TEXTE PASCAL DELANNOY
PHOTOS PASCAL DELANNOY & THIERRY LE RALLE

» ÉQUIPEMENTS PRATIQUES

Aujourd'hui, grâce à leur facilité d'emploi, les motorisations électriques sont souvent majoritaires sur les terrains. Mais l'offre est tellement pléthorique que les néophytes sont un peu perdus...

MOTEURS BRUSHLESS

QUELQUES NOTIONS DE BASE POUR NE PAS SE TROMPER

Les motorisations électriques ont bénéficié de progrès considérables depuis une quinzaine d'années. Les batteries sont passées de la technologie NiCd au NiMH, puis au LiPo qui apporte autonomie et puissance. Les moteurs brushless, quant à eux, ont fait progresser rendement, fiabilité, puissance... et diversité. Reste à s'y retrouver et à bien choisir son moteur pour profiter pleinement des avantages de ces propulsions silencieuses et économiques...

Le choix d'un moteur électrique n'est pas aussi simple que celui d'un thermique. Quelques tentatives pour référencer des moteurs brushless comme leurs homologues fonctionnant au méthanol en fonction de leur puissance (OS, Astro Flight, etc.) ont le mérite d'aider le néophyte à faire le bon choix. Mais le problème reste entier pour la majorité des moteurs du commerce qui ne bénéficient pas de ce classement. Il faut en effet choisir moteur, régime et hélice adaptés au modèle qu'ils doivent équiper ; de plus, il ne faudra pas se tromper de type de rotor... car il existe des rotors internes et des rotors externe. De quoi s'y perdre si l'on n'est pas passionné par la technique. Le risque de déception est donc grand si l'on se trompe. Voici donc quelques informations de base pour aider les néophytes dans leurs choix...

ÉQUIPEMENTS PRATIQUES

LE GROUPE MOTOPROPULSEUR

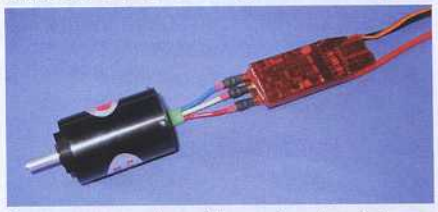
On oublie un peu de parler de son rôle, sans doute parcequ'il paraît évident. Moteur et hélice constituent le groupe motopropulseur (GMP) qui transforme l'énergie électrique en énergie mécanique. Le moteur entraîne l'hélice qui génère une poussée permettant de gagner de l'altitude avec une certaine vitesse sur trajectoire. La poussée du GMP est donc tributaire du choix du moteur, mais aussi de l'hélice. Un bon moteur avec une hélice inadaptée sera décevant. L'inverse n'est pas moins vrai : un mauvais moteur entraînant une très bonne hélice ne délivrera pas la poussée espérée.

En résumé, pour bien motoriser un modèle, il est nécessaire de sélectionner un moteur judicieusement dimensionné et une hélice dotée d'un pas et d'un diamètre adaptés à la cellule

LES CARACTERISTIQUES D'UN MOTEUR BRUSHLESS

Il existe de nombreux moteurs brushless qu'on peut cependant ranger en deux grandes familles : les rotors internes et les rotors externes. Chacune a ses avantages, mais aussi ses faiblesses, suivant l'emploi auquel on destine le moteur ; voire même ses incapacités à répondre à une utilisation précise. Voici les principales caractéristiques à retenir :

LES BRUSHLESS À ROTOR INTERNE (INRUNNER)



Les moteurs brushless à rotor interne ressemblent beaucoup à leurs homologues à charbons. Rotor et bobinage sont abrités par une cage fermée. Cette catégorie de moteurs peut supporter des régimes de rotation très élevés (60.000 à 70.000 t/mn –rpm- en version compétition) ; un bandage Kevlar maintient les aimants et empêche la force centrifuge de les décoller. Ils sont intéressants dans les modèles où l'espace est réduit et sont souvent associés à un réducteur afin de générer un couple suffisant pour entraîner une grande hélice.

On trouve aussi ces moteurs sur les racers de vitesse et les jets à turbine sur lesquels leur capacité à tourner vite est alors mise à profit.

