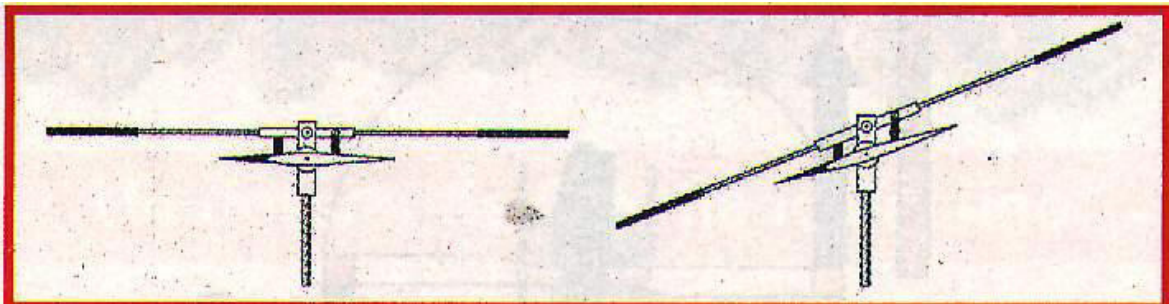
Elles peuvent être aussi en matériaux composites, ce qui offre une meilleure finition, une meilleure rigidité et une meilleure tenue dans le temps.

Dans tous les cas, si l'une d'entre elle venait à s'abîmer, il ne faudra pas hésiter à la changer, une réparation étant rarement envisageable car les efforts qu'elles doivent supporter sont très importants.

Pour donner une idée, le bout de pale atteint une vitesse de l'ordre de 400 km/h lorsque le rotor est à son régime de vol.

Ces pales sont montées sur des porte-pales rotatifs (vus plus haut), permettant de modifier leurs incidences par le jeu des biellettes de commande.

Principe de fonctionnement de la barre de Bell-Hiller



La barre de Bell-Hiller est "liée" aux pales du rotor principal. En s'inclinant, elle fait varier l'incidence de ses pales, en l'augmentant pour l'une, et en la diminuant pour l'autre.

Lorsqu'on envoie un ordre de tangage ou de roulis, c'est le plateau cyclique qui s'incline en premier. Il commande une variation d'incidence des palettes de la barre de Bell-Hiller.

Celle-ci finit par s'incliner, ce qui modifie l'incidence des pales. Donc de la répartition de la portance sur le disque rotor.

2.6 La barre de Bell-Hiller

Sans trop vouloir rentrer dans le détail, nous allons plonger au cœur du problème qui se situe à la tête...

L'axe rotor entraîne donc les pales principales qui sont à pas variable comme on la vu plus haut.

Une corde à piano (c.a.p.) articulée, munie de petites palettes lestées à ses extrémités, est disposée perpendiculairement aux pales principales. Cet ensemble s'appelle la barre de Bell-Hiller, communément appelée la barre de Bell.

Elle associe la barre stabilisatrice lestée (système Bell) et les palettes aérodynamiques (système Hiller).

On s'aperçoit que ces palettes sont solidaires l'une par rapport à l'autre sur la c.a.p.

Celle-ci peut se mouvoir autour d'elle-même, ce qui modifie l'incidence des palettes.

Cette commande vient directement du plateau cyclique.

De plus, cette barre peut s'incliner, ce qui fait que lorsqu'une des palettes est en haut, l'autre est en bas.

En regardant bien, lorsque cette barre s'incline, elle entraîne une variation du pas des pales du rotor principal par l'intermédiaire de biellettes.

Cette barre de Bell sert d'une part à «auto-stabiliser» (par le poids des lests) l'hélico en vol car elle se comporte un peu comme un gyroscope (système Bell, découvert par Arthur Young en 1940, je crois).



D'autre part, elle sert à démultiplier les commandes tangage et roulis du rotor principal venant du plateau cyclique (système Hiller, donner une forme aérodynamique aux lests, et faire passer les ordres d'abord par elle, au lieu de commander directement les pales). Le système Bell utilisé seul tendait à «durcir les ordres de pilotage, en les contrant au même titre qu'une rafale de vent...

Ça, c'était pour la petite histoire ! Mais vous allez me dire, comment ça marche ?

2.6.1 Comment ça marche ?

Alors, à l'avant, vous avez la tête de la fusée, et à l'arrière, le turbopropulseur..! Oups ! Je m'égare..!

