

L'HELICO : COMMENT CA MARCHE ?

On va maintenant parler un peu technique (faudra bien, hein ?), de manière à comprendre le fonctionnement de cette merveille technologique... Je ne vous donnerai pas un cours théorique sur l'hélicoptère, ce n'est pas le but (et en plus, j'en serai incapable !). Je vous expliquerai juste quelques bases, histoire de savoir un peu comment ça marche !

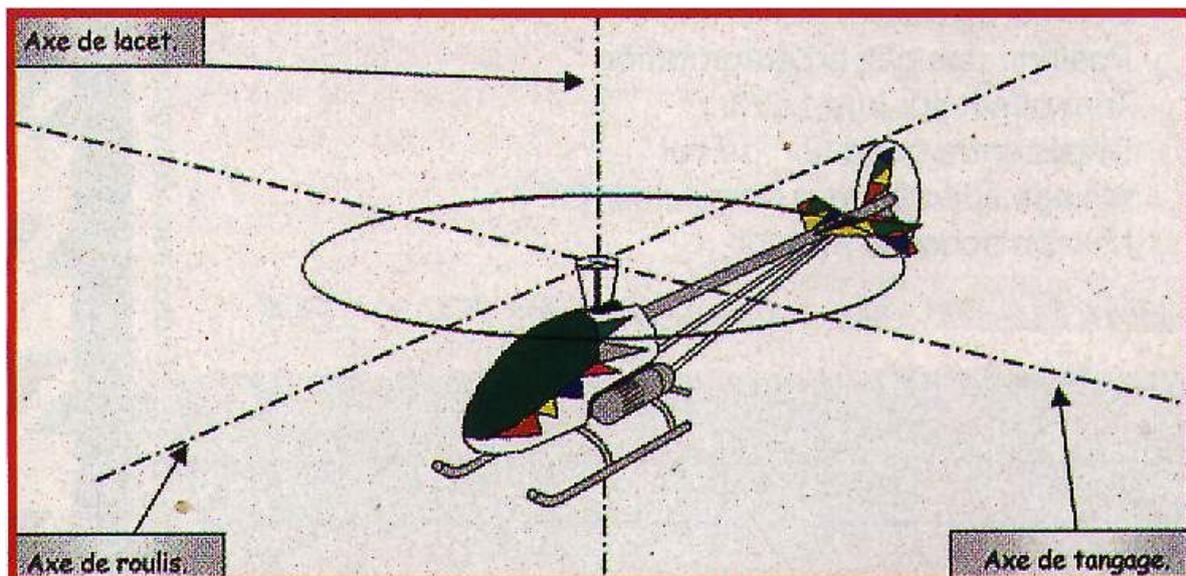
Présentations

Un hélicoptère, c'est cette drôle de machine volante qui peut décoller et atterrir à la verticale ! Elle peut aussi se déplacer dans tous les sens, haut bas, droite gauche, en marche avant et en marche arrière et tourner sur elle-même !

La grosse hélice qui est dessus n'est pas la clim. Non ! C'est le rotor principal. Il sert à procurer la sustentation de l'ensemble en tournant à une certaine vitesse. Il aspire l'air de dessus pour le refouler vers le bas. Ça va là ? Bon

Le rotor principal est entraîné par le moteur qui peut être électrique ou thermique (à explosions). A l'arrière, au bout du fuselage, se trouve une petite hélice, qui s'appelle le rotor anti-couple. Son rôle est de contrer le couple de rotation du fuselage, qui a tendance à tourner en sens inverse du rotor principal, lorsqu'il est entraîné par le moteur.

Jusque là, ça va aussi ? Bon ! Continuons !



Comment ça se dirige ?

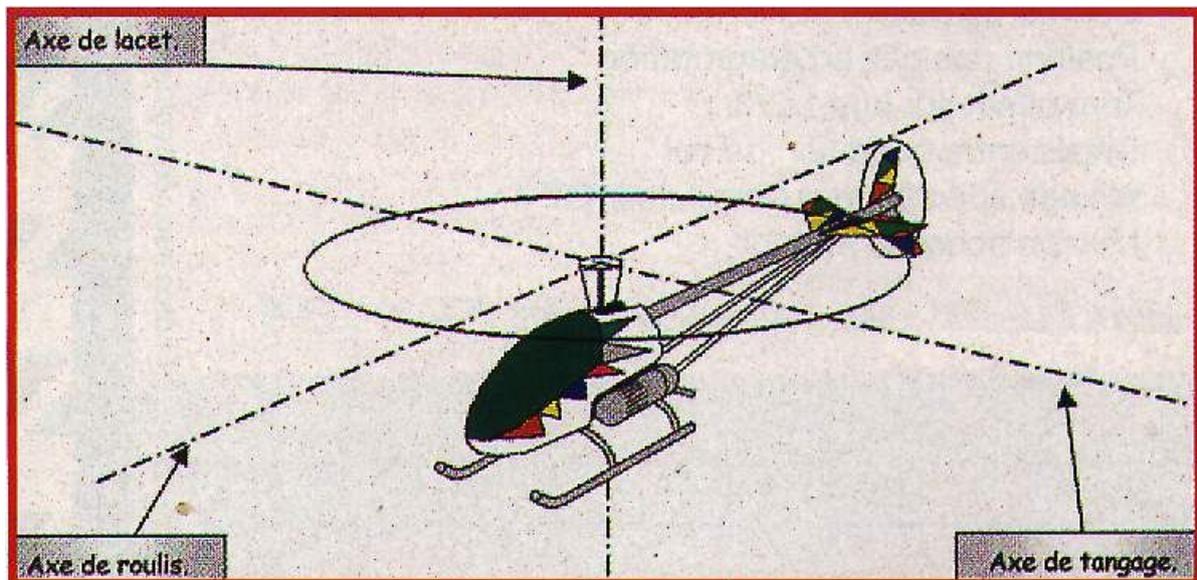
1) Stationnaire

Lorsque l'hélicoptère vole en faisant du « surplace » sans bouger et sans être en contact avec le sol, il est en équilibre dans l'air. On dit qu'il est en stationnaire.

Le rotor principal tourne et décrit un disque de portance qui aspire de l'air au dessus de lui et le renvoie vers le bas. Le pas (incidence) de chaque pale est positif et identique, ce qui procure la portance.

Les forces de sustentations sont égales dans toutes les portions de ce disque, quelle que soit la position de chaque pale. Les deux pales possèdent la même incidence, qui restera identique, quelles que soient leurs positions dans ce disque.

Similitudes entre un hélicoptère et un avion



Les mêmes axes sont pilotés de la même manière entre un hélicoptère et un avion. En haut lorsqu'on met le manche de commande de l'axe de tangage en cabré par exemple, le nez se lève pour les deux (cyclique longitudinal pour l'un, profondeur pour l'autre).

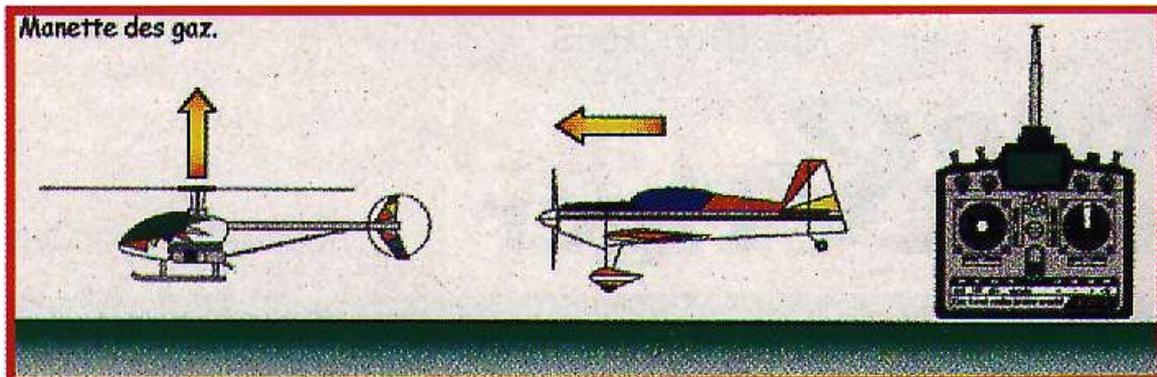
Au milieu, lorsqu'on met le manche de commande de l'axe de lacet à droite par exemple, le nez va à droite pour les deux (anticouple pour l'un, dérive pour l'autre.)

