



C.A.CH.37



Gérard PURET

Formation à la motorisation électrique

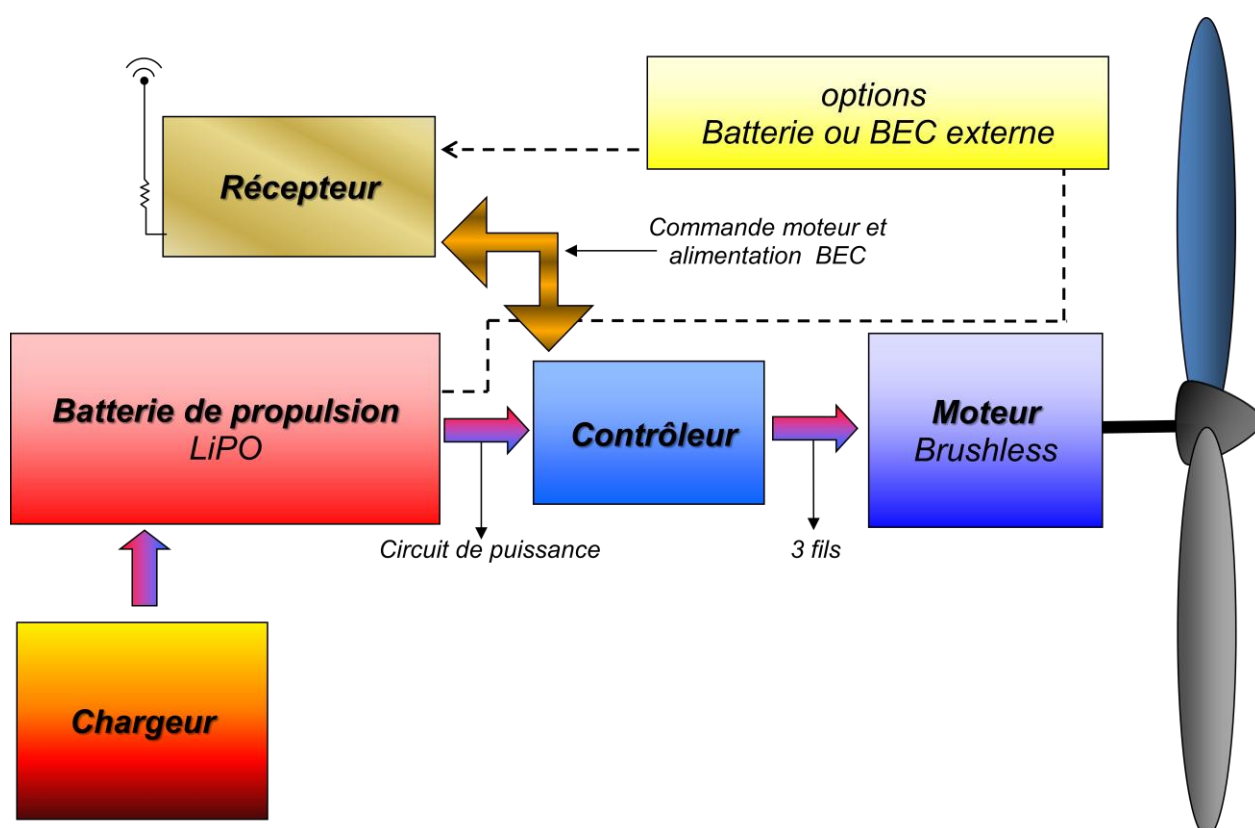
Pour découvrir et comprendre restons simples: nous allons étudier chaque élément d'une chaîne de motorisation, en ne prenant en compte que les caractéristiques immédiatement disponibles dans les catalogues et les sites internet des fabricants et distributeurs. Pas de notions réservées aux initiés, pas de grandes formules, uniquement du matériel facile à se procurer dans le commerce.

Cette formation s'adresse, en premier lieu, aux débutants et à tout modéliste, dans la limite d'une utilisation de loisir.

I - TECHNOLOGIE

La chaîne de motorisation

Une batterie et son chargeur, un contrôleur, un moteur avec ou sans réducteur, une hélice et éventuellement un circuit d'alimentation réception.



C'est toujours le maillon le plus faible qui conditionne les capacités de toute la chaîne

Les batteries

Batterie Lithium polymère :

Une batterie LiPo est composée d'éléments qui peuvent être montés en série et / ou en parallèle (à condition qu'ils soient de même capacité). Un élément a une tension nominale de 3,7 V et sa capacité nominale (C) a bien sûr une relation directe avec sa taille et sa masse, mais pour une même capacité, la masse peut varier d'une manière importante en fonction du courant maximal de décharge en continu.

Le conteneur est rectangulaire, plat et légèrement souple donc fragile. En utilisation loisir, une batterie LiPo ne nécessite pas de rodage avant l'emploi mais elle est sensible à la tension de charge qui ne doit pas être supérieure à 4,2 V et à la tension minimale de décharge qui ne doit jamais être inférieure à 2,7 V voire 3 V par sécurité.