Les points forts
-capacité à supporter de très hauts régimes
-rendement souvent très élevé obtenu à haut régime
-faible encombrement

Les points faibles
-couple relativement faible
-rendement moyen à bas régime
-emploi d'un réducteur obligatoire pour entraîner de grandes hélices
-budget élevé si on emploie un réducteur
-lubrification régulière du réducteur
-choix et plage d'utilisation plus réduits que les cages tournantes

Ces moteurs sont surtout intéressants en compétition type hotliner, F3A, etc. On les utilise généralement lorsque de forts régimes sont nécessaires ou lorsque l'on cherche à obtenir le maximum de puissance sous un encombrement réduit.

LES BRUSHLESS À ROTOR EXTERNE (OUTRUNNER)

Les moteurs brushless à rotor externe sont les plus employés car ils offrent à la fois un rendement élevé et un couple important. Leur cage tournante peut parfois poser problème dans les fuselages étroits où elle risque de frotter sur

un des fils d'alimentation. Lorsque l'espace est suffisant, ces moteurs offrent bien des avantages. A noter que certaines versions supportant des régimes relativement élevés (jusqu'à 30.000 – 35.000 rpm) existent pour les turbines.

Les points forts
-couple important
-rendement élevé (même à moyen régime)
-entretien réduit (absence de réducteur)
-coût raisonnable
-très grand choix de moteurs
-plage d'utilisation assez large
-poids réduit

Les points faibles
-peu adaptés aux régimes élevés, sauf les petits moteurs
-encombrement plus important

Ces moteurs sont très largement employés. Ils sont économiques, fiables et leur couple, avec le principe LRK (réducteur magnétique), autorise l'emploi de grandes hélices, ce qui est favorable au rendement. Leur rendement est au final proche de celui des moteurs à rotor interne lorsqu'on tient compte des pertes dues au réducteur. Les moteurs brushless à cage tournante sont les mieux adaptés au vol de loisir, mais ils sont de plus en plus utilisés en compétition F3A.

LECTURE DE LA FICHE PRODUIT

Le diamètre

Plus le diamètre du rotor est important (conjointement à la longueur), plus le couple est potentiellement élevé. Cependant, la masse suit la même logique ; il faut donc rester raisonnable et

ne pas chercher à monter un trop gros moteur dans un modèle ! D'autre part, lorsque le moteur doit tourner vite, la force centrifuge sera d'autant plus élevée que le diamètre sera grand. Les fabricants indiquent souvent le régime maximum à ne pas dépasser. Pour contrôler le régime au sol, il faut s'équiper d'un compte-tours. Avec la télémétrie il devient aussi possible de mesurer la vitesse de rotation de l'hélice en vol. Attention, si on emploie un réducteur, il faudra multiplier le régime lu par le taux de réduction (exemple : régime lu 12000 t/mn, réducteur 3/1, le moteur tourne donc à 3x12.000 = 36.000 t/mn).

La longueur

Plus la longueur du rotor est importante (conjointement au diamètre), plus le couple est élevé. Pour obtenir un régime de rotation élevé, il est préférable d'avoir une longueur de rotor importante plutôt qu'un diamètre élevé, comme expliqué dans le paragraphe précédent.

Le bobinage

Le bobinage, qui est en fait le nombre de tours de fil de cuivre et sa section, va déterminer les valeurs électriques du moteur, conjointement à ses caractéristiques mécanique (dimensions, taille et puissance des aimants, etc.). Sur la fiche du moteur vous lirez souvent :

-Io = consommation du moteur à vide sous tension nominale (voltage de la batterie)

-Ri = résistance interne du bobinage en ohm

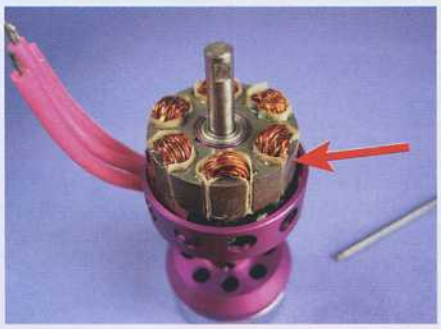
-Kv = régime par volt sous tension nominale

-PU = puissance utile en W, c'est celle qui nous intéresse

-Pmax = puissance maximale du moteur pendant quelques secondes

Un moteur bien conçu offrira un très bon rendement dans la plage d'utilisation pour lequel il a été calculé. Certains fabricants, donnent une taille d'hélice et la tension de la batterie qui permettent de tirer le meilleur parti du GMP.