En bas, lorsqu'on met le manche de commande de l'axe de roulis à gauche par exemple, les deux s'inclinent à gauche (cyclique latéral pour l'un, ailerons pour l'autre). C'est vu de face ! Hein ?

2) Monter et descendre

Lorsqu'on voudra le faire monter ou descendre, il suffira d'augmenter cette incidence sur les deux pales en même temps (le pas collectif) du rotor principal afin d'augmenter sa force de sustentation.

Ainsi notre hélico montera. Pour descendre, il suffira de la diminuer (l'incidence !).

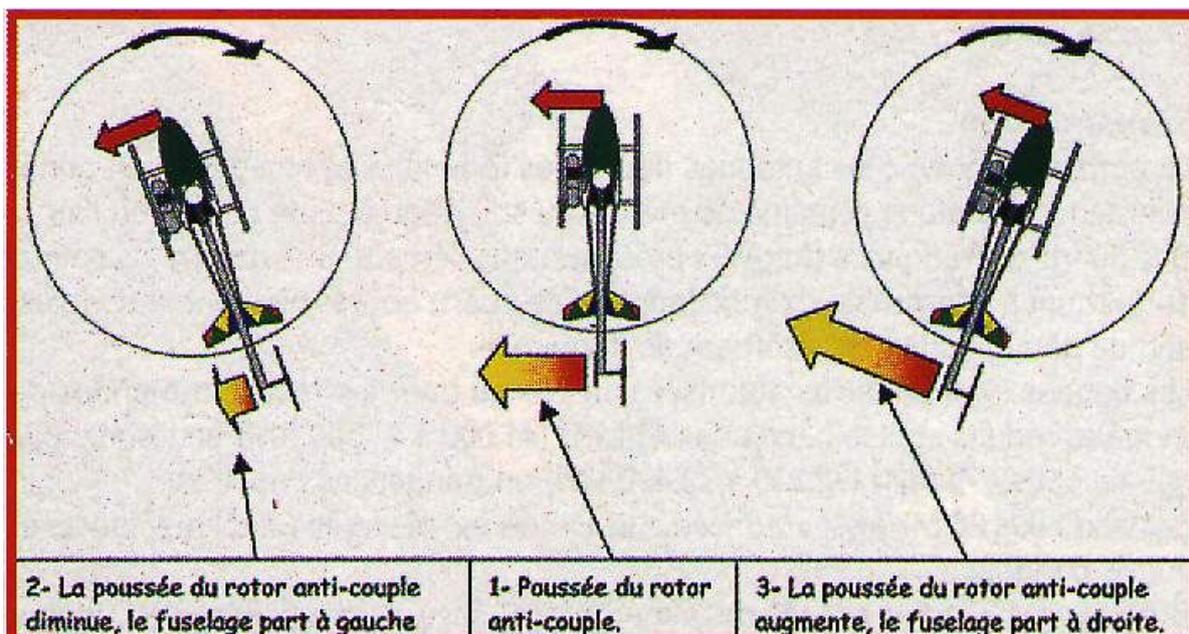


Par contre, lorsqu'on met les gaz, l'hélicoptère monte, tandis que l'avion avance plus vite... (manche gaz/pas pour l'un, manette des gaz pour l'autre).

3) Axe de lacet

Le rotor anti-couple tourne et possède une certaine valeur de pas (incidence des pales) afin de procurer la force nécessaire pour contrer le couple de rotation du fuselage, créé par l'entraînement du rotor par le moteur. En effet, le rotor tournant dans un sens, le fuselage aura tendance à tourner en sens inverse, cherchant à prendre un appui sur l'air, qu'il ne trouvera que grâce au rotor anti-couple.

Pour le faire pivoter sur l'axe de lacet dans un sens ou dans l'autre (autours de lui-même), on fera varier plus ou moins le pas du rotor anti-couple. Il augmentera ou diminuera ainsi son action.



Démonstration pour un rotor tournant à droite (sens horaire).

Le rotor anti-couple est une hélice qui tourne en même temps que le rotor principal. Il permet par sa

poussée, de combattre le couple de rotation du fuselage (flèche rouge), créé par le rotor principal entraîné par le moteur. Le fuselage ayant tendance à tourner en sens inverse (ici à gauche), cherchant un appui sur l'air.

Cette hélice possède 2 pales (ou plus !), qui ont toutes les deux la même incidence entre elles. Cette incidence est variable. Elle est commandée par la commande anti-couple. Ca permet d'augmenter ou de diminuer (voire inverser) l'efficacité du rotor anti-couple.

En stationnaire, l'incidence est d'environ 10°, ce qui lui permet de combattre le couple de rotation du fuselage.

1 - Lorsqu'on n'applique aucun ordre à l'anti-couple, sa poussée ne fait que contrer la rotation du fuselage. Le fuselage reste droit.

2 - Lorsqu'on lui applique un ordre à gauche, on diminue l'incidence de ses pales, et donc son efficacité. La poussée du rotor anti-couple diminue. Le fuselage tourne à gauche.

3 - Lorsqu'on lui applique un ordre à droite, on augmente son incidence et donc son efficacité. La poussée du rotor anti-couple augmente. Le fuselage tourne à droite.

4 - Axe de tangage et roulis

Maintenant, si nous voulons incliner notre bestiole, on ne bougera pas l'axe du rotor principal comme pourraient le croire les néophytes.

On fera « tout simplement » varier le pas des pales du rotor principal sur une certaine portion de son disque.

Par exemple si on veut incliner le fuselage en avant, on augmentera le pas des pales lorsqu'elles passeront derrière, et on le diminuera lorsqu'elles passeront devant. Ceci est possible grâce au plateau cyclique.

La force de sustentation à l'arrière sera ainsi augmentée et celle à l'avant, diminuée.

Ainsi le disque n'ayant plus une portance égale sur toute sa surface, un couple se créera, qui inclinera notre hélicoptère dans la direction souhaitée, soit dans notre exemple vers l'avant.

La précession gyroscopique

Bon là, il faut commencer à s'accrocher..!

Si j'ai simplifié ainsi c'est pour faciliter la compréhension pour un néophyte, car il faudra bien sur (!), tenir compte de la précession gyroscopique du système en rotation qui décale de 90° (un quart de tour) l'action avec la réaction.

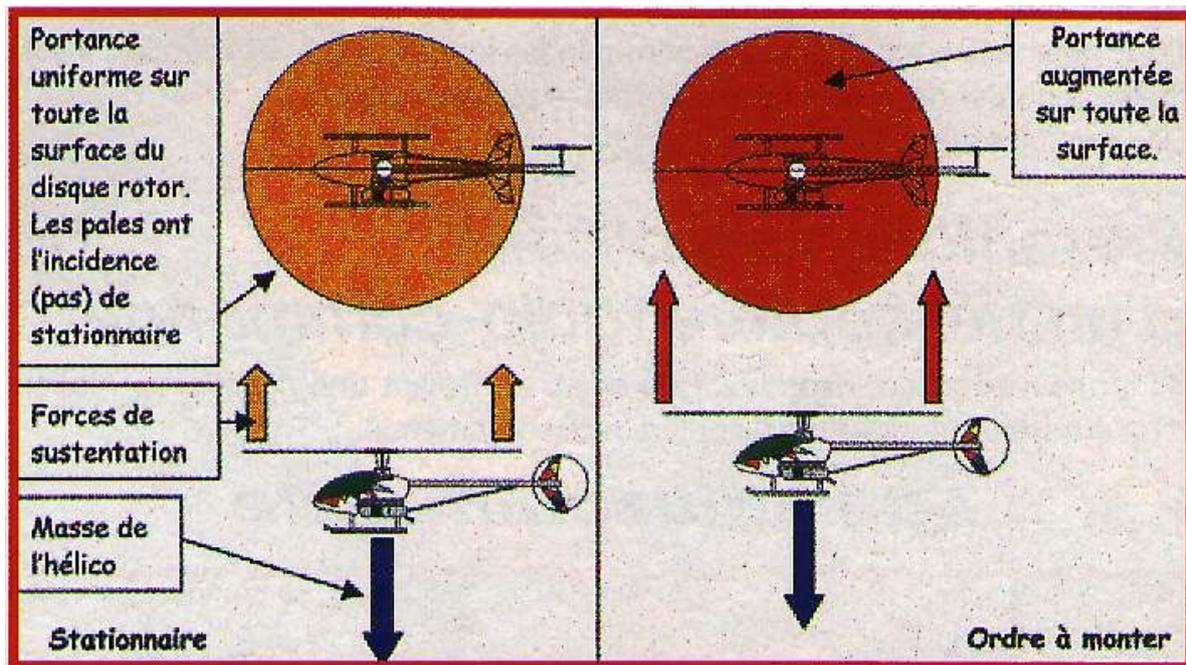
Pour s'en convaincre, il suffira de faire le test de la roue de vélo !