Exemple : Batterie Lipo 2200 mAh / 3S1P / 30C / 5C

- Capacité nominale C : 2200 mAh
 - 3S (Série): 3 éléments en série, tension nominale de 11,1 V
 - 1P (Parallèle): 1 pack de 3 éléments
- Si on branche en parallèle deux de ces batteries on obtient une 3S2P, sa capacité nominale est alors de 4400 mAh
- Montés en série, la tension des éléments s'additionnent
 - Montés en parallèle, la capacité des éléments s'additionnent
- 30 C : Le courant de décharge maximum en continu est égale à 30 fois la capacité nominale soit : $30 \times 2,2 \text{ A} = 66 \text{ A}$
- Pour deux batteries de ce type branchées en parallèle, soit une capacité de 4400 mAh (4,4 A), la capacité de décharge est également doublée : $30 \times 4,4 = 132 \text{ A}$
- 5 C : Le courant de charge maximum est égale à 5 fois la capacité nominale soit $5 \times 2,2 \text{ A} = 11 \text{ A}$. Pour ménager la durée de vie de vos batteries, préférez une charge max limitée à 2 C.



Contrôleur de capacité batteries
1S LiPo = 3,7 v (tension nominale)

Entretien et stockage :

Bien que leur technologie s'améliore, les batteries LiPo restent fragiles, leur enveloppe souple les expose aux agressions mécaniques et une mauvaise charge (mauvaise sélection du nombre d'éléments.....)

ou une mauvaise utilisation (variateur ou contrôleur défectueux, surcharge.....) risque de les faire gonfler, voire de provoquer un incendie.

- Utilisez uniquement un chargeur prévu pour ce type de batteries.
- Si ce chargeur doit être réglé manuellement (choix du nombre d'éléments, intensité de charge....) vérifiez bien vos paramètres avant de brancher chaque batterie.
- Chargez vos LiPo si possible en les plaçant dans un conteneur non métallique et ininflammable, toujours hors du modèle et de votre voiture et surveillez la charge.
- Ne jamais brancher ensemble des éléments de capacités différentes.

- Pour le stockage de courte durée (pendant la saison de vol) il est préférable de conserver un peu d'énergie, n'épuisez pas la totalité de la batterie lors du dernier vol (20%).
- Pour un stockage de longue durée, videz la batterie jusqu'à environ 40 % (fonction stockage du chargeur) et rangez-la au frais (environ 10°).
- Rangez et transportez vos LiPo dans une boîte adaptée sans qu'elles puissent entrer en contact avec d'autres objets (métalliques ou qui pourraient abîmer l'enveloppe).

Les chargeurs

Chargeur multifonction :

Les caractéristiques techniques de ces chargeurs vont de paire avec leurs prix : pour moins de 10 € on peut trouver un matériel qui se contente de charger 2 à 3 éléments LiPo, un point c'est tout. Pour plusieurs centaines d'Euros, il chouchouterait tous types d'éléments en grand nombre, mémoriserait la vie de plusieurs batteries et vous raconterait tout ça sur votre ordinateur ! Pour rester dans le cadre du loisir, voici les principales caractéristiques qui vous permettront de choisir en fonction le vôtre :

- Alimentation 12 V, avec des pinces crocodile pour se brancher sur une batterie de voiture. Certains peuvent être également alimentés en 220 V c'est une option intéressante.
 - Charge de 1 à X éléments LiPo en série
 - Charge de 1 à X éléments NiCd ou NiMH
 - Détection automatique du nombre d'éléments
 - Courant de charge : 0,1 à X A
 - Détection automatique de la fin de charge avec signal sonore
- Chaque type de batterie a ses particularités dont le chargeur doit tenir compte pour détecter le moment où la charge est complète. Détection de tension pour les LiPo et système: Delta-Peak (détection d'un pic de tension) pour les NiMH, sa sensibilité peut être fixe ou réglable, lisez bien la notice.
- Courant de décharge : 0,1 à X A
- Avoir la possibilité de décharger une batterie est intéressant pour pouvoir la mettre en condition de stockage ou pour connaître sa capacité et son vieillissement. Cette décharge est bien sûr limitée en tension.
- Cycles de charge / décharge programmable (remise en condition après un stockage de longue durée)
 - X mémoires : Permet de mémoriser le programme de charge et l'évolution des caractéristiques de vos batteries.
 - Sorties Tx-Rx avec arrêt de charge auto : Permet de recharger les batteries émetteur et récepteur.
 - Affichage des paramètres : Français (mais le plus souvent les données sont présentées en Anglais abrégé)
 - Transfert des données et paramétrage possible par câble USB
 - Sécurités : Protection en cas d'inversion de polarité, de surcharge, de surchauffe.... Avec alarme sonore.

Les contrôleurs

Caractéristiques principales : (exemple)

Courant continu : 25 A
 Courant en pointe (10 s) : 35 A
 Sortie BEC : 2A
 Entrée LiPo : 2 à 4 éléments (S)
 Programmation : par radio ou carte
 Dimensions : 50 x 26 x 11 mm
 Poids : 25 g



Un contrôleur permet l'alimentation et la commande d'un et un seul moteur brushless.