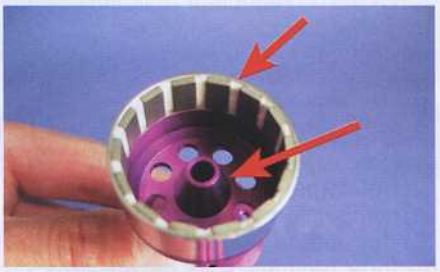
On distingue ici le bobinage d'un inrunner, dont le taux de remplissage exceptionnel favorise le rendement



Le bobinage d'un outrunner, très soigné, isole le fil de cuivre des slots

Les aimants

Réalisés en terres rares, leur pouvoir d'aimantation influence le rendement final ; mais pour le vol de loisir, la plupart des moteurs sont correctement dotés de ce point de vue-là.



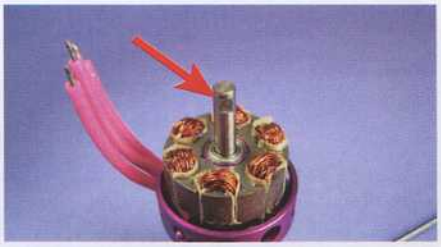
Les aimants d'un outrunner immobilisés sur la cage tournante avec de la résine. Notez le renflement pour supporter l'arbre moteur

L'arbre

On trouve sur la fiche du moteur le diamètre et la longueur utile.

-La longueur utile permet de fixer le porte-hélice ou le cône

-Le diamètre quantifie par voie de conséquence la résistance mécanique de l'arbre.



Un méplat sur l'arbre moteur renforce le serrage si le support d'hélice comporte des vis pointeau

On a connu des moteurs brushless (asiatiques, français et bien d'autres) dotés d'arbres en acier doux qui pliaient au moindre choc ! Les aciers asiatiques ne sont pas les meilleurs, donc, par sécurité, pour une taille de moteur donnée, préférer le diamètre le plus élevé si vous hésitez entre deux moteurs.

Les moteurs à cage tournante ont souvent un support d'hélice arrière permettant d'inverser leur montage. Pratique !

Les paliers

Les paliers, généralement sur roulements à billes, sont les seules pièces d'usure sur un moteur brushless. Il faut choisir un moteur équipé de préférence de roulements japonais ou européens, lorsque c'est possible. Mais bien souvent c'est la loterie… il y a donc du très bon et du très mauvais. Cependant, si on vole régulièrement mais pas de manière intensive, des roulements de qualité moyenne offriront déjà de longues heures de vol !

La masse

Les dimensions, le bobinage, le diamètre de l'arbre moteur et les accessoires de montage conditionnent la masse du moteur prêt à être monté sur le modèle. En compétition on cherche à alléger au maximum, mais ce n'est pas nécessaire pour le vol de loisir ; il faudra juste vérifier que le centrage n'est pas trop affecté si l'on emploie un moteur plus puissant que celui conseillé par le fabricant. Ne pas croire qu'à dimensions comparables, un moteur plus lourd sera meilleur ; beaucoup d'autres paramètres entrent en ligne de compte…

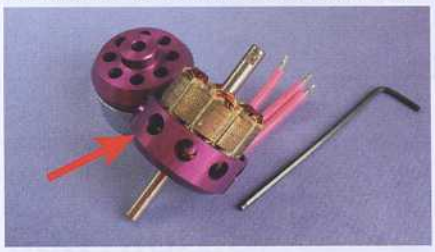
Les réducteurs

De plus en plus rares, il en existe tout de même encore quelques-uns chez les fabricants allemands (Plettenberg, Kontronik, Hacker, etc.) et américains

(Neu, etc.). Il faut préférer les réducteurs planétaires montés sur roulements à aiguilles.

Réducteur planétaire monté sur bagues de bronze : à lubrifier régulièrement. Préférer les roulements à aiguilles

La ventilation
On en parle peu, mais il faut préférer les moteurs dotés de larges ouvertures pour évacuer plus facilement les calories (effet Joule, ce sont des pertes électriques transformées en chaleur).