Tout d'abord considérons notre hélicoptère avec un rotor tournant à droite (sens horaire), en stationnaire. Le rotor principal décrit un disque de portance, et la barre de Bell en décrit un aussi (de disque !), de plus petit diamètre, celui-ci n'ayant aucun effet sur la portance.

Les commandes passent par cette fameuse barre de Bell.

Inclinons par exemple le plateau cyclique vers l'avant. Que se passe-t-il donc ?

Et bien les palettes vont voir leur incidence se modifier. La palette, en passant sur la droite, va voir son incidence augmenter, et va donc vouloir monter. Celle passant à gauche va voir son incidence diminuer, et elle va vouloir descendre.

Comme elles sont solidaires sur la barre, la barre de Bell va vouloir s'incliner vers la gauche et donc son disque voudra s'incliner lui aussi vers la gauche. La précession gyroscopique les fera s'incliner sur l'avant (décalage d'un quart de tour).

Ce qui va entraîner une variation du pas des pales du rotor principal (comme on l'a vu plus haut), lorsqu'à son tour la pale passera sur la droite, son incidence augmentera, et lorsqu'elle passera sur la gauche, son incidence diminuera. Et ça pour chaque tour du rotor !

En conséquence, le disque rotor voudra s'incliner vers la gauche. La précession gyroscopique le fera s'incliner sur l'avant. Comme son axe est rigide, c'est l'hélico qui va s'incliner vers l'avant.

Les réactions sont identiques pour les autres directions.

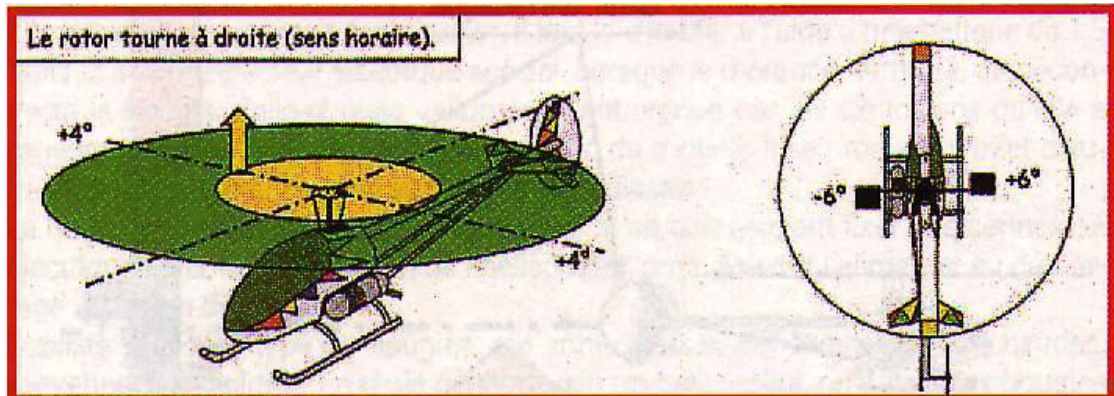
Lorsque vous mettez la barre de Bell perpendiculaire au fuselage, les pales parallèles à celui-ci, et que vous donnez un ordre au cyclique longitudinal, les palettes changeront d'incidence mais les pales ne bougeront pas. Par contre si vous donnez un ordre au cyclique latéral, les palettes ne bougeront pas, mais les pales si.

Comme on l'a vu plus haut, le comportement de la barre de Bell est similaire à un gyroscope (fixité dans l'espace). En tournant, le disque décrit par elle a tendance à rester fixe dans l'espace (plus ces palettes seront lourdes, plus elles voudront rester fixes !). Donc si une rafale de vent déstabilise notre hélico, le disque décrit par les palettes ne déviara pas et commandera la variation du pas du rotor pour remettre l'hélico dans sa position originale (dans une certaine mesure !). C'est pour cela que dans certain kit, on peut lester ces palettes afin d'augmenter la stabilité, au détriment il est vrai de la maniabilité. L'hélico sera moins nerveux, mais plus stable. Tout est affaire de compromis entre stabilité et maniabilité. Les réglages peuvent être infinis...

Il existe des palettes allégées pour augmenter cette maniabilité au détriment de la stabilité pour rendre votre hélico plus vif, afin de faire de l'acrobatie 3D entre autre.