De nombreuses fonctions sont programmables, voici la liste des plus courantes :

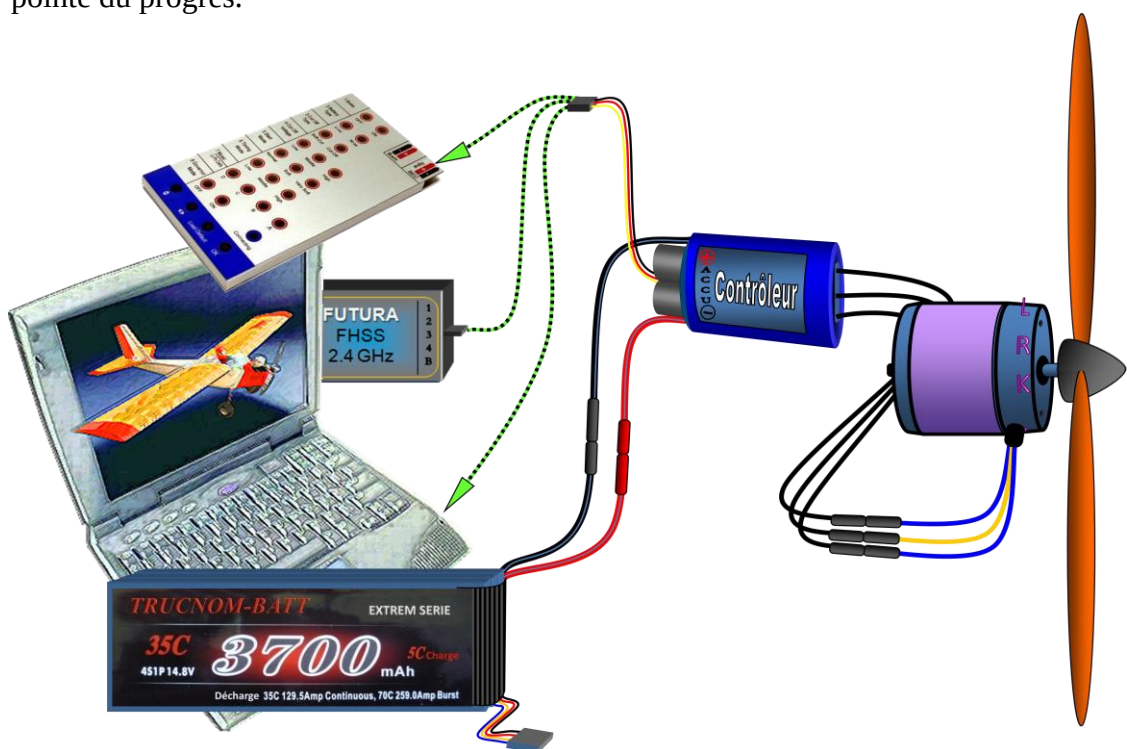
- Frein : On / Off
- Nombre d'éléments (peut être automatique)
- Type de coupure moteur : Coupure franche ou précédée d'une réduction de puissance
- Tension de coupure :
 - Plusieurs choix exprimés en V par élément ou du type : Low / Middle / High
- Mode de démarrage : Le démarrage peut être franc pour un moteur utilisé en prise direct ou progressif pour l'utilisation d'un réducteur accouplé au moteur.
- Choix du timing : C'est un réglage important qui permet d'harmoniser le couple : Contrôleur, moteur. Pour comprendre ce réglage, il faut un minimum de connaissances en ce qui concerne les moteurs brushless, je vous donne donc rendez-vous au chapitre moteur.

Suivant les différentes marques, il existe d'autres fonctions programmables possibles, par exemple :

Mise en mémoire de plusieurs réglages, fonctions spécifiques hélicoptère, courbe de progression des gaz, inversion du sens de rotation, choix de la fréquence de découpage etc.... Certains variateurs possèdent une prise qui leur permet de se brancher sur le connecteur de charge d'une batterie LiPo et ainsi de tenir compte d'un éventuel déséquilibre entre éléments pendant le vol.

La programmation d'un contrôleur peut se faire de plusieurs manières différentes :

- Directement à l'aide de l'émetteur : L'ensemble de la propulsion étant sous tension (sans l'hélice par sécurité) l'émetteur en marche, la notice nous guide pour jongler avec le manche des gaz tout en écoutant toutes sortes de BIP, BIP ou de mélodies diverses qui nous permettent de dérouler le programme.
- A l'aide d'une carte de programmation, des diodes LED permettent de visualiser les différentes options retenues, il suffit en suite de valider en appuyant sur un bouton.
- En branchant le variateur sur un ordinateur, un logiciel permet de faire les choix puis de valider. C'est une solution très high-tech ! Mais si on veut faire des modifications sur le terrain, il faut emmener son ordinateur portable.... Par contre lorsque ce type de programmation existe, il est souvent possible de mettre à jour le soft du contrôleur en se connectant sur le site du fabricant, ça c'est un vrai plus pour avoir du matériel toujours à la pointe du progrès.

