

Motorisation



12 ASTUCES INDISPENSABLES POUR L'ELECTRIQUE

Les ohms, les ampères, les volts, les watts mais aussi les hélices, les LiPos et les contrôleurs, sans oublier le mystérieux 'KV' et le célèbre 'C', aux vertus tant vantées... Mais que signifient ces « machins » cabalistiques ? Et comment faire pour dompter nos précieux électrons ? Rien de tel que quelques formules « magiques » pour s'y retrouver et pouvoir facilement choisir vos moteurs, vos accus....

Texte et photos : Laurent Schmitz

Vous avez peut-être déjà lu ce texte sur Internet. Mais depuis sa première version, l'électrique a connu une fabuleuse (r)évolution. Les moteurs à balais, les réducteurs et les accus NiCd (pour ne citer qu'eux) ont quasiment disparu des terrains, au profit des cages tournantes et des LiPos 30/50C... Voici donc la version '2014', revue et corrigée.

Si quelques irréductibles croient toujours que le thermique est plus léger, plus puissant et moins cher, les autres modélistes n'ont plus besoin d'être convaincus. Oui mais voilà, entre assembler un modèle RTF en mousse avec « tout-dans-la-boîte » et trouver la bonne combinaison d'équipements pour un Mustang perso de 4 kg, il y a un pas. En thermique, c'est facile: une « 13x6 » sur un bon 10 cc et l'affaire est faite!

En électrique, c'est moins évident. Quoique... Les gourous de l'ampèremètre maîtrisent l'art de la formule empirique, basée sur des kilomètres de bobinages grillés et la dérivée seconde de l'intuition universelle. Cette face cachée de la physique quantique exprime la masse en poids, la consommation en ampères et la chaleur en « secondes de doigt sur

la cage tournante »... mais qu'importe l'imprécision puisque ces formules sont destinées à une utilisation strictement pratique. Et tant pis pour la Science!

DES WATTS ?

La puissance d'un moteur électrique s'exprime en watts et est facile à calculer :

Watts = Volts x Ampères 300 Watts = 10 Volts x 30 Ampères
Volts = Watts / Ampères 10 Volts = 300 Watts / 30 Ampères
Ampères = Watts / Volts 30 Ampères = 300 Watts / 10 Volts

Si vous souhaitez vous faire une idée de la puissance en CV de votre moteur électrique, c'est facile. 1 000 watts = 1,34 CV ou encore 1 CV = 750 watts.

EXEMPLE : un Trainer avec un accu de 14 volts sous un courant de 40 A offre une puissance de 560 watts. Notez que le même avion avec un moteur thermique 6,5 cc développerait 1 CV, ce qui fait 750watts pour des performances similaires... C'est que la propulsion électrique est

plus efficace et surtout offre plus de puissance à bas régime. Un peu comme une voiture diesel paraît plus puissante que la même en essence, même si elles ont toutes les deux 80 chevaux sous le capot.

ACHETEZ VOS WATTS AU KILO !

La deuxième formule magique permet de savoir combien de watts sont nécessaires pour faire voler correctement votre avion. Bien sûr, cette formule ne marche que si le matériel utilisé est raisonnablement adapté au modèle. Il est clair qu'un moteur de 300 grammes, même s'il est très puissant, n'a aucune chance de faire voler un motoplaner de 700 g...

Motoplaner, foamie léger, Piper Cub: 120 watts par kilo

Trainer : 150 watts par kilo

Warbird, voltigeur de "transition": 200 watts par kilo

Racer, voltigeur F3A ou 3D: 300 watts par kilo

Jet à turbine: 400 watts par kilo

EXEMPLES : un Spitfire de 3 kg et 160 cm volera bien avec une propulsion de 600 watts. Un trainer type Calmato de 2,5kg se contentera de 375 watts, etc.

Bien entendu, ce n'est qu'une indication, mais elle permet déjà de "dégrossir" le sujet.

Attention, on parle ici de la masse au décollage, donc avec l'accu.