Principe de fonctionnement de la barre de Bell-Hiller

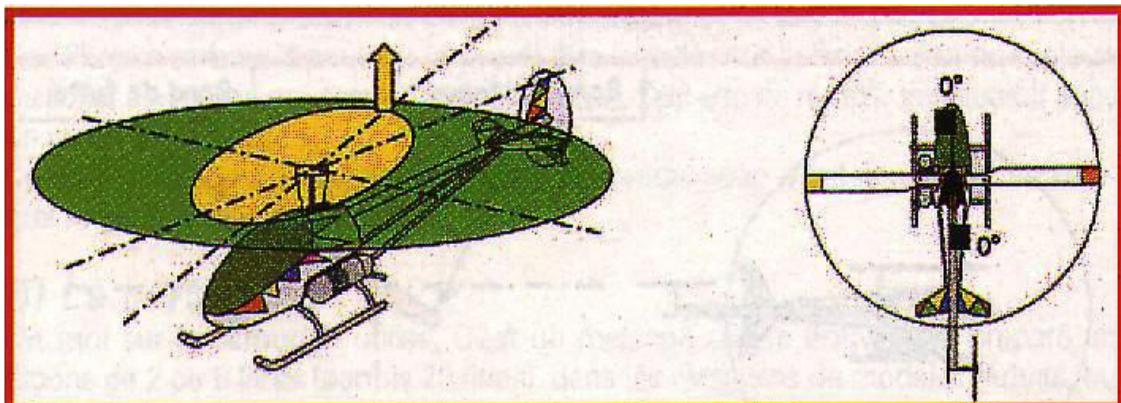


L'hélicoptère est en stationnaire. Aucun ordre n'est appliqué. Le disque décrit par la barre de Bell-Hiller (jaune) tourne sur un plan parallèle à celui décrit par les pales principales (vert).

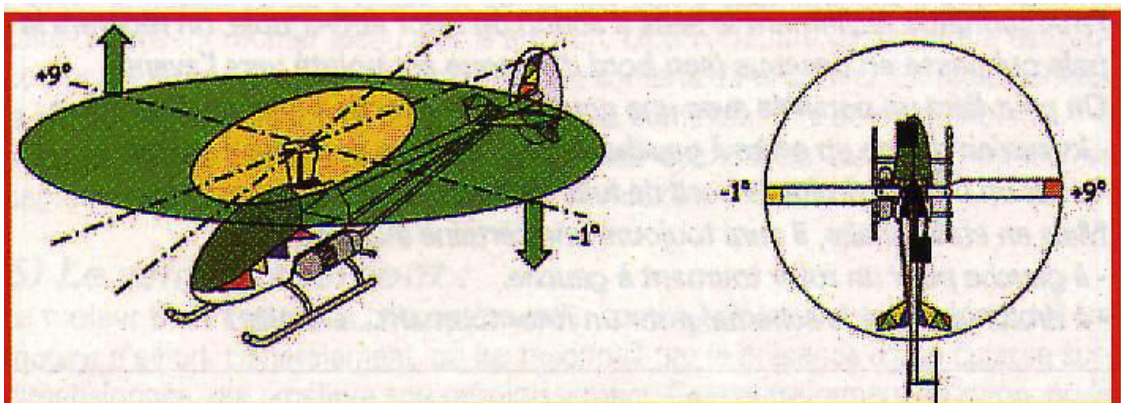
L'incidence des pales du rotor principal est de $+4^\circ$, quelle que soit leur position dans ce disque.

On veut faire piquer du nez l'hélicoptère.

On applique un ordre à piquer en poussant le manche de cyclique longitudinal. La barre de Bell-Hiller reçoit en premier l'ordre du plateau cyclique, ce qui modifie l'incidence de ses palettes ($+6^\circ$, -6°). Elle voudra s'incliner sur le côté (flèche jaune).