LE CONTROLEUR

Le contrôleur est tout aussi important que le moteur : sous-dimensionné il risque de surchauffer, voire même d'être détruit. À l'inverse, un très gros contrôleur pèse lourd et son prix est en rapport. Il faut donc viser juste là aussi. Pas simple lorsque l'on débute en propulsion électrique, me direz-vous ? C'est vrai qu'on s'y perd un peu, au début... Les moteurs brushless fonctionnent en courant triphasé, le contrôleur transforme donc le courant continu de la batterie et le découpe pour faire varier le régime moteur.

La puissance
La puissance du contrôleur indiquée par les fabricants est souvent un peu optimiste, surtout sur les contrôleurs en provenance d'Asie. Il faut par prudence sur-dimensionner le contrôleur de 40 à 50%. La puissance est indiquée en Ampères, conjointement à la tension d'utilisation (3S, 6S ou plus).

La taille
Les dimensions d'un contrôleur sont directement liées au nombre de transistors qui équipent les cartes époxy qui le composent. Les modèles les plus puissants comportent 2 ou 3 cartes, superposées pour y disposer tous les transistors MOSFET (transistors à effet de champ).

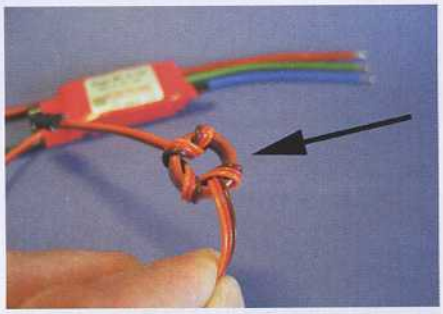
Opto
Contrôleur sans dispositif BEC : il faut une batterie ou un U-BEC séparé pour alimenter la réception. Opto signifie opto coupleur : c'est une séparation galvanique des circuits ; on limite ainsi les interférences vers le récepteur. C'est cette solution qui est préférée sur les grosses motorisations.

Le dispositif BEC
BEC signifie Battery Eliminator Circuit. Ce circuit électrique interne au contrôleur est alimenté par la batterie de propulsion et délivre une tension de 5 à 6V pour alimenter la réception. En vol de loisir, sous 4S avec ampérage limité à 50-60A, ce dispositif donne souvent satisfaction. Au-delà il faut employer une batterie séparée ou un U-BEC indépendant.

On distingue :
Les S-BEC qui sont des régulateurs linéaires limités à 3S présents sur les contrôleurs d'entrée de gamme.
Les U-BEC sont des régulateurs de tension à découpage qui offrent une large plage d'utilisation, jusqu'à 6S LiPo ou plus. Ils sont à préférer car ils ne chauffent pas comme le S-Bec et sont donc plus fiables.

Le timing
Il s'agit de l'avance, réglable ou non suivant les contrôleurs. Sur les moteurs à cage tournante, on améliore le rendement avec un timing compris entre 20 et 30°. Il existe souvent un mode automatique, dans le doute, programmez votre contrôleur sur auto.

Le frein
Indispensable sur les motoplaneurs pour replier l'hélice, il est désactivé en avion et en hélicoptère.
D'autres caractéristiques sont quelques fois mentionnées, fréquence (de découpage du courant), protection thermique (surchauffe en cas de trop forte charge), cut off (coupure moteur pour protéger la batterie), démarrage (start). Ces valeurs sont souvent programmées en usine par défaut. Seuls les utilisateurs expérimentés vont intervenir sur ces réglages pour des besoins bien précis.



Un tore de ferrite disposé sur le cordon servo renforce l'isolation du récepteur

Les contrôleurs programmables
Les contrôleurs d'entrée gamme ne sont généralement pas programmables, hormis pour le frein. En milieu et haut de gamme, on peut paramétrer le contrôleur avec une carte de programmation ou via le manche de gaz.

LE CHOIX DU MOTEUR

On entre ici dans le vif du sujet. Vous avez un modèle que vous souhaitez motoriser.

Puissance et dimensions par rapport à un moteur thermique
Je vous donne pour cela deux tableaux de référence. Suivant que l'on envisage d'obtenir un vol de loisir ou un vol performant, deux puissances sont indiquées avec la correspondance moteur thermique glow (méthanol). Il suffit de vous y référer si vous avez un modèle classé avec un moteur thermique. Voir tableau ci-contre.

La puissance ne vous indique pas quelle taille de moteur choisir, mais le tableau qui suit est là pour y répondre. J'ai choisi de dimensionner les catégories en me basant sur les moteurs à cage tournante car ils représentent 98% du marché. Voir tableau ci-contre.

EQUIVALENCE MOTEUR THERMIQUE EN WATTS

MOTEUR THERMIQUE	VOL LOISIR	VOL PERFORMANT
05 - 0,8 CC	75 W	100 W
10 - 1,6 CC	150 W	200 W
15 - 2,5 CC	225 W	300 W
20 - 3,2 CC	300 W	400 W
25 - 4 CC	375 W	500 W
30 - 5 CC	450 W	600 W
36 - 5,9 CC	540 W	720 W
40 - 6,5 CC	600 W	800 W
46 - 7,5 CC	690 W	920 W
50 - 8 CC	750 W	1000 W
60 - 10 CC	900 W	1200 W
70 - 11,5 CC	1050 W	1400 W
90 - 15 CC	1350 W	1800 W
120 - 20 CC	1800 W	2400 W
180 - 30 CC	2700 W	3600 W
300 - 50 CC	4500 W	6000 W

Masse du moteur en fonction du modèle

Si aucune correspondance avec un moteur thermique n'est mentionnée pour votre modèle (kit ou plan), il y a une règle simple basée sur la masse en ordre de vol obtenue :

Masse du moteur = masse du modèle / 10 pour un vol de loisir

Masse du moteur = masse du modèle / 8 pour un vol performant

Prenons trois exemples :
-vous avez un magnifique Mustang pesant 3000g (3kg) en ordre de vol d'après le fabricant ou le concepteur du plan :
Mustang 3000g/10 = brushless de 300g environ
-vous avez un motoplaneur pesant 4500g (4,5kg) en ordre de vol d'après le fabricant ou le concepteur du plan
Motoplaneur 4500g/10 = brushless de 450g environ
-vous avez un SBACH 342 de voltige pesant 2500g (2,5kg en ordre vol d'après le fabricant ou le concepteur du plan et vous souhaitez un vol tonique
SBACH 342 2500g/8 = brushless de 310 g environ

CARACTÉRISTIQUES MOTEUR ÉLECTRIQUE BRUSHLESS À CAGE TOURNANTE

THERMIQUE	ELECTRIQUE		
Classe moteur	Masse moteur (g)	Diamètre cage (mm)	Longueur carter (mm)
05 - 0,8 CC	25	28	22
10 - 1,6 CC	45	28	28
15 - 2,5 CC	80	35	30
20 - 3,2 CC	120	35	35
25 - 4 CC	130	35	42
30 - 5 CC	160	35	48
36 - 5,9 CC	220	42	50
40 - 6,5 CC	250	42	55
46 - 7,5 CC	300	50	50
50 - 8 CC	320	50	55
60 - 10 CC	350	50	60
70 - 11,5 CC	400	50	65
90 - 15 CC	450	50	70
120 - 20 CC	600	65	75
180 - 30 CC	1200	80	90
300 - 50 CC	1400	80	110

Puissance du moteur en fonction du poids du modèle
Une autre règle existe pour trouver la puissance du moteur.
Suivant le type de vol on opte pour :
-250W par kg pour un vol de loisir
-400W par kg pour un performant

Par exemple, pour un avion de 2 kg destiné au vol de loisir :
Puissance requise = 2x250W= 500W
Autre exemple, pour un avion destiné à la voltige 3D de 3kg :
Puissance requise = 3x450X = 1350W

En partant de ces valeurs, il ne reste plus qu'à ouvrir le catalogue de votre détaillant ou fournisseur préféré.

Modèle lent à hélice
On cherchera un moteur avec les caractéristiques trouvées dans les paragraphes ci dessus, dont le Kv sera compris entre 800 et 1000. L'hélice aura un pas de 4 à 5 environ.

Modèle rapide à hélice
On cherchera un moteur dont le Kv sera compris entre 1000 et 1500. L'hélice aura un pas de 6 à 8, le plus souvent.

Vous avez maintenant le moteur pour votre modèle, il reste à trouver la bonne hélice. Ici le fabricant va nous aider...

» LE MRA A PENSÉ AUX MODÉLISTES, SOUVENTS EXPÉRIMENTÉS, PERDUS FACE À L'OFFRE ET AUX POSSIBILITÉS DES MOTEURS BRUSHLESS.

ÉQUIPEMENTS PRATIQUES

LE CHOIX DE L'HELICE

En motoplaneur on emploiera de préférence des hélices repliables Aéronaut ou Graupner qui sont le gage d'un bon rendement. Elles ne gaspilleront par la puissance inutilement. En avion on retiendra les hélices APC-E ou Graupner vol électrique, elles sont les mieux adaptées à la majorité des usages.

Pensez aussi à équilibrer l'hélice qui vibrera peu et donnera ainsi le meilleur de ses performances.

Le moteur que vous avez choisi possède une fiche technique en provenance de son fabricant ou de son distributeur. Il suffit de lire les hélices conseillées pour retenir celle délivrant la puissance souhaitée. La batterie utilisant le nombre le plus élevé d'éléments LiPo (XS) conduira à employer l'hélice la plus petite en diamètre. Par exemple, un moteur alimenté avec des batteries 3 à 4S est donné comme capable de faire tourner des hélices 11x6 à 13x6 : en 3S il faudra prendre l'hélice 13x6, et la 11x6 en 4S.

N'achetez surtout pas un moteur qui n'affiche pas toutes les valeurs indispensables (kv, hélices conseillées, puissance maxi, ampérage maxi, dimensions). Ces indications sont un indice de sérieux du fabricant ou distributeur…

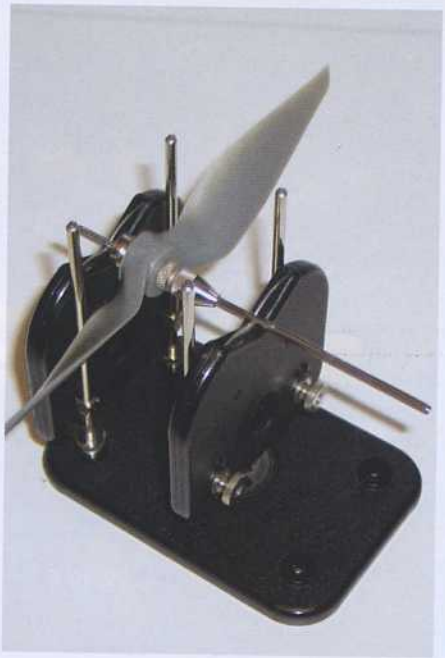
Photo 23 : Un équilibreur permet de peaufiner l'équilibrage de l'hélice

LE CHOIX DU CONTROLEUR

Le contrôleur devra pouvoir « passer » la puissance. Pour cela, il faut regarder l'intensité maximale supportée par le moteur. Si ce dernier affiche un courant maximal (Imax) de 50A, le contrôleur devra supporter cette valeur sans griller. Par sécurité je vous conseille de prendre une marge de 20% minimum. Dans notre exemple, un moteur donné pour 50A maximum devra employer un contrôleur de 60A minimum.

Autre caractéristique, la tension de la batterie : si le moteur doit être alimenté en 4S, choisir un contrôleur 3 à 5 ou 6S.

La radio sera alimentée par un U-BEC : retenir un contrôleur capable d'alimenter le nombre de servos correspondant à votre modèle (3,4 ou 5 servos par exemple).



EN CONCLUSION

Le choix d'un GMP ne s'improvise pas. Ces petits calculs ne sont pas compliqués et ne demandent pas beaucoup de temps, mais sont incontournables ! Une fois les valeurs trouvées, masse moteur, kv, hélice, contrôleur et batterie, il ne reste plus qu'à retenir le moteur le plus complet (avec accessoires comme la pince, la fixation radiales, etc.) dont le tarif correspond à votre budget. Le vol électrique est passionnant, riche et écologique. Tous ces avantages méritent bien quelques efforts pour pouvoir profiter de longues heures d'évolutions sans problèmes… Bons vols à toutes et à tous !