UN WATT, ÇA TIRE ENORMEMENT !

La troisième formule vous donne la traction statique (ou la poussée) que vous pouvez espérer d'un ensemble de propulsion performant. De nouveau, c'est une valeur repère destinée à dissiper pas mal de malentendus... ou de faux espoirs! Brushless à cage tournante: 3 à 4 g par watt
Brushless 'intunner' en direct: 1,7 à 2,2 g par watt
Turbine EDF: 1,5 à 2 g par watt

EXEMPLES : un warbird avec une propulsion « cage tournante » de 1 000 watts offre jusqu'à 4 kg de traction statique. Un jet avec une propulsion de 600 watts optimisée donnera 1.200 gr de poussée au sol.

CHAUD DEVANT!

$E=Mc^2$ et la planète se réchauffe, c'est bien connu. Les moteurs aussi, hélas. Pour savoir jusqu'où vous ne pouvez pas dépasser une température exagérée, il existe aussi une formule abracadabrante...

Avion à hélice, moteur à cage tournante : masse du moteur x 4 = watts maximum.

Avion à turbine, moteur 'inrunner' : masse du moteur x 5 = watts maximum.

Avion à turbine, cage tournante : masse du moteur x 7 = watts maximum.

EXEMPLES : un moteur à cage tournante de 235 g peut 'dissiper' 940 watts en pointe. Un « inrunner » de 200 g monté sur une turbine pourra être poussé à 1 000 watts. Les dernières générations de cages tournantes pour turbines acceptent (et parfois dépassent 7 fois leur masse en watts!

Bien entendu, la magie n'opère que si le moteur est raisonnablement ventilé et utilisé correctement. Si vous faites tourner un moteur chinois Turnigy G46 sur un accu de 10 volts à 90 ampères, il ne tiendra pas bien longtemps. Mais à 18 volts et 50A en pointe, pas de soucis!



La fiabilité de la propulsion électrique est un atout pour les gros multi-moteurs.

Les turbines électriques ont un rendement médiocre. N'espérez pas plus de 2 g de poussée par watt au décollage.

Les motoplaners classiques volent déjà bien avec seulement 120 watts par kilo.

Notez que cette formule n'est applicable que pour les moteurs brushless. Les moteurs « préhistoriques » à balais du genre Speed 600 encaissent à peine plus que leur poids en watts...

Enfin, quand on dit 'en pointe', ça veut dire 'pas tout le temps'. Typiquement, on sera plein pot au décollage, en entrée de looping, lors d'un passage, etc. Il va de soi que si vous volez tout le temps à fond, le moteur n'appréciera pas.

TOUTE RESISTANCE EST INUTILE...

L'or est un joli métal brillant qui ne s'oppose pas beaucoup au passage du courant. Malheureusement il est aussi très lourd (et coûteux !), c'est notamment pourquoi nous utilisons des fils de cuivre (mieux encore: d'argent) dans nos petits avions. Hélas, même l'argent transforme une partie de nos électrons en chaleur. Non seulement ça contribue au réchauffement climatique, mais en plus on perd des tours à l'hélice, ce qui est bien plus catastrophique! Pour éviter

ce phénomène dramatique, il faut choisir un fil de section adaptée au courant qui passe dedans:

Jusqu'à 25A: fil de 1,5mm²

Jusqu'à 60A: fil de 2,5mm²

Jusqu'à 100A: fil de 4mm²

Les connecteurs et les soudures doivent aussi présenter une section suffisante. Dans ce domaine comme dans d'autres, c'est mieux quand c'est plus gros.

On parle ici de longueurs de fils de quelques dizaines de centimètres. Si vous alimentez un moteur situé dans la queue d'un jet depuis un accu situé dans son nez, il faudra prendre la section de fil supérieure.

LES VOLTS TOURNENT EN ROND

Vous vous demandez peut-être à quoi sert le fameux « KV » dont on affuble les moteurs électriques ? Cette abréviation indique le nombre de tours par volt du moteur (sans hélice). Cette fois, la formule magique nous donne une idée du régime de rotation « normal » du moteur installé sur l'avion.