Démontez la roue de votre VTT favori, et tenez-la à l'horizontale par son axe en tendant les bras devant vous. Demandez à quelqu'un de la faire tourner, et essayer de l'incliner vers l'avant en poussant l'axe du haut et en tirant l'axe du bas. Oh ! Elle part sur le côté ! (En passant, vous vous rendez compte qu'il faudra faire un certain effort pour manœuvrer cet axe. C'est une des caractéristiques du gyroscope, la fixité dans l'espace.)

Pour qu'elle s'incline vers l'avant, il faudra l'incliner sur un côté ! Le côté dépendra du sens de rotation de votre roue.

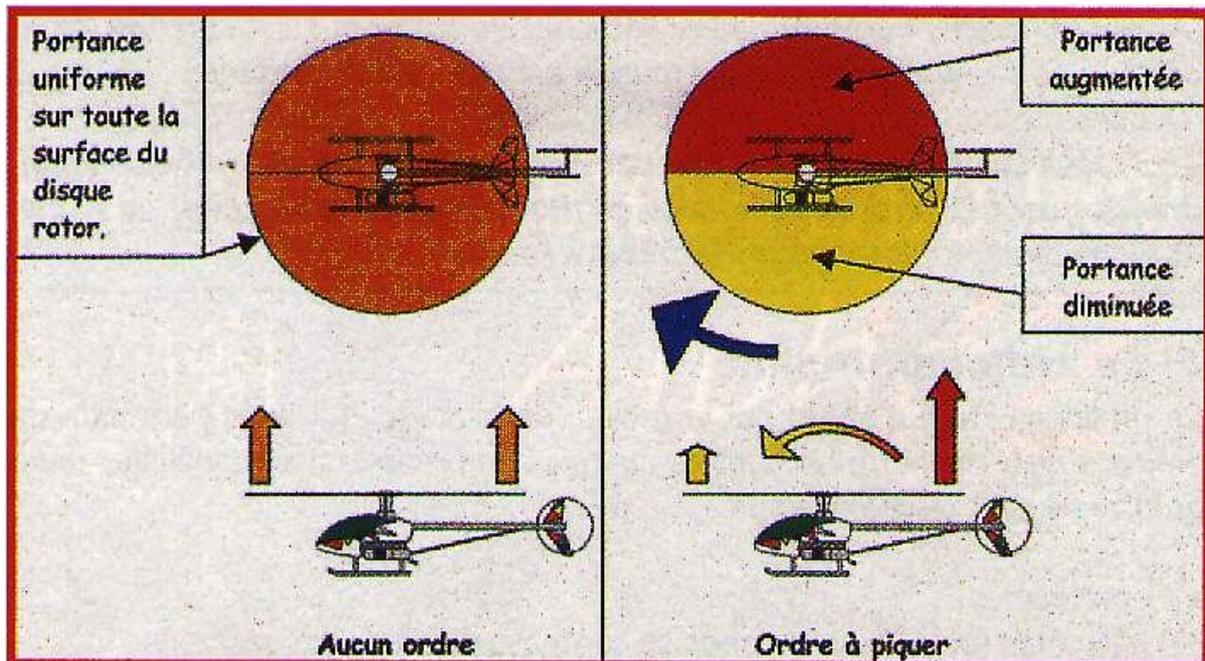
Ben oui ! Vous venez de découvrir la précession gyroscopique !

Comment ça Marche ?



Lorsqu'on veut prendre de l'altitude à partir du stationnaire (force de sustentation du rotor égale à la masse de l'hélico), on fait varier l'incidence des 2 pales en même temps. On fait donc varier le pas de manière collective. La portance du disque rotor augmente de manière uniforme, et est supérieure à la masse de l'hélicoptère. Il monte... Comme la traînée du rotor augmente en même temps que son pas, il a tendance à diminuer sa vitesse. Le moteur peine un peu plus. C'est pourquoi on augmente en même temps son régime. Ainsi, le rotor tourne à une vitesse constante. C'est ce

qu'on règle avec les courbes gaz/pas.



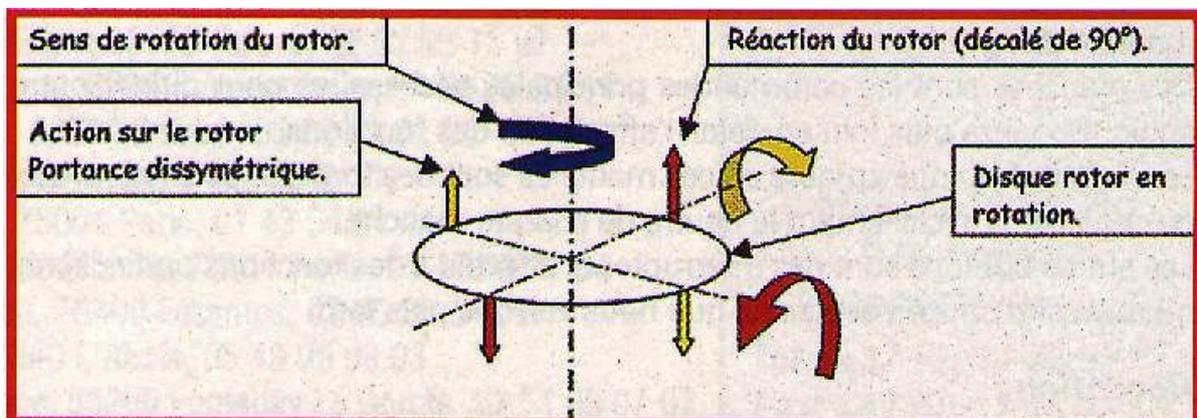
Exemple pour un rotor tournant à droite (sens horaire)

A gauche, aucun ordre n'est appliqué au rotor. La portance est égale sur toute la surface du disque rotor.

A droite, un ordre à piquer est appliqué à l'hélicoptère. Le plateau cyclique transmet cet ordre aux pales du rotor. La portance du disque rotor change et devient inégale.

Elle est plus importante sur la zone rouge que sur la zone jaune. On pourrait penser que le rotor basculerait sur sa gauche ! Mais il faudra compter sur la précession gyroscopique, qui décale de 90° l'action et la réaction. Ce qui fait que le disque rotor s'inclinera vers l'avant dans ce cas.

De part l'architecture de l'ensemble tête de rotor, barre de Bell et de ses commandes, vous ne vous en rendez pas compte. Le plateau cyclique s'inclinera en avant pour un ordre à piquer. C'est le même principe pour les autres inclinaisons (cabré, droite et gauche)



Il se passe la même chose sur nos chers hélicos, mais le système est tellement bien fait que vous ne vous en rendez même pas compte !