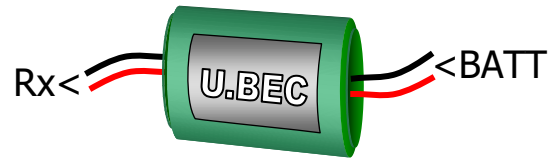


Enfin et fort heureusement, les contrôleurs sont dotés de protections internes : Inversion de polarité, surtension, surintensité, surchauffe, sécurité à la mise sous tension, coupure moteur en cas de perte du signal radio... On trouve rarement d'interrupteur Marche / Arrêt, ce qui n'est pas bien important car il est préférable de débrancher la batterie entre chaque vol.

Alimentations externes :

Les circuits BEC internes aux contrôleurs, sont en général limités en puissance et le nombre de servos (plus le récepteur) qu'ils peuvent alimenter ne dépasse guère 3 ou 4. Sur des grands planeurs, il n'est pas rare d'utiliser un plus grand nombre de servos. La solution consiste à utiliser un contrôleur OPTO et une batterie séparée pour alimenter la radio. Mais lorsque qu'on possède déjà du matériel BEC il y a une autre solution, il suffit (mais c'est impératif) de débrancher (et d'isoler) le fil rouge + sur la prise de connexion au récepteur puis de brancher une petite batterie pour la radio.

Une autre solution consiste à utiliser un petit module (une dizaine de grammes) baptisé : Bec externe ou U-BEC. Il va remplacer la batterie radio en puisant de l'énergie sur la batterie de propulsion, mais son régulateur est assez puissant pour alimenter sans faiblir tous les servos de votre modèle.



Les moteurs

Les moteurs brushless :

Dans ce type de moteur, ce sont les aimants qui tournent, les bobinages sont fixes ; ils peuvent donc être alimentés directement sans passer par un système rotatif type collecteur / charbons. Il n'y a donc pas d'usure, pas d'étincelle donc pas d'antiparasite ! C'est génial, il suffisait d'y penser. La contrepartie de cette simplicité, c'est que pour créer le champ magnétique tournant nécessaire à la rotation du moteur, il va falloir transformer le courant continu en courant triphasé à fréquence variable et alimenter successivement les bobines du moteur, c'est le travail du contrôleur.

Un moteur qui ne s'use pas (mis à part les roulements) associé à des aimants (néodyme) de qualité, voilà un investissement durable !

Il existe deux types de moteur brushless :

- les moteurs à rotor interne (inrunner) et les moteurs à rotor externe (outrunner), dans ce cas c'est l'extérieur qui tourne, c'est pour ça qu'on entend parler de moteur à cage tournante que l'on baptise également LRK, acronyme reprenant les initiales de leurs inventeurs, messieurs : Lucas, Retzbach et Kuhfuss.
- Les brushless inrunner, ont des régimes de rotation élevés, on les utilisera davantage sur des avions rapides, avec de petites hélices ou une turbine ou dans certains cas avec un réducteur.

Les brushless LRK tournent plus lentement mais ont l'avantage de posséder un couple élevé, ils peuvent donc tourner de grandes hélices et sont à l'aise sur des avions de loisir ou de voltige et sur des motoplans.

De plus, bien souvent, leur axe est coulissant et on peut les fixer par l'avant ou par l'arrière ce qui est bien pratique. Attention cependant aux fils, s'ils touchent le rotor il y aura frottement, donc usure puis court-circuit. Ces moteurs, quel que soit leur type, peuvent être accouplés à un réducteur pour tourner de très grandes hélices.

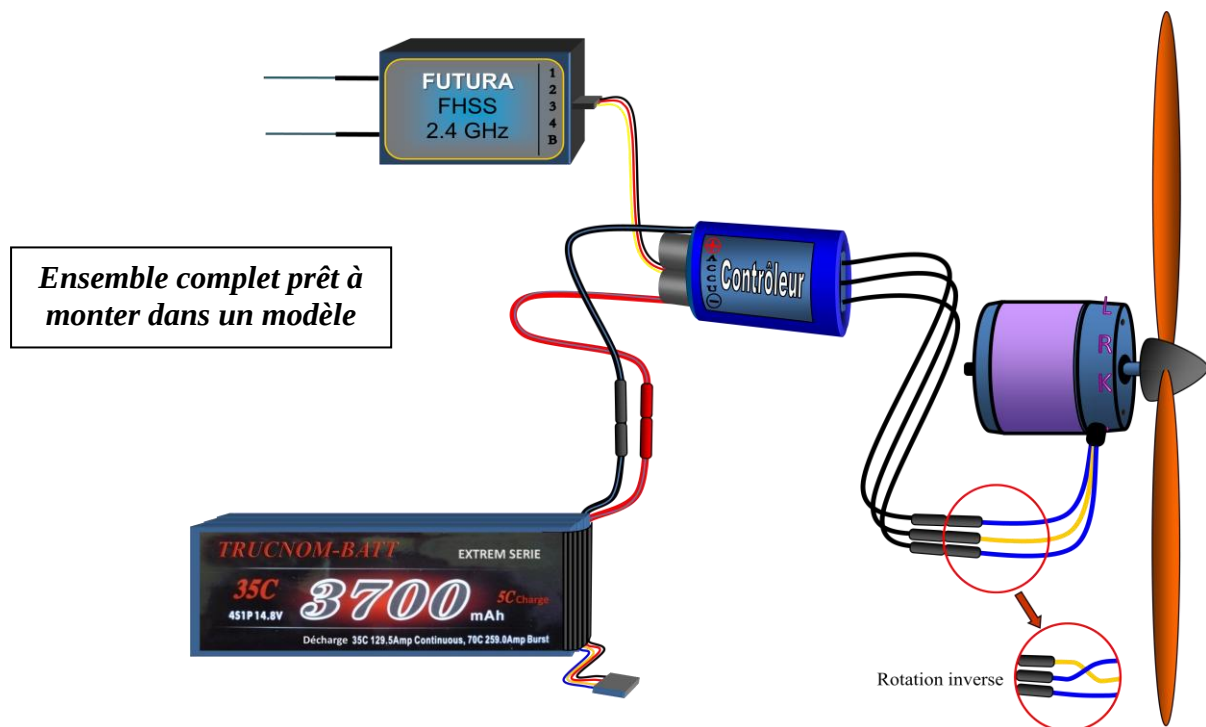
Enfin, il n'y a pas de code de couleurs précis pour le raccordement des fils entre le moteur et le contrôleur, si ce dernier ne tourne pas dans le sens souhaité, il suffit d'inverser au hasard deux fils sur les trois pour que la rotation s'inverse.