Voltmètre et pince ampèremétrique 'DC' sont des outils essentiels des modélistes « branchés ». Le wattmètre remplit les deux fonctions en un seul boîtier et s'avère souvent moins coûteux.



Appliquez les formules de l'hélice à l'accu, pour optimiser les performances de votre modèle.

REGIME DU MOTEUR =

KV X VOLTS X 3/4

EXEMPLES : un moteur à cage tournante avec un KV de 1200 connecté à un accu de 10 volts tournera à 9000 Tr/min (mesurés à l'hélice). Un moteur 'inrunner' de 4200 de KV avec un accu de 10 volts tournera lui à 31500 tr/min (mesurés sur la turbine).

Parfois rond, mais pas forcément plein...

Le voltage des accus n'est pas toujours de 3,7 volts pour les LiPos et 3,3 volts pour les nanophosphates (LiFePo4). Ces valeurs dites « nominales » sont plus indicatives qu'autre chose. En effet, en fonctionnement le voltage diminue fort, alors qu'au repos juste après une recharge il est beaucoup plus élevé.

Pour estimer combien de watts on peut tirer d'une propulsion, il faut tenir compte du voltage en fonctionnement. Pour savoir si un accu est chargé, on mesure son voltage au repos. Les valeurs ci-dessous donnent une indication du voltage typique par élément.

Lipo pendant le vol: 3,5 volts

Lipos chargé au repos: 4,2 volts

Lipo vide au repos: 3,7 volts

LiFePo4 pendant le vol: 2,8 volts

LiFePo4 chargé au repos: 3,6 volts

LiFePo4 vide au repos: 3 volts

EXEMPLES : Pendant le vol, le voltage d'un bon LiPo de 3 éléments est de ± 10,5 volts.

Un pack LiFePo4 de 4 éléments donne à peine plus: ± 11,2 volts.

Pour faire simple, voici les valeurs en vol des accus les plus courants:

Lipo: 2S = 7 volts, 3S = 10 volts, 4S = 14 volts, 6S = 21 volts, 10S = 35 volts.

LiFePo4: 3S = 8 volts, 4S = 11 volts, 6S = 17 volts, 10S = 28 volts

PAS DE REVOLUTION

SANS POUCES !

Le choix d'une hélice n'est pas évident. On prend généralement celle qui a le bon diamètre pour que le moteur 'prenne ses tours' tout en consommant un courant raisonnable. Mais quel

« pas » choisir? Rien ne remplace le test en vol, mais voici une formule pour guider votre choix. Vitesse de vol en km/h = pas (en pouces) x régime moteur / 800

Vitesse de vol en km/h = pas (en cm) x régime moteur / 2.000

EXEMPLES : Vous essayez plusieurs hélices sur un gros trainer. Une grande hélice 14x4 " tournant à 8 000 tr/min entrainera votre avion à 40 km/h, ce qui est trop peu. En revanche, une 11x8" à 11 000 tr/min donnera 110 km/h, ce qui est exagéré. Le bon compromis sera probablement une 13x6" à 9 600 tr/min qui vous donnera 72 km/h. Notez que cette formule est aussi utilisable pour les moteurs thermiques vu qu'elle se base sur l'avancement de l'hélice à chaque révolution, quel que soit le moteur.

La formule convient à un modèle « normal ». Bien sûr, une 12x12», même à 20 000 tr/min, ne changera pas un vieux biplan en avion de course aux pylônes... Pour ce type d'avion, on cherchera justement une hélice qui donne moins de vitesse et plus de couple.

KESKE 'C' ? 'C' FACILE...