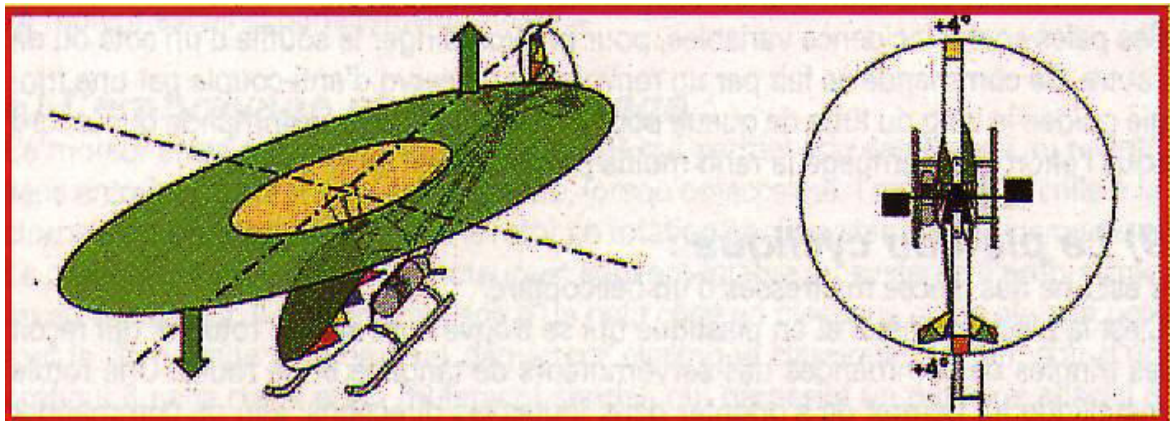


La précession gyroscopique fera qu'elle ne s'inclinera qu'un quart de tour plus loin, donc en avant. Lorsque la palette passe à l'arrière, son incidence revient à 0° .

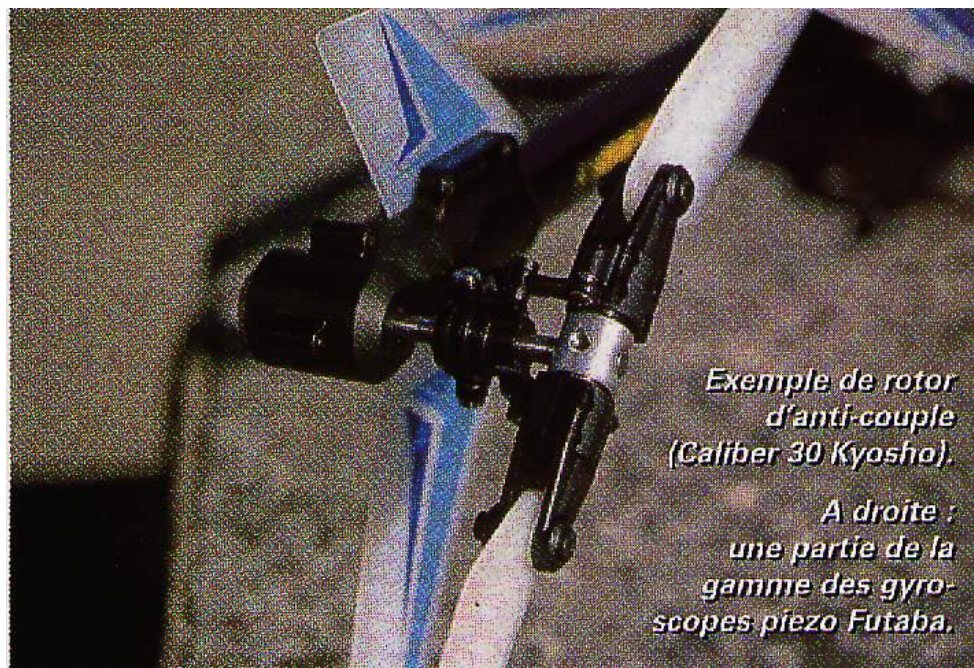




Le fait qu'elle se soit inclinée en avant modifie l'incidence des pales. Elle passe de $+4^\circ$ à $+9^\circ$ sur la droite, et de $+4^\circ$ à -1° sur la gauche. La portance du disque rotor deviendra dissymétrique (flèches vertes). En effet une inclinaison de la barre de Bell-Hiller fera varier l'incidence des pales.