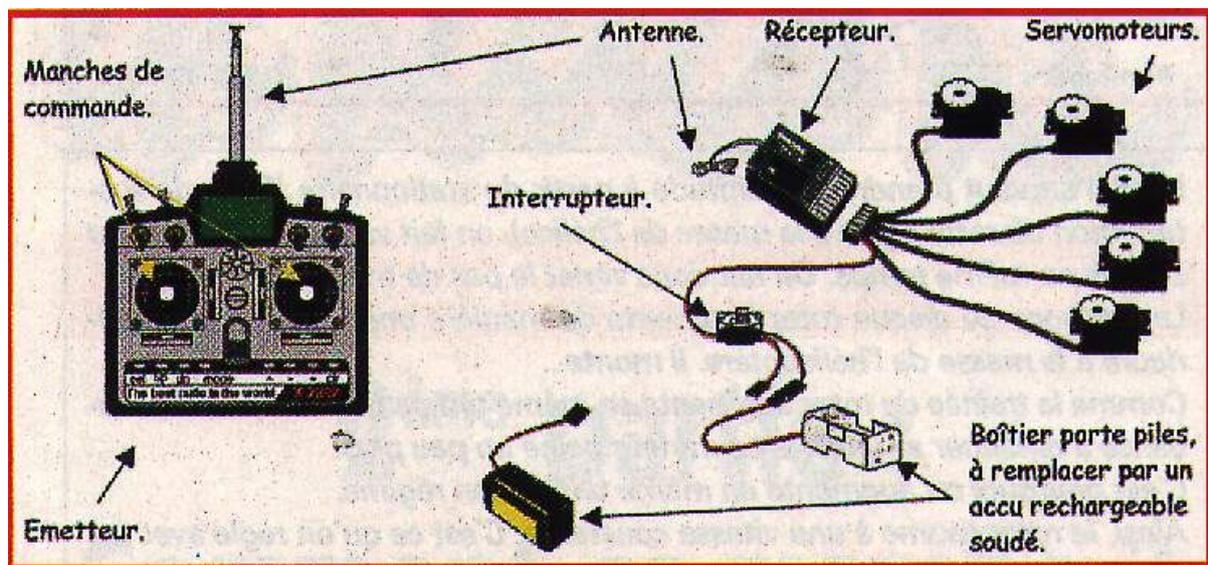
En effet, les commandes de cyclique longitudinal et latéral passent par le plateau cyclique qui transmet les ordres aux biellettes du pas de chaque pale par l'intermédiaire du mélangeur (washout) et de la barre de Bell (voir plus loin les détails de fonctionnement de celle-ci). Tout ce petit monde se charge de décaler les ordres.

Ce qu'il faut retenir, c'est que pour un rotor bipale, lorsqu'on incline le plateau cyclique en avant par exemple, l'hélico se penchera vers l'avant. Si on l'incline sur la droite, l'hélico ira à droite. Donc pour visualiser l'action des commandes longitudinales et latérales, il suffira de regarder dans quel sens s'oriente le plateau cyclique. On verra plus loin en détail comment ça marche.

Présentation simplifiée d'un hélicoptère radiocommandé

Rentrons maintenant dans le vif du sujet, en faisant une petite présentation d'un ensemble complet d'hélicoptère radio commandé.

La radiocommande



Un ensemble de radio commande est composé d'un émetteur, qui envoie par les ondes hertziennes (grâce à son antenne) les ordres du pilote (par les manchettes). Son énergie électrique est fournie par une batterie interne.

La partie embarquée, que l'on nomme réception se compose d'un récepteur, (qui reçoit les ordres de l'émetteur par son antenne), des servomoteurs, (qui transforment les ordres électriques en mouvements mécaniques), et d'une batterie (qui fournit l'énergie électrique à l'ensemble).

La radiocommandé :

Commençons tout d'abord par le moyen de pilotage, qui nous permettra de diriger à distance notre hélicoptère : la radio commande (les modélistes radio pourront sauter ce chapitre !).

L'émetteur :

Un ensemble de radio commande se compose de plusieurs éléments.

Tout d'abord nous avons l'émetteur qui est ce gros boîtier qu'on tient dans les mains, et qui est muni d'une antenne télescopique, de 2 manettes (manches) et de boutons. Ce boîtier renferme des composants électroniques qui permettent de transformer les ordres venant des manettes et des boutons et les envoyer en ondes hertziennes par l'antenne...

Un accu fourni l'énergie électrique indispensable pour son fonctionnement. Un interrupteur permet la mise en marche ou l'arrêt de l'émetteur.

Sur les radios programmables (on verra ça plus loin en détails), un écran à cristaux liquide permet un affichage des fonctions en route. Il permet aussi de visualiser les réglages de ces fonctions, et la tension de la batterie. Sinon sur les « non-programmables », seul un vumètre renseigne sur la tension de la batterie.

Les 2 manettes sont appelées les manches. Ils peuvent se mouvoir de haut en bas et de droite à gauche. Chaque manche est affecté à 2 fonctions qui s'appellent des voies (donc 2 manches = 4 voies...).

Ils possèdent tous les deux un retour au neutre sauf celui qui commandera le carburateur du moteur qui, lui, est cranté de haut en bas et qui s'appelle la manette des gaz.

Ces manches sont les commandes principales nécessaires pour diriger notre engin. On verra plus loin en détail l'affectation des fonctions.

Les 4 petits boutons autour de ces manches sont des trims, et permettent eux de déplacer artificiellement le neutre de chaque manche.

Les autres boutons sont des interrupteurs affectés à des fonctions particulières ou des voies supplémentaires, que nous verrons plus tard.

Réception

Le reste des composants de l'ensemble de radio commande est la partie embarquée qu'on nomme la réception. C'est elle qui sera montée dans notre hélicoptère. Elle reçoit les ordres venant de l'émetteur.

Il y a tout d'abord le récepteur qui est cette petite boîte noire, bourrée de composants électroniques, munie de connecteurs et d'un long fil. Ce fil est l'antenne et il ne doit surtout pas être raccourci. Il reçoit les ordres de l'émetteur par l'intermédiaire de cette antenne.

Ensuite on trouve un interrupteur à glissière qui permet le branchement d'une batterie qui fournit l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement de l'ensemble électronique. Nous trouvons enfin les servomoteurs qui sont ces cubes noirs. Ils permettent de transformer les ordres électriques du récepteur en mouvements mécaniques. Un cordon avec une prise permet de les brancher sur le récepteur. Sur le dessus de ces servomoteurs se trouve un palonnier rotatif en plastique qui permettra l'accrochage des tringles de commandes de notre hélicoptère.

Enfin, de chaque côté, il y a 2 pattes de fixation qui permettent de les fixer dans la cellule à l'aide de petits amortisseurs en caoutchouc (silentblocs) et de vis auto-foreuses fournis.

Pour résumer, lorsque l'ensemble est en ordre de marche, et qu'on bouge les manches de l'émetteur, les palonniers des servomoteurs bougent de manière proportionnelle...

Transmission

La portée radio avec les antennes déployées (émetteur et récepteur) est généralement de quelque centaine de mètres au sol, jusqu'à perte de vue en l'air.

Des quartzs de fréquence (fragiles) présents dans l'émetteur et dans le récepteur permettent à l'ensemble de fonctionner. Ces quartzs sont facilement amovibles, afin de pouvoir changer aisément de fréquence.

Les bandes de fréquences autorisées en France pour les radiocommandés de modèles réduits sont la bande des 41 MHz (41.000 à 41.200 MHz en fréquences paires) et des 72 MHz (72.210 à 72.490 MHz en fréquences impaires).

La bande des 26 MHz est autorisée aussi, mais est réservée plutôt aux jouets et autres gadgets...

Si on allume 2 radios possédant la même fréquence, il y a brouillage. Il faut que les fréquences soient espacées d'au moins 20 kHz pour éviter le brouillage. C'est important à savoir, surtout si d'autres modélistes volent en même temps que vous allumez votre radio (un avion ou un hélicoptère peuvent tomber à la suite d'un brouillage car les commandes frétilent, ne répondent plus ou vont en butée..!).

Donc il faudra toujours vérifier si votre fréquence est disponible avant d'allumer la radio sur un

terrain où sont présents d'autres modélistes, et vous conformez le cas échéant au règlement du club sur ce sujet (tableau de fréquence.

Le mode de transmission est généralement la FM. Le type de codage peut-être le PPM (analogique), ou le PCM (numérique). Ce dernier serait le plus « durci » au niveau brouillage. Il permet une programmation de position des servomoteurs en cas d'interférences entre autre. Les récepteurs PCM coûtent 2 fois plus chères que les PPM... Je ne m'étendrais pas plus sur le sujet, chaque mode ayant ses partisans et ses tructeurs ...euh ! Ses détracteurs, pardon !