L'étiquette d'un pack LiPo indique '25-35C', mais il est aussi marqué '5C'... Le '5C' indiqué en petit, c'est le courant de charge maximum, qui ne peut pas dépasser 5 fois la capacité de l'accu (dans ce cas). En revanche, le label '25-35C' promet que l'accu peut décharger 25 fois sa capacité en décharge en continu et même 35 fois sa capacité pendant quelques secondes. La vérité est ailleurs et il faut tempérer l'optimisme des fabricants. Dans la pratique, oubliez le second nombre en décharge et gardez le premier comme valeur à ne pas dépasser pendant quelques secondes. La valeur de décharge 'réaliste' se calcule comme suit :

Décharge max. quelques secondes au sol = (Premier nombre) C x capacité de l'accu / 1000

Décharge max. pendant une minute = (Premier nombre) C x capacité de l'accu / 1250

Décharge max. continue = (Premier nombre) C x capacité de l'accu / 1750

EXEMPLE : un accu standard 3 000 mah '20/30C' peut théoriquement subir 60A de décharge pendant quatre ou cinq secondes. Il résistera à un décollage à 48A. Théoriquement, il pourrait faire tout le vol à 34A. Tout cela bien sûr, à condition que l'accu soit raisonnablement bien ventilé...

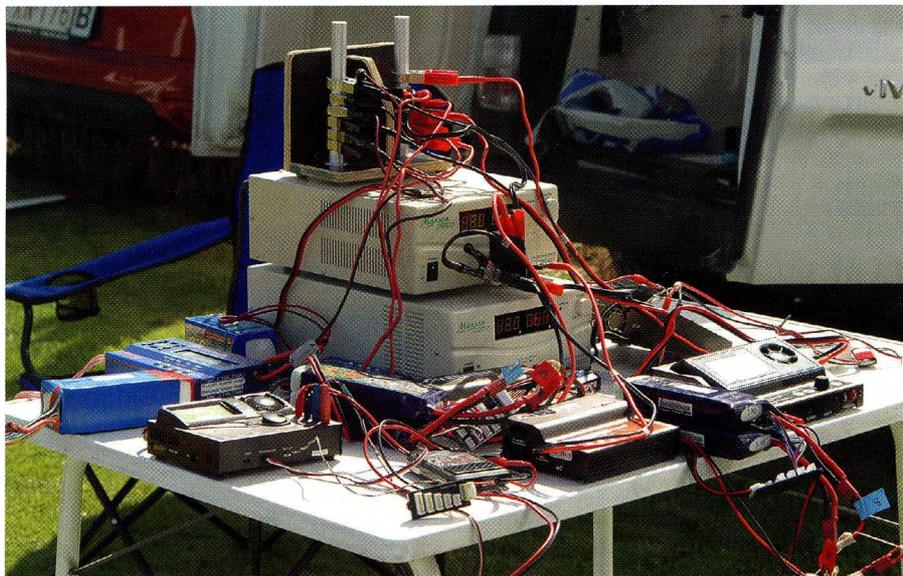
Passons à la valeur de charge de l'accu. Même si l'étiquette dit qu'on peut charger à '5C', là aussi il faut se méfier. En règle générale, les accus modernes se détériorent dès qu'on charge à plus de 2C. Ils perdent petit à petit en performances et en capacité. Sans compter qu'un courant de charge élevé augmente aussi le risque d'incendie.

Vous venez d'acheter un LiPo 2200mah 'Nano-Carbo-Hyper 65/130C' dont l'étiquette indique '10C charge'? Donc théoriquement on pourrait le recharger avec un courant de 22A en 6 minutes à peine? Peut-être que l'accu ne prendra pas feu, mais une chose est sûre: il ne fera pas long feu!

TEMPS DE VOL

Pour savoir combien de temps on peut voler avec tel ou tel accu, suivez cette formule magique:

Course ou vol «à fond» :



Ce n'est pas le moment de se tromper de 'C'...

Secondes = capacité (en mAh) x 4 / courant max au sol

Voltage :

Secondes = capacité (en mAh) x 6 / courant max au sol

Vol normal :

Secondes = capacité (en mAh) x 10 / courant max au sol

EXEMPLES : Course de FunJet avec un accu de 2 400 mAh et un moteur qui 