Caractéristiques principales :

- Tension d'alimentation : V ou nombre de S
- Courant max: A
- Kv : Tr/min/V à vide
- Rendement : %
- Dimensions : mm
- Ø de l'arbre : mm
- Poids : gr

- Il est courant d'exprimer la tension d'alimentation d'un moteur en nombre d'éléments LiPo (S)
- En principe le « Courant max » est le courant maximum en utilisation continue, mais certains constructeurs apportent une précision supplémentaire, exemple :
 - Courant max : 30 A en continu / 45 A pendant 5 secondes
- Le Kv est le nombre de tours minute par volt à vide, c'est à dire sans hélice. C'est une information importante, car plus cette valeur est faible plus on utilisera une grande hélice sur un modèle lent et inversement.

Les moteurs inrunner ont de construction un Kv élevé d'où une utilisation en direct (sans réducteur) avec une petite hélice ou une turbine. Pour un moteur accouplé à un réducteur, le Kv de l'ensemble de propulsion sera égal au Kv du moteur divisé par le rapport de réduction.



Le réglage du timing :

Comme promis au chapitre contrôleur, parlons du timing. Le fonctionnement d'un brushless dépend comme on vient de le voir de la course effrénée entre un champ tournant créé par la commutation successive de bobines et un rotor portant des aimants faisant tout ce qu'il peut pour suivre le mouvement. Or, pour qu'un brushless donne le meilleur de lui-même, on peut être amené à créer un décalage pour que le champ tournant soit légèrement en avance sur le rotor, c'est cette avance que l'on nomme « timing ».

Ce timing est donc réglable, ce réglage dépend des caractéristiques du moteur et a une influence sur sa vitesse de rotation, sa consommation et son rendement, c'est donc en toute logique la notice du moteur qui vous indiquera le bon réglage à effectuer sur le contrôleur. Seulement voilà ! Personne ne s'est encore mis d'accord pour formuler cette valeur de la même manière, on peut trouver le timing exprimé en degrés de 0° à environ 30° ou bien des indications du type mode 1, mode 2... ou encore Low, Middle et High.

Il vous faut donc bien lire les deux notices (moteur et contrôleur) sachant qu'en général un brushless inrunner a besoin d'un timing faible alors qu'un outrunner préférera un timing moyen à fort. Le premier réglage effectué, poussez la manette des gaz lentement, si le timing n'est vraiment pas le bon, le moteur démarre mal ou donne l'impression de brouter ou de cogner à pleine puissance. S'il démarre bien et fait un bruit normal et régulier sur toute la plage de puissance, le timing est convenable et pourra éventuellement être optimisé par un spécialiste.

L'hélice, ultime maillon de la chaîne.

Pour un débutant, l'hélice peut sembler un simple accessoire, or c'est peut être l'élément le plus difficile à choisir. Un même moteur peut entraîner des hélices de tailles très différentes en fonction de sa tension d'alimentation (nombre d'éléments), de l'utilisation ou non d'un réducteur, et du type de vol recherché, vitesse, voltige... ! De plus, un mauvais choix -hélice trop grande- risque de détruire l'élément le plus faible de la chaîne de propulsion car c'est elle qui conditionne sa consommation maximum. Heureusement, c'est aussi le maillon le moins cher, on pourra donc en prenant quelques précautions, déterminer en quelques essais, l'hélice idéale pour notre couple avion /moteur.

Une hélice se distingue par quatre éléments caractéristiques : Son diamètre, son pas, sa masse et sa forme.

- Le diamètre : Il s'exprime en pouces ou en centimètres, c'est la caractéristique la plus facile à mesurer.
- Le pas : Exprimé également en pouces ou en centimètres, c'est l'avancement de l'hélice pour un tour. Le pas est donc fonction de l'angle de calage des pales.
- La masse : Elle n'est jamais directement exprimée mais la mention SF ou slow fly désigne une hélice légère spécialement conçue pour les modèles Indoor ou le park flyer.
- La forme : D'une marque à l'autre, voire dans une même marque, on peut trouver des hélices de tailles identiques mais au look très différent ! Il y a cependant autant d'effet de mode que de véritables recherches aérodynamiques, mais il faut aussi constater que les résultats montrent parfois de réelles différences.