Un chargeur de batterie spécifique (avec les cordons de charge qui vont bien) est nécessaire pour recharger les accus de l'émetteur et du récepteur (il est en effet impensable de faire voler un hélicoptère RC avec un porte-piles, pouvant être sujet à de faux-contacts soumis aux vibrations ! Des accus soudés s'imposent). Généralement il est livré avec l'ensemble de radiocommandé, mais pas toujours

L'hélicoptère

Poursuivons l'investigation, par une présentation de la bête, cette fois

Un hélicoptère modèle réduit est généralement composé d'un châssis autoportant en alu, ou bien moulé en plastique armé fibre de verre. Parfois, sur les hauts de gammes il est en carbone.

Dans ce châssis sont fixées toute la mécanique, la motorisation et toute la partie électronique embarquée de la radiocommandé.

Un tube en alu ou en carbone, fixé sur ce châssis et parfois haubané, contient la transmission et la commande du rotor anti-couple. Ce dernier, ainsi que les empennages sont fixés au bout de ce tube.

Un carénage en fibre de verre ou en plastique moulé (cabine) recouvre le châssis, et est rapidement démontable. Ainsi, l'accès aux composants mécaniques et électroniques est très facile, ce qui permet des réglages et un entretien aisés. L'ensemble repose sur le train d'atterrissage composé d'arceaux en plastique moulé, armé de fibre généralement, et de patins en tube alu.

Les commandes entre les servomoteurs et les différentes biellettes sont généralement faites en cordes à piano avec à leurs extrémités des chapes à rotule en plastique avec une bille métallique, permettant leur raccordement.

Toutes les pièces en rotation ou renvois d'angle sont soit munis de bagues en bronze, soit de petits roulements à bille, afin de réduire les frottements et les jeux mécaniques.

Les pales principales peuvent être soit en bois avec des lests incorporés et revêtus d'un film plastique, soit en fibre de verre ou carbone moulé.

Les pales du rotor anti-couple sont généralement en plastique moulée.

Il existe bien sûr des reproductions plus ou moins fidèles d'hélicoptères grandeurs, avec une carrosserie en plastique ou en fibre de verre dans laquelle est fixée la mécanique, mais c'est le genre de modèle qu'il vaut mieux oublier au début.

La complexité de l'installation mécanique, l'accessibilité réduite (maintenance difficile), les qualités de vol de ces machines (hélicos généralement plus lourds) ainsi que le prix de revient, les faits réservés aux pilotes expérimentés.

Après nous être penchés le mois dernier sur la théorie du vol des hélicos et avoir détaillé les fonctionnalités nécessaires à leur pilotage sur une radio, étudions de plus près ce mois-ci la machine en elle-même à travers la description de sa mécanique...

Constitution de la mécanique

Voyons un peu ce qu'il a dans le ventre, en passant en revue les différents éléments constituant cette mécanique de précision.

1) Le moteur

C'est lui qui va fournir l'énergie mécanique nécessaire pour faire voler notre machine.

Le moteur est muni d'un carburateur avec une arrivée d'air et une arrivée d'essence, qui permet de régler son régime de rotation. Généralement de chaque côté de celui-ci se trouvent les pointeaux, qui eux permettent de régler la richesse du ralenti et celle du plein gaz.

Un silencieux ou pot d'échappement est en principe livré avec le moteur, et permet de réduire les nuisances sonores et de diriger la sortie des gaz brûlés. Parfois, il est livré avec le kit de l'hélicoptère, car il possède une forme spécifique.

Une prise de pressurisation fixée sur le pot d'échappement permet, grâce à la surpression qui règne à l'intérieur de celui-ci lorsque le moteur fonctionne, de pressuriser le réservoir d'essence. La liaison se fait par une Durit. Ceci favorise la carburation. Sur la culasse, se trouve la bougie qui permet son démarrage et son fonctionnement.

2) La bougie :

Elle permet au moteur de fonctionner. Il faut la chauffer à l'aide d'une batterie de 1,5 Volts et d'un connecteur électrique spécial. Lorsque le moteur a démarré, on déconnecte la bougie. Celle-ci reste « allumée », entretenue par les explosions qu'elle a provoquées dans la chambre de combustion du moteur. Il se produit un effet d'auto-allumage, un peu comme sur les moteurs diesels.

La bougie est généralement peu accessible, et on doit souvent fixer une connexion électrique, déportée sur un flan de l'hélicoptère, pour pouvoir l'alimenter au démarrage sans rien démonter. Il existe plusieurs types de bougies, qui sont classées par températures (chaudes, moyennes, ou froides). En règle générale, sur un hélicoptère, on utilise des bougies moyennes.

3) Le réservoir de carburant :

Le réservoir d'essence en matériau translucide contient le mélange de carburant nécessaire au fonctionnement du moteur. Celui-ci est relié au moteur par de la tuyauterie souple que l'on appelle Durit.

Dans le réservoir se trouve le plongeur souple qui est en contact avec le fond, permettant au carburateur d'aspirer le carburant dans toutes les positions. Une autre tuyauterie qui sera relié au pot d'échappement permettra sa pressurisation. Elle servira par la même occasion de trop plein lors du remplissage du réservoir, de part sa disposition dans le réservoir (vers le haut).

Parfois une troisième tuyauterie est présente, et permet d'en faire le remplissage. Mais habituellement, on utilise celle du carburateur pour faire le plein.

Des filtres à carburant peuvent (doivent) être installés sur l'alimentation du moteur, ou sur la tuyauterie qui permet de faire le plein. Ceci afin de remplir le réservoir avec un carburant « propre ». Comme il est translucide, on peut voir d'un simple coup d'œil le niveau de carburant restant au cours d'un vol.

4) Le carburant :

Un mot sur le carburant utilisé. C'est un mélange qui se trouve tout préparé en bidons de 2 ou 5 litres (parfois 20 litres), dans les magasins de modèles réduits, ou que l'on peut faire soi-même. Il est constitué de méthanol et d'huile soit de ricin, soit de synthèse spécifique (ce n'est pas la même huile que pour l'automobile !). Les proportions sont d'environ 15% d'huile, suivant la marque du carburant et le type de moteur utilisé.

On peut aussi acheter du carburant contenant du nitrométhane, qui permet d'augmenter la puissance du moteur, et de faciliter son démarrage. Les proportions de celui-ci peuvent monter jusqu'à 30% environ. Le prix du litre de carburant est proportionnel au pourcentage de nitrométhane contenu dans celui-ci. En règle générale, on utilise un mélange en huile de synthèse, contenant 5 % de nitrométhane.

Il est préférable de ne pas stocker une grosse quantité de carburant, celui-ci se dégradant au contact

de la lumière et de l'humidité.

5) Le refroidissement :

Le moteur thermique d'un hélicoptère radio commandé ressemble beaucoup à un moteur d'avion. Généralement, on les reconnaît par la présence d'une culasse surdimensionnée, qui améliore son refroidissement. Car contrairement à l'avion, où le moteur est ventilé par l'hélice, ici le moteur est encastré dans le châssis et le refroidissement pose un problème.

Pour résoudre ce problème, il y a un ventilateur fixé à la place de l'hélice. Celui-ci est donc mu par le moteur.

Des carénages rapportés ou intégrés au châssis et coiffant le ventilateur et la culasse permettent à celui-ci d'aspirer de l'air frais, de le faire s'écouler autour de la culasse et de l'évacuer.

Le moteur est ainsi parfaitement refroidi.

6) L'embrayage et le démarrage

Ce moteur entraîne un embrayage centrifuge qui permet son démarrage au ralenti, sans entraîner le rotor. Une fois démarrée, lorsqu'on accélère, (embrayage colle à la cloche d'embrayage qui entraîne le rotor en rotation par le système de transmission. Le système de démarrage du moteur est souvent intégré au système d'embrayage ou au ventilateur. Il est constitué soit d'un petit cône en plastique ou en alu, qui permet le démarrage à l'aide d'un démarreur électrique classique d'avion, soit d'un embout 6 pans creux et un roulement spécial, qui nécessite un outillage spécial à fixer sur le démarreur. Parfois il y a une tirette qui permet de démarrer le moteur comme une tronçonneuse, ce qui permet de se passer de démarreur électrique.