Mais la précession gyroscopique fera que la force de sustentation dissymétrique soulèvera le disque rotor d'un quart de tour plus loin (flèche verte). L'hélicoptère s'inclinera donc en avant. Les incidences ne sont données qu'à titre indicatif, pour une bonne compréhension du principe. Le principe de fonctionnement du système de la barre de Bell-Hiller lui permet d'adoucir les ordres, en les démultipliant, car ils sont décalés d'un demi-tour en fait (temps de réponse de la barre, puis celui des pales avec la précession gyroscopique). Elle permet aussi de le rendre "auto stable" en se comportant comme un gyroscope (fixe dans l'espace). En cas de déséquilibre, la barre de Bell-Hiller restera fixe et mettra de l'incidence aux pales automatiquement pour redresser la situation. Un rotor démunie de barre de Bell-Hiller sera beaucoup plus sensible, vif et moins "stable".





2.6.2 Pas fixe

Au début des hélicoptères radio commandés, certains d'entre eux étaient à pas fixe. Aujourd'hui encore, on en trouve dans le commerce, mais il faut bien reconnaître qu'ils se font de plus en plus rares.

Les petits hélicos indoor comme le Piccolo ou l'Hornet sont à pas fixe. Et même pour l'anticouple du Piccolo, le pas est fixe !

Quel est l'intérêt me diriez-vous ?

Le principal avantage est la simplification du système de commande. La variation d'altitude ne se faisant plus en variant le pas des pales, mais en augmentant ou diminuant le régime de rotation de celles-ci, à l'aide du variateur pour les électriques ou du carburateur pour les thermiques. Une radio commande à 4 voies suffit pour faire voler un tel hélicoptère.

La commande de tangage et de roulis se faisant quand même par une barre de Bell dont le principe de fonctionnement reste sensiblement le même que pour un hélicoptère équipé d'un pas collectif variable.

Celle-ci entraîne quand même l'axe des pales (qui sont solidaires) en incidence lorsqu'elle s'incline, ce qui fait que le souffle du rotor est plus dévié que modifié.

La conséquence est une inertie plus grande, et une maniabilité moindre qu'un hélico équipé d'un pas collectif. Il faudra plus anticiper les ordres pour le pilotage.

On aura aussi des difficultés pour faire redescendre notre petit volatile lorsqu'il aura pris de la hauteur. Il faudra baisser le régime du moteur, donc du rotor, et la descente s'accélèrera rapidement au bout d'un moment ! Il faudra donc beaucoup anticiper la remise des gaz pour stopper la descente précisément.

De plus des effets secondaires gênants apparaissent lors de la mise en rotation du rotor, et de la translation rapide.

Et puis les évolutions sont très limitées avec ce genre d'hélico, plus question de faire des arrêts rapides, du vol dos, ni d'autorotation !

2.7 Le gyroscope

Ah, oui ! Le gyroscope, sans qui nous serions perdus ! Quoique ? Le gyroscope est un élément indispensable dans un hélicoptère.