La taille d'une hélice :

Elle est le plus souvent exprimée en pouce, une 6 x 3 fait donc 6 pouces de diamètre pour un pas de 3 pouces soit : 15 x 7,5 cm. On trouve actuellement quatre types d'hélice :

- Les hélices rigides de type : Slow fly, spécial électrique ou communes aux moteurs thermiques et électriques.
- Les hélices repliables : Plutôt destinées aux planeurs, elles peuvent aussi être montées sur avion.
- Les hélices à pas variables : plutôt destinées pour l'heure à l'indoor, elles nécessitent pour certaines un moteur spécial avec un arbre creux.
- Les hélices spéciales multirotors : Souvent vendu par paire, sens horaire et anti horaire, elles peuvent également se replier latéralement.

Accouplement moteur / hélice :

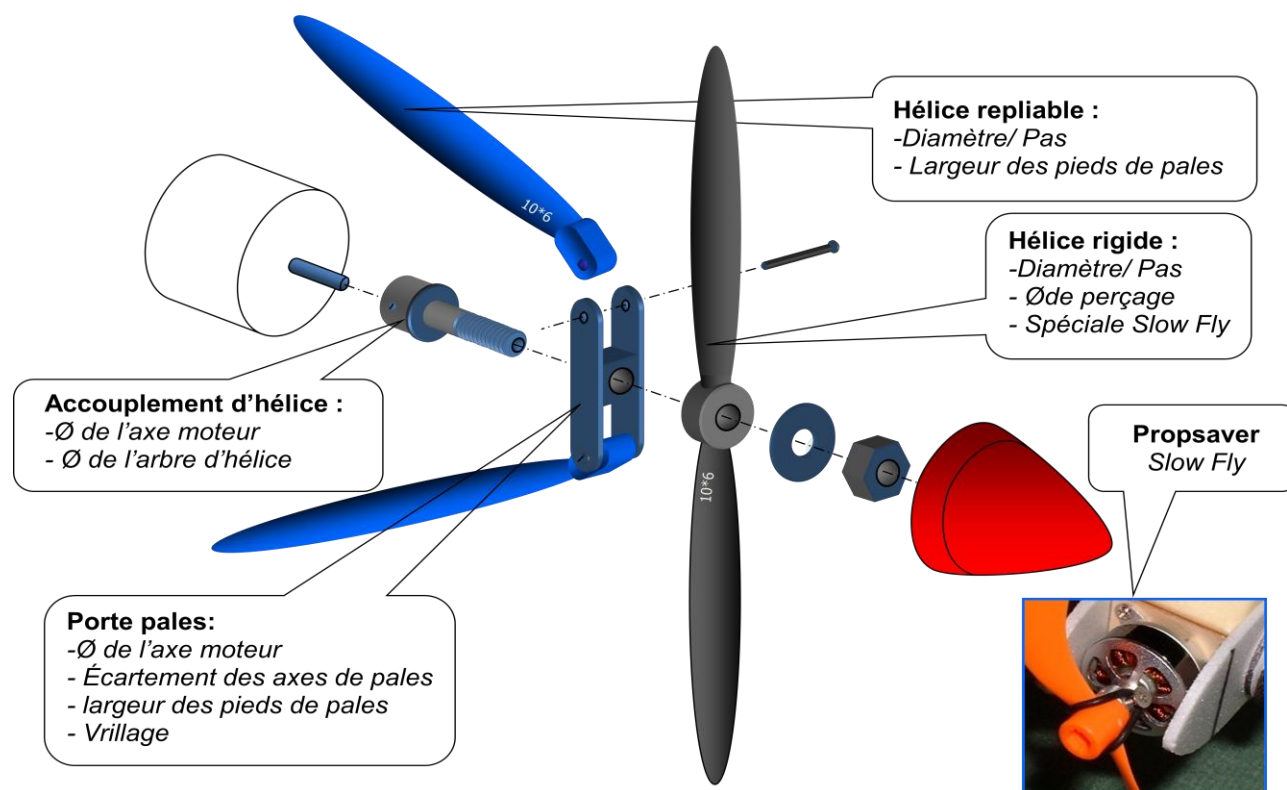
Pour le montage de l'hélice, quelques moteurs possèdent un arbre fileté (indoor et multirotor), d'autres spécifiques pour l'indoor, sont munis d'un « prop saver » (sauve hélice), un astucieux montage élastique mais la plupart du temps il est nécessaire d'utiliser un accouplement d'hélice.

Cet accouplement peut se serrer sur l'axe moteur par une ou plusieurs vis ou pincer fortement cet axe à la manière d'un mandrin de perceuse. On le choisit en fonction du diamètre de l'arbre moteur et du diamètre de perçage de l'hélice. Cet accouplement est suffisant pour monter une hélice rigide et éventuellement son cône.