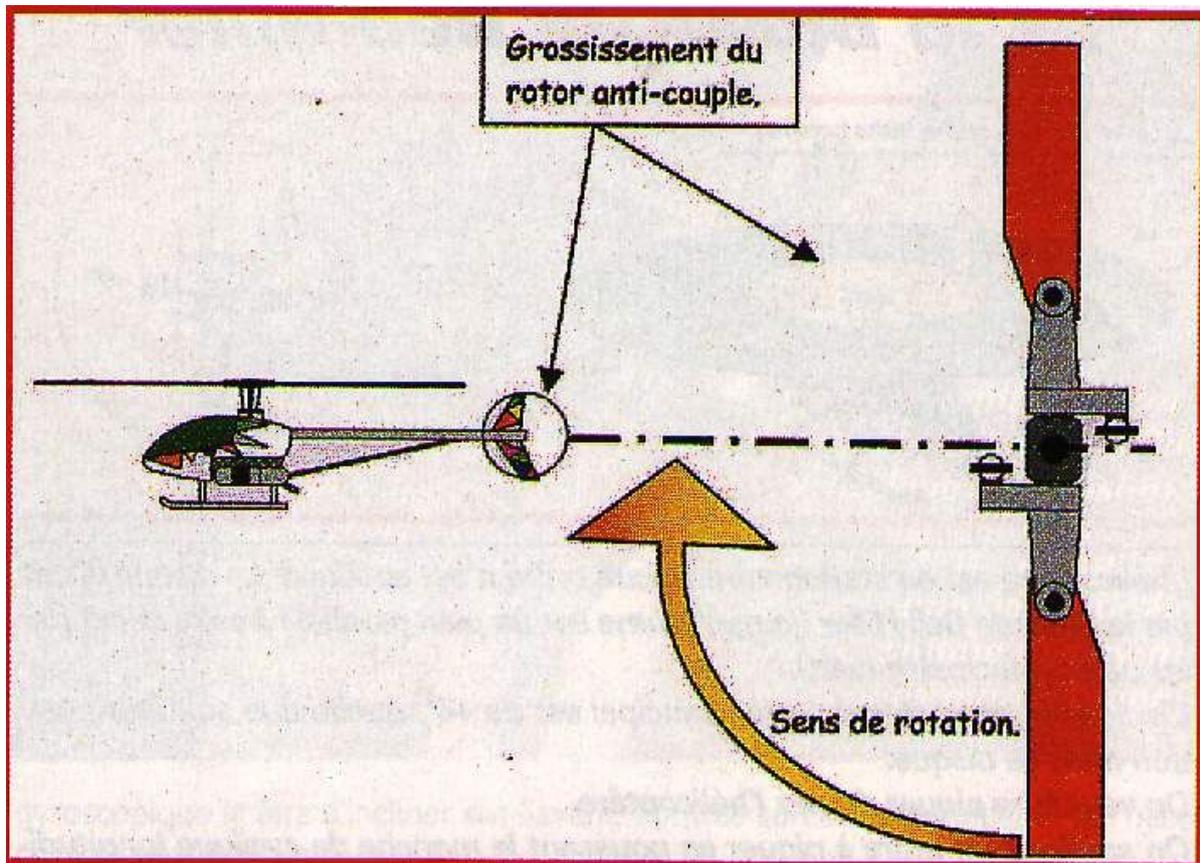
7) La transmission

La cloche d'embrayage entraîne un jeu de couronne dentée et de pignons qui sont reliés à l'axe du rotor principal. Parfois une ou plusieurs courroies remplacent quelques-uns de ces pignons. On appelle ça la démultiplication, car le rotor tourne moins vite que le moteur (environ 1500 tr/mn pour le rotor, environ 15000 tr/mn pour le moteur).

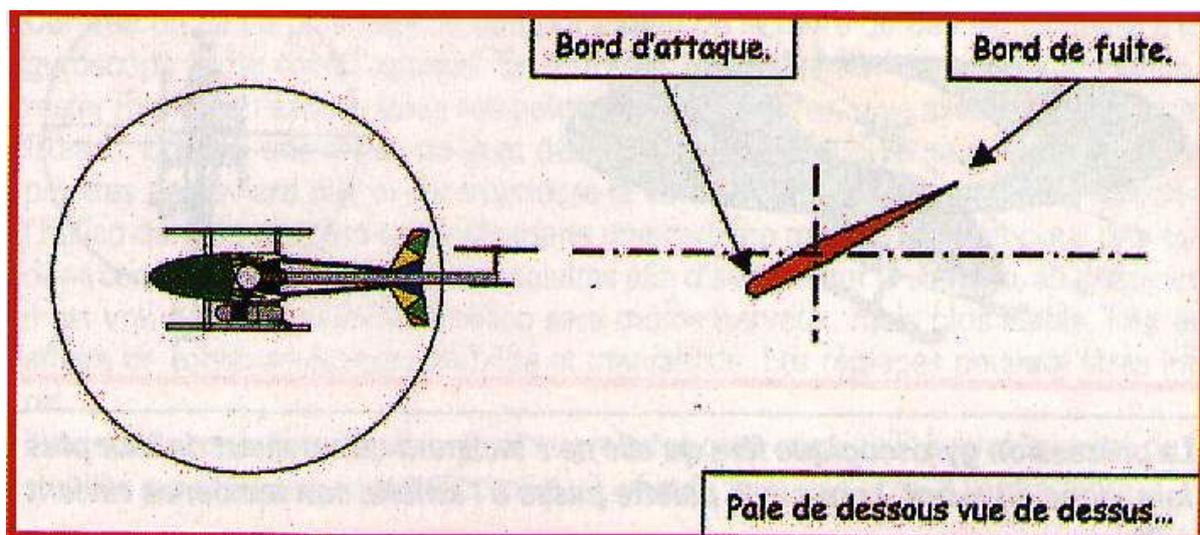
Une roue libre (système de roulements dans lequel l'axe n'est entraîné que dans un sens de rotation, comme sur un vélo...) permet à l'axe du rotor de continuer à tourner sans entraîner la pignonnerie ni la cloche d'embrayage. Ce qui offre la possibilité à un pilote entraîné de pouvoir

poser son hélicoptère moteur au ralenti ou calé en faisant une autorotation (on verra ça plus tard !).

Le rotor anti-couple



Le rotor anti-couple fouinera toujours dans le sens horaire, vu du côté gauche de l'hélicoptère. C'est à dire que lorsque la pale sera en bas, elle se dirigera vers l'avant tandis qu'en haut elle se dirigera vers l'arrière.



Pour connaître facilement le sens d'action du rotor anti-couple, on repérera la

pale qui passe en dessous (son bord d'attaque est pointé vers l'avant).

On peut faire un parallèle avec une gouverne de direction (dérive) d'un avion - lorsqu'on donne un ordre à gauche, le bord de fuite doit aller à gauche.

► pour un ordre à droite, le bord de fuite doit aller à droite...

Mais en stationnaire il aura toujours une certaine incidence - à gauche pour un rotor fouinant à gauche,

► à droite (comme le schéma) pour un rotor tournant. à droite !

8) Le rotor anti-couple :

La transmission du rotor anti-couple se fait soit par l'intermédiaire d'une courroie crantée et de poulies crantées, soit par un axe rotatif en corde à piano ou en tube (inox ou carbone) reliés par des pignons coniques à la transmission principale et au rotor anti-couple, et qui tourne dans des paliers (bagues ou roulements) à l'intérieur du tube de queue.

Le rotor anti-couple tourne entre 6000 et 9000 tr/mn environ.

Ses pales sont à incidence variables, pour pouvoir diriger le souffle d'un côté ou de l'autre. Sa commande se fait par un renvoi relié au servo d'anti-couple par une tringle guidée le long du tube de queue pour éviter le flambage (commande qui se tord sous l'effort ! Le flambage la rend moins précise, et est donc à éviter).

9) Le plateau cyclique :

C'est une des pièces maîtresses d'un hélicoptère.

C'est la pièce en métal et en plastique qui se trouve sur l'axe du rotor, et qui reçoit les tringles de commandes des servomoteurs de tangage et de roulis. Une rotule métallique lui permet de s'orienter dans toutes les directions, afin de commander les biellettes de contrôle de l'incidence de la barre de Bell-Hiller et des pales principales.

Le plateau cyclique permet donc de piloter le cyclique longitudinal et latéral. Lorsqu'on l'incline dans un sens, l'hélicoptère se penchera dans ce même sens (pour un rotor bipale avec barre de Bell-Hiller).