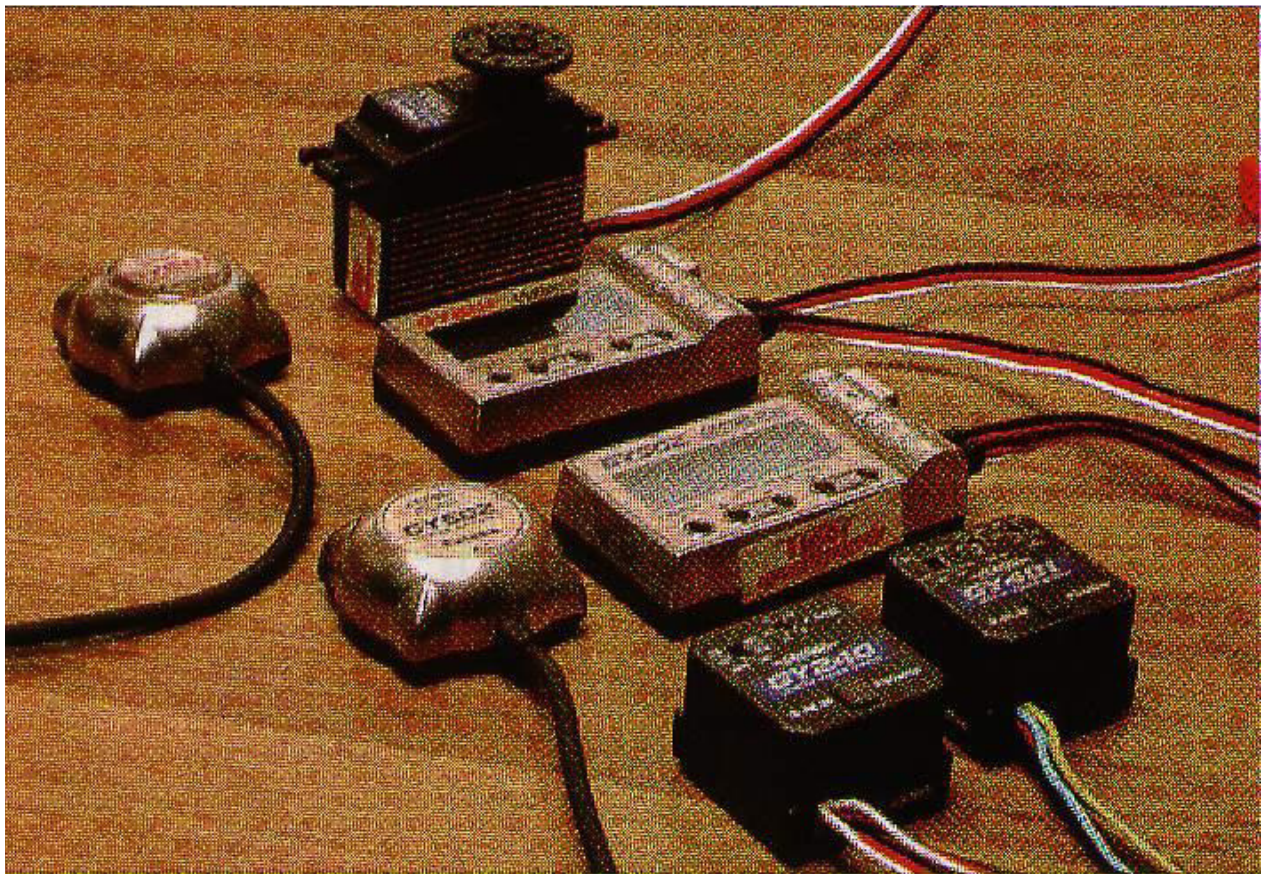
Il sert à stabiliser notre engin sur l'axe de lacet lors de coups de vent latéral, ou de variation du couple (lorsqu'on veut monter ou descendre). Il fait un peu office « d'amortisseur » artificiel sur l'axe de lacet.

Il se présente sous la forme d'un ou plusieurs petits cubes en plastique bourrés de composants électroniques, avec généralement 3 cordons électriques munis de prise permettant le branchement électrique sur la réception.

Un des cordons se branche sur le récepteur à la place du servomoteur d'anticouple, le deuxième se branche sur le servomoteur de cette commande, et le troisième est le réglage du gain (qui permet d'augmenter ou de diminuer sa sensibilité) qui se branche sur une voie auxiliaire disponible sur le récepteur. S'il n'y a pas de voie disponible, on ne le branche pas. Le réglage du gain se faisant alors par un petit potentiomètre ajustable situé dans le boîtier du gyroscope.

Sur ce boîtier figure aussi un petit interrupteur permettant de régler le sens de l'action du gyroscope. On reviendra plus tard sur ces réglages.

Son énergie électrique est donnée par la batterie de la réception.



2.7.1 Gyroscopes classiques

Les plus anciens sont les gyroscopes mécaniques, relativement volumineux. Ils étaient composés généralement de 3 boîtiers reliés entre eux par des cordons électriques. Dans le plus gros des boîtiers se trouve une masse cylindrique entraînée en rotation par un moteur électrique. Cet ensemble est mobile en rotation. Un ressort de rappel maintient la masse dans sa position initiale. Un capteur à effet hall détecte les variations de position de cette masse et le transforme en signal électrique qui envoie des ordres au servomoteur d'anticouple pour redresser la situation.

Lorsqu'une perturbation de position (coup de vent, variation de couple, etc.) sur l'axe de lacet est constatée, la masse change de position et génère par l'intermédiaire du capteur magnétique et du circuit électronique associé, un signal électrique qui agit sur le servomoteur de l'anticouple pour redresser la situation.

Bien entendu, il est transparent aux ordres du pilote.

Les deux autres boîtiers sont munis de petits interrupteurs et de petits potentiomètres permettant la mise en route, les réglages du gain et du sens de correction.

Ils se branchent de la même manière que ce qu'on a vu plus haut, mais en plus il y a un quatrième cordon offrant la possibilité de le brancher sur un accu à part (car ce type de gyroscope est relativement gourmand en énergie électrique).