Pour le montage d'une hélice à pales repliables, il faut utiliser en plus un porte-pales. Cette pièce en forme de H se choisit en fonction du diamètre de l'accouplement utilisé, de la cote de l'entre-axe d'articulation des pales (qui peut faire varier le diamètre de l'hélice) et de la largeur des pieds de pales (qui augmente naturellement avec la taille de l'hélice).

Certaines marques proposent des modèles incluant un vrillage positif ou négatif, exprimé en degrés, permettant d'augmenter ou de diminuer légèrement le pas de l'hélice sans changer les pales.

Attention, il faut parfois veiller à ce que le diamètre des axes d'articulation corresponde aux pales choisies ! Heureusement, on trouve également des ensembles comprenant tous les éléments y compris le cône, ouf !



Equilibrage :

Dernier point en ce qui concerne les hélices, mais il a son importance, c'est l'équilibrage. Même neuve, une hélice est rarement équilibrée et les vibrations que ce déséquilibre engendre vont mener la vie dure aux roulements du moteur et aux éléments radio. Plus le diamètre est grand et plus le problème s'aggrave, quoique... même les cônes méritent d'être équilibrés. Un équilibreur d'hélice ne coûte que quelques Euros, il suffit de poncer légèrement la pale la plus lourde ou, pour les hélices de vol Indoor un peu de scotch de bureau sur la pale la plus légère fait généralement l'affaire. En électrique, même à l'oreille, on fait facilement la différence entre une hélice équilibrée ou non.

II - QUELQUES POINTS de REPEPRE

Remarques préalables :

- Puissance consommée $P(W) = U(V) \times I(A)$
- Tension (U) d'un élément LiPo pendant le vol = 3,5 v en moyenne
- La puissance réelle en vol est minimisée par le rendement de l'ensemble de la chaîne de propulsion

Puissance nécessaire au vol d'un avion :

100 / 130 w/kg = modèle de début
130 / 160 w/kg = modèle de transition
160 / 200 w/kg = avion de sport
200 / 250 w/kg = avion rapide ou voltige
> 250 w/kg = avion à turbine loisir
250 / 350 w/kg = avion de voltige puissant
> 400 w/kg = avion de voltige 3D ou à turbine performant

Puissance nécessaire à la montée d'un planeur :

90 / 120 w/kg = planeur de début en plaine ou sécurité vol de pente
120 / 180 w/kg = moto planeur de loisir
>180 w/kg = montée performante
> 250 w/kg = montée « speed »

Puissance nécessaire au vol d'un multirotor ou d'un hélicoptère :

240 / 300 w/kg = Multirotor ou hélicoptère de loisir (120 à 150 w en stationnaire)

Choix d'une hélice :

- Ne pas dépasser la consommation max de la chaîne de motorisation (moteur / contrôleur / batterie)
utiliser un ampèremètre
- Modifier d'un pouce à la fois... le Ø ou le pas de l'hélice conseillée pour le moteur en fonction du caractère du modèle et du Kv du moteur.

Un racer ou un biplan qui ont tous les deux besoin d'un moteur de même puissance, n'ont pas le même caractère ! Les moteurs auront des Kv différents et les hélices seront très différentes.

Kv > 2000 : Ø de l'hélice faible et pas fort / vol rapide, jet, racer... / turbine

1000 < Kv < 2000 : vol sportif, voltige classique, planeur de loisir...

700 < Kv > 1000 : Ø de l'hélice fort et pas faible / vol tranquille, voltige 3D, grand planeur...

- Attention: 2 hélices de même taille mais de marques différentes, peuvent entraîner des consommations et des tractions TRES différentes ! Idem entre les hélices repliables ou rigides.

Estimation du temps moteur : Calculs empiriques (par expérience)

- **Avion de course ou motoplaneur**
Temps en seconde = Capacité batterie en mAh X **4** / courant max au sol
- **Avion de voltige**
Temps en seconde = Capacité batterie en mAh X **6** / courant max au sol
- **Avion de début, loisir, trainer**
Temps en seconde = Capacité batterie en mAh X **10** / courant max au sol

III - ESSAIS, MESURES et SECURITE

Compte tenu de ce qui précède, vous êtes maintenant en mesure de comprendre tous les éléments de la motorisation de votre RTF (ready to fly), de remédier à quelques défauts : reprogrammer un frein d'hélice par exemple ou de chercher à adapter une nouvelle hélice pour accroître ses performances ou son autonomie. Vous avez également les connaissances nécessaires pour motoriser un modèle vendu sans équipement. Pour valider vos choix et les optimiser, il va vous falloir procéder à des essais et donc des mesures.

Instrument de mesure :

Pour procéder à des essais, il vous faut un instrument de mesure. Voici l'exemple d'un matériel particulièrement adapté à nos besoins. C'est le couteau suisse du modélisme électrique ! Vendu sous différentes marques pour moins de 50 € :



Multimètre 7 en 1 :

1. Testeur de batterie
2. Mesure résistance interne batterie *
3. Wattmètre
4. Testeur de servo
5. Compte tour optique
6. Indicateur de température avec sonde
7. Calculatrice de traction

* La résistance interne d'une batterie caractérise sa capacité à donner plus ou moins de courant, exemple : une 20 C a une résistance interne plus forte qu'une 35 C. Cette résistance interne augmente en fonction de l'âge et de l'emploi de la batterie, c'est donc une information importante pour connaître son état et son vieillissement.