Sur la plupart des hélicoptères, la commande du pas collectif passe par lui. Dans ce cas, il peut en plus, coulisser sur l'arbre rotor afin de modifier l'incidence collective des pales, et ainsi faire monter ou descendre l'hélico.

10) La tête de rotor :

C'est la pièce maîtresse d'un hélicoptère. C'est ce qui se trouve en haut du mat principal, là où sont fixées et commandées les pales principales et la barre de Bell. Un jeu de tringleries et de renvois reliés au plateau cyclique permet de modifier (incidence de la barre de Bell et des pales.

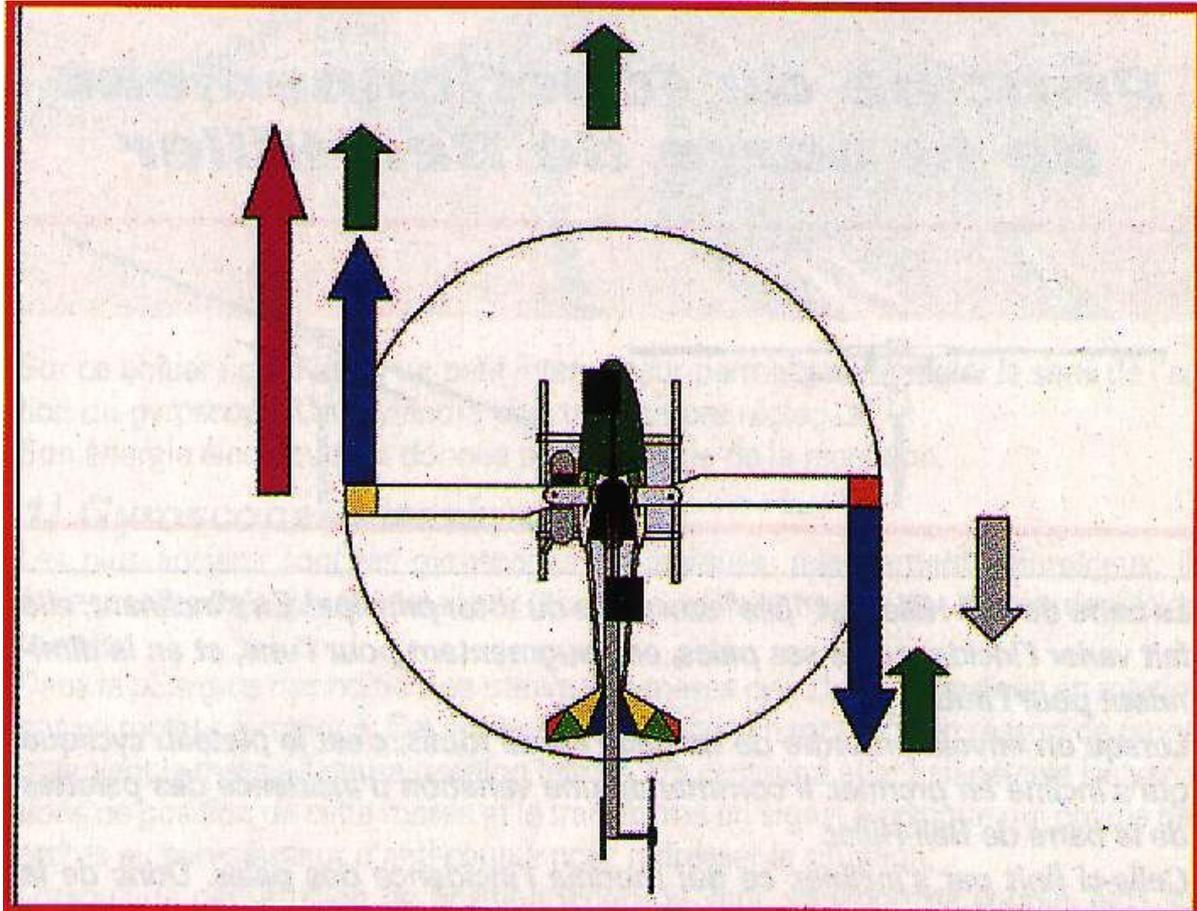
11) Le washout :

C'est un mélangeur mécanique pouvant coulisser sur l'arbre rotor, qui permet d'une part de faire tourner la partie rotative du plateau cyclique, et qui d'autre part transmet ses ordres vers les pales ou la barre de Bell.

12) Les porte-pales :

Généralement, ils sont montés sur roulements à billes et butées à billes. Comme le nom l'indique, ils portent les pales... Ils possèdent des biellettes reliées à la barre de Bell et au plateau cyclique, permettant les variations d'incidence.

Amortisseur de battements



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.

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 (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 !

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 horizontal (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..!

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.

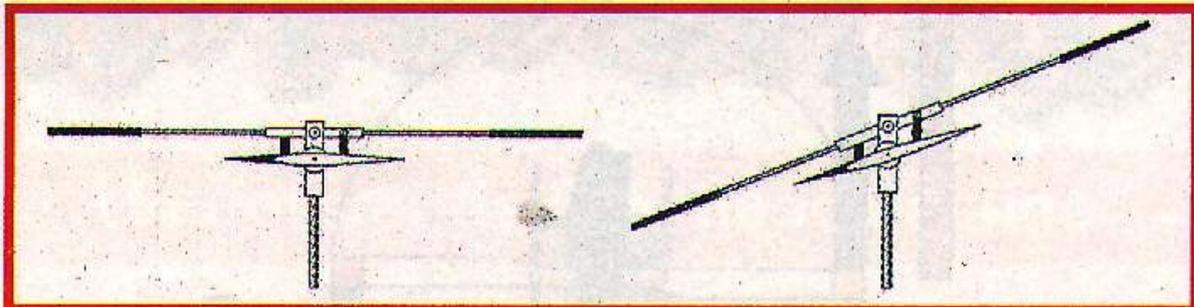
Elles peuvent être aussi en matériaux composites, ce qui offre une meilleure finition, une meilleure rigidité et une meilleure tenue dans le temps.

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.

1-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.

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-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.

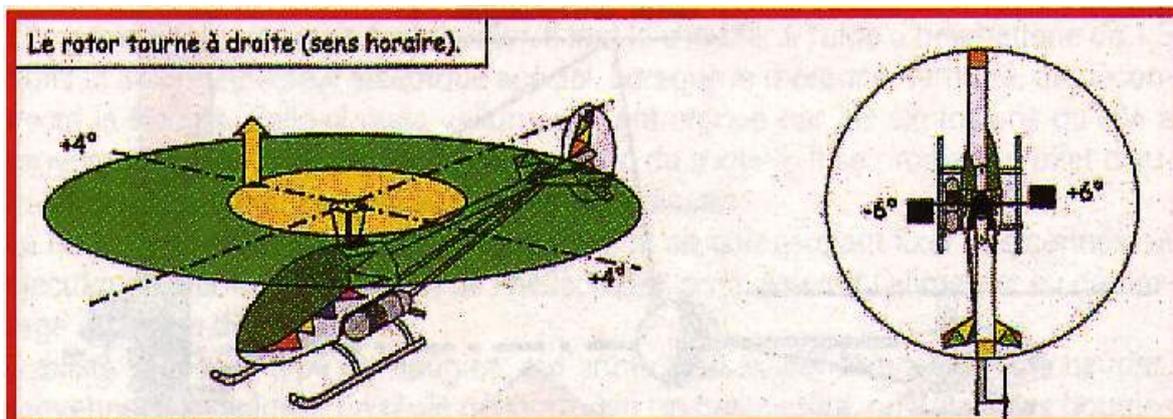
Les réactions sont identiques pour les autres directions.

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 (fixé 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 certains kits, 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'acro 3D entre autres.