Avec ce type de gyroscope, les temps de réponse sont relativement lents car ils n'agissent qu'une fois le défaut de tenue de l'axe de lacet constaté, et l'inertie des masselottes en rotation n'aide pas à la rapidité de réaction.



2.7.2 Gyroscopie piézo-électrique

Ce sont les plus récents. Ils sont tous simplement révolutionnaires, car ils sont composés d'un seul boîtier de petite taille, léger, sans aucune pièce en rotation. Un composant électronique se déformant à chaque mouvement envoie un signal électrique qui est amplifié et envoyé au servomoteur d'anticouple pour rétablir la situation. Les temps de réponses sont beaucoup plus courts qu'avec les gyros classiques, surtout si on met un servomoteur très rapide pour la commande de d'anticouple.

Des cordons électriques et des petits boutons ou inters permettent le branchement sur la réception et les réglages comme on la vu plus haut.

Il existe 2 types de gyroscopes piézo-électriques.

Il y a tout d'abord ceux sans verrouillage de cap, qui sont quand même plus performants que les gyroscopes classiques. Ils permettent de faire des corrections seulement en positionnement par rapport à l'espace, ce qui est le minimum demandé ! Mais le problème est que les 2 types de gyroscopes vus plus haut (classique et piezo normaux) corrigent aussi bien les effets de rafale de vents, de variation de couple que les ordres du pilote. Ils tendent à contrer les ordres du pilote car ils détectent une variation de position dans l'espace et la corrigent.

Donc par le truchement du gain réglable par l'émetteur (lorsque cette option est possible), on fait un mixage qui le diminue plus ou moins lorsqu'on envoie un ordre de direction. (surtout valable pour l'acrobatie).

2.7.3 Conservateur de cap

Mais les plus performants sont ceux à verrouillage de cap, qui eux calculent une vitesse de déplacement dans l'espace.

Cette différence leur permet de maintenir un cap, quelles que soient les conditions de vol, car seule une vitesse de rotation est détectée. C'est le gyroscope qui envoie les ordres au servomoteur d'anticouple, et le pilote ne fait que donner une variation de vitesse de rotation de l'hélicoptère sur l'axe de lacet.

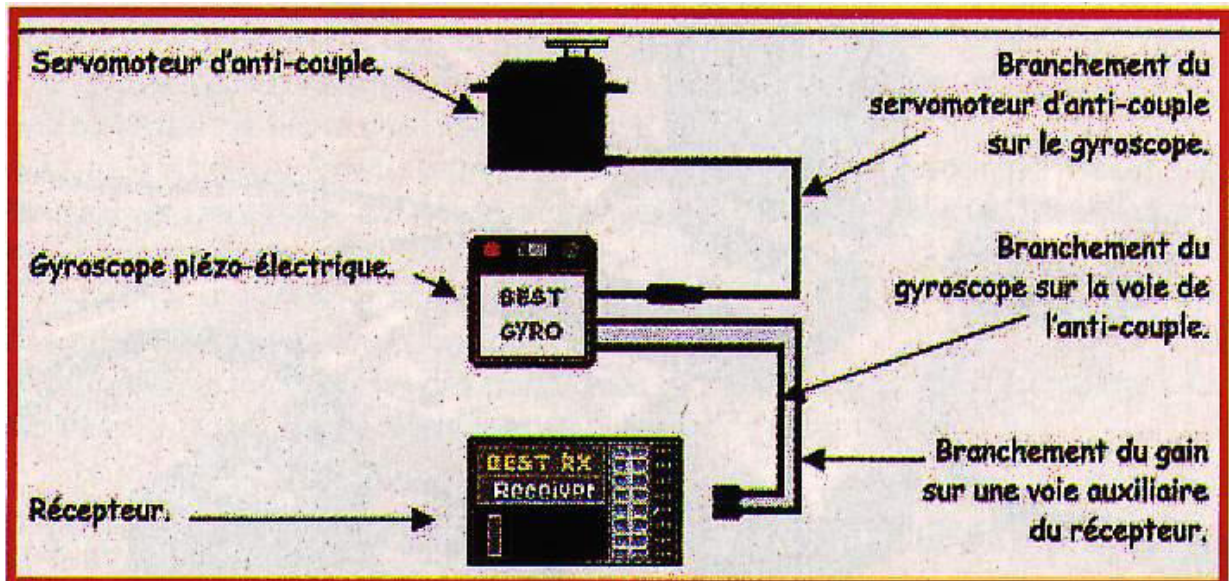
Donc, il est plus neutre et contre toutes rotations sur l'axe de lacet non voulues par le pilote. Ce qui autorise entre autre le vol acrobatique extrême (3D) et la marche arrière sans avoir l'effet girouette du vent relatif sur les empennages de l'hélicoptère.

Avec ces derniers, on peut choisir en vol le mode sans ou avec verrouillage de cap, car dans ce dernier cas, si le pilote ne sait pas trop bien diriger son hélicoptère, ce sera le crash assuré.

En effet, en mode verrouillage de cap, le nez restera imperturbablement pointé dans la dernière direction voulue par le pilote. Si dans un virage on ne commande pas l'anticouple, le nez restera pointé sur le même cap, (en effet, il n'y aura plus l'effet girouette procuré par les empennages, et je vous laisse imaginer les effets que cela peut donner. Donc, au début de notre apprentissage, si vous possédez un tel gyroscope, il sera préférable de désactiver cette fonction verrouillage de cap et de le laisser en mode normal. Nous verrons plus tard en détail tout ça.



Le gyroscope



Le gyroscope s'intercalera entre le servomoteur d'anticouple et le récepteur. La deuxième prise du gyroscope se branchera sur une voie auxiliaire du récepteur et servira au réglage du gain.

2.8 Autres composants

2 autres composants électroniques peuvent se trouver dans un hélicoptère radiocommandé.

2.8.1 Régulateur de régime

C'est un appareil que je ne connais pas, aussi je ne vous ferai pas de long discours sur celui-ci.

Il s'agit d'un dispositif électronique, composé d'un capteur et d'un décodeur amplificateur, qui permet de mesurer la vitesse de rotation du moteur, et de la maintenir à un régime fixe. Il se branche entre le servomoteur des gaz et le récepteur. Il permet de maintenir un régime fixe au moteur, quelle que soit la charge de celui-ci. Si le moteur ralentit, le régulateur commande au servomoteur des gaz d'ouvrir un peu plus le carburateur afin de redonner des tours au moteur. Si le moteur accélère, le régulateur fait refermer un peu le carburateur pour faire ralentir le moteur. Ça régule, quoi.

Il faut que le moteur soit parfaitement rodé, et réglé pour que le régulateur fonctionne correctement. De plus, la courbe de gaz doit être parfaitement optimisée. Ceci afin de faciliter la mise en fonction du régulateur. Mais à mon avis, ce n'est plus la peine d'avoir un régulateur à ce moment là, non ?

Par contre, plus grave, c'est que si le régime baissait à cause d'un appauvrissement du moteur (mauvais réglage du pointeau, par exemple), le régulateur le ferait quand même accélérer, et on ne se rendrait pas compte de son mauvais réglage. Le moteur finirait par serrer. Il calera, sans préavis ...et pourra se détériorer en tournant trop pauvre. Donc... c'est un dispositif à installer seulement si vous y tenez absolument !



2.8.2 Voltmètre embarqué

Voilà un appareil plus utile à mon avis.

Le voltmètre embarqué permettra de contrôler la tension de la batterie de réception avant de démarrer. Il se branche sur une voie non utilisée du récepteur.

Pour vérifier l'état de la batterie, il faudra allumer la radio, bien sûr, et bouger tous les servomoteurs avec l'émetteur pendant une dizaine de secondes, afin de faire consommer le plus possible l'ensemble.

A ce moment là, l'indication de tension sera vraie.

En effet, si on faisait ce contrôle à vide (sans bouger les servos), la batterie ne débiterait pas de courant, et on ne pourrait pas se rendre compte de sa capacité réelle à restituer son courant. A vide, la tension est supérieure par rapport au contrôle sous charge.

Une batterie peut très bien indiquer une tension à vide correcte, et voir cette tension s'écrouler lorsqu'on agite les servos. En vol, elle devra débiter du courant. En pilotant, on agite les servomoteurs... Donc attention... !

Parfois, certains gyroscopes permettent de vérifier la tension de la batterie de réception par un affichage sur un petit écran à cristaux liquides.