Procédure :

Faire des essais, des mesures, des changements dans une chaîne de motorisation est utile et formateur, mais il faut le faire avec prudence !

Les puissances électriques et mécaniques mises en jeu peuvent être considérables. Si l'on ne veut pas tout détruire en quelques secondes, mettre le feu ou perdre quelques doigts dans l'hélice, il y a des précautions élémentaires à prendre.

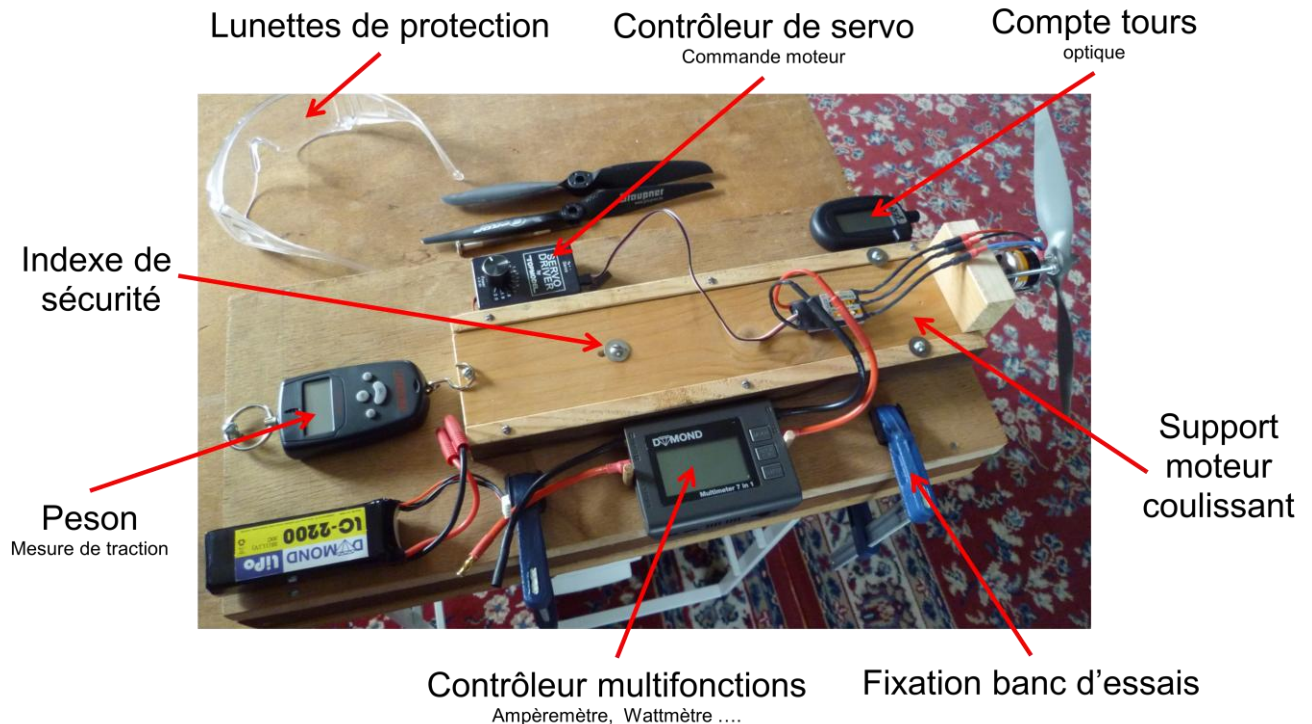
Essais et mesures sur un modèle équipé :

- Tout d'abord, lire consciencieusement les notices pour bien maîtriser tous les éléments de la chaîne, notez toutes les valeurs max de chaque élément (batterie, contrôleur, moteur et instruments de mesure), respectez les consignes de sécurité préconisées par les fabricants
- Mettez en place la batterie dans le modèle et effectuez un fonctionnement à vide sans hélice
- Ne mettez en place l'hélice qu'au dernier moment lorsque tout est prêt pour les essais
- Pour faire les mesures (consommation, vitesse de rotation, traction...), faites-vous aider. Un équipier tient le modèle, vous manœuvrez la commande de la radio et vous faites les mesures

nécessaires. Poussez lentement la manette des gaz et ne dépassez jamais les valeurs max que vous avez notées

- Eviter les vêtements flottants et porter des lunettes de protection
- Placez vos outils, papier, crayon, en dehors du souffle de l'hélice (attention aux projections de graviers si vous êtes en extérieur)
- Ne laisser personne dans le champ de l'hélice

Exemple de banc d'essais :



CONCLUSION

Lorsqu'on conclut un sujet de ce genre, il est de coutume de terminer par : Bon, maintenant vous savez tout ! Et bien là pas de chance, ce n'est pas le cas, il y a encore plein de choses à savoir et à découvrir ! Mais vous en savez assez pour comprendre ce que les revendeurs vous proposent et éventuellement faire des choix différents en faisant des essais et des mesures. De plus, maintenant vous pouvez lire des articles de fond sur le sujet sans avoir l'impression de lire du chinois !