Principe de fonctionnement de la barre de Bell-Hiller

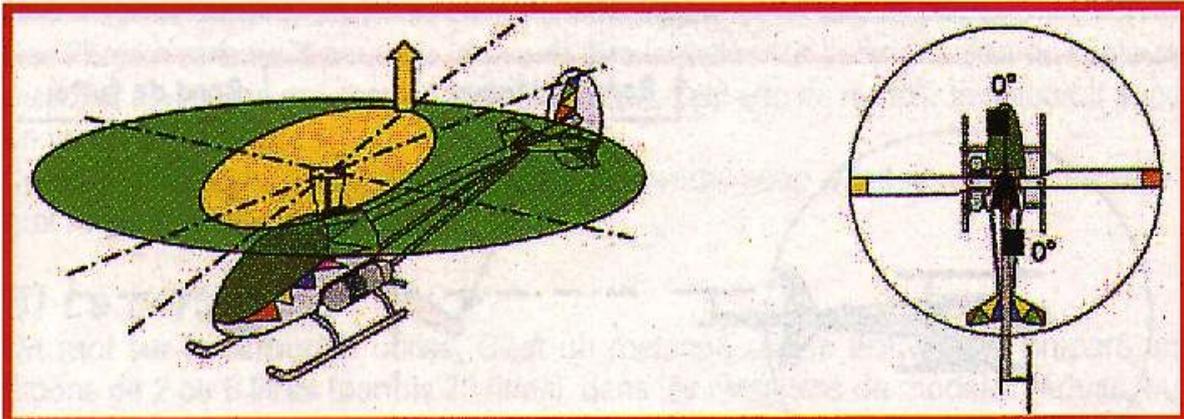


L'hélicoptère est en stationnaire. Aucun ordre n'est appliqué. Le disque décrit par la barre de Bell-Hiller (jaune) tourne sur un plan parallèle à celui décrit par les pales principales (vert).

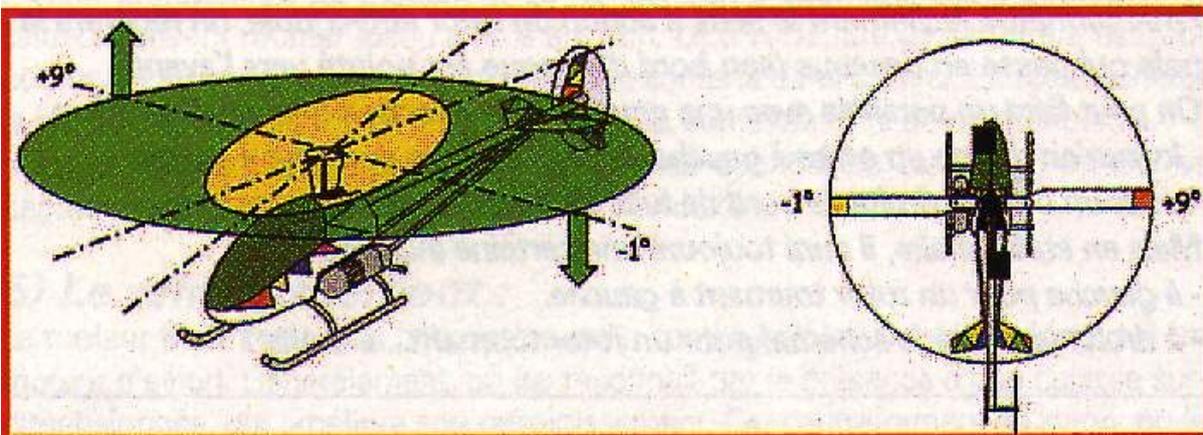
L'incidence des pales du rotor principal est de $+4^\circ$, quelle que soit leur position dans ce disque.

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).

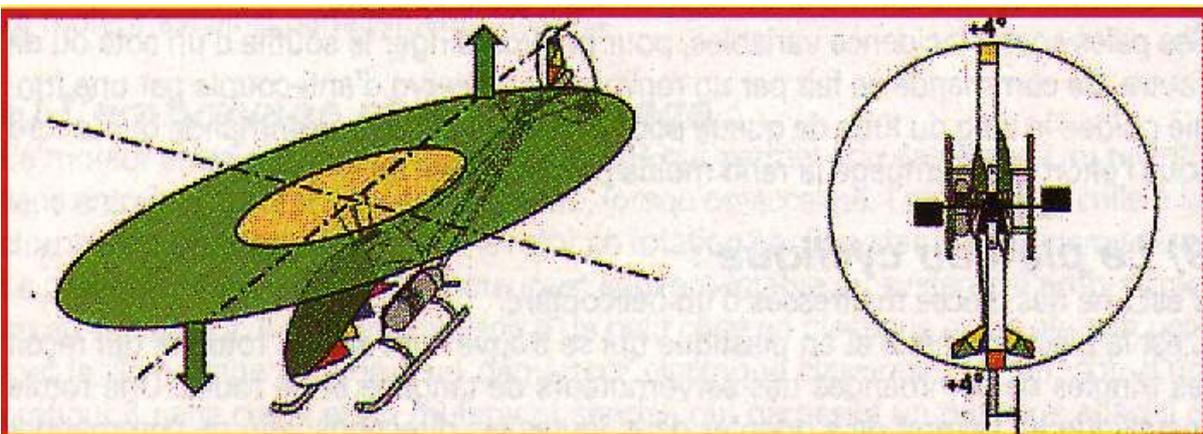


La précession gyroscopique fera qu'elle ne s'inclinera qu'un quart de tour plus loin, donc en avant.
Lorsque la palette passe à l'arrière, son incidence revient à 0° .



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) 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 démuné de barre de Bell-Hiller sera beaucoup plus sensible, vif et moins "stable".

3- 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'anti-couple 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 !

4-Le gyroscope

Ah, oui ! Le gyroscope, sans qui nous serions perdus ! Quoi que ? 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'anti-couple, 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.

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'anti-couple 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 (intermédiaire du capteur magnétique et du circuit électronique associé, un signal électrique qui agit sur le servomoteur de l'anti-couple 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) Gyroscope 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'anti-couple 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'anti-couple.

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).

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'anti-couple, et le pilote ne fait que donner une variation de vitesse de rotation de l'hélicoptère sur l'axe

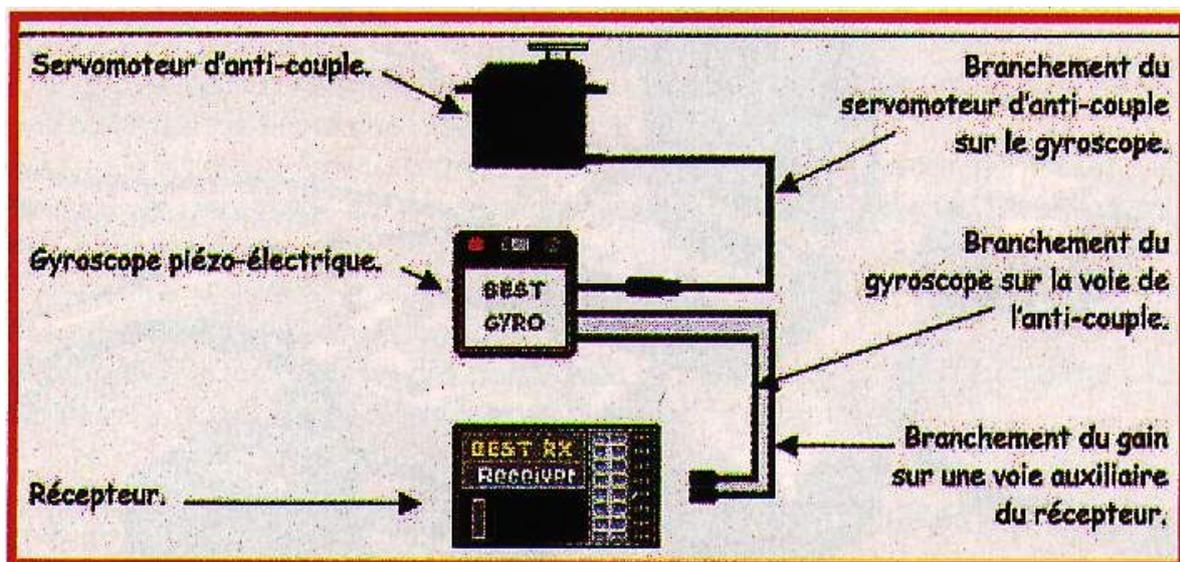
de lacet.

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'anti-couple et le récepteur. La deuxième prise du gyroscope se branchera sur une voie auxiliaire du récepteur et servira au réglage du gain.

Autres composants

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

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) 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 (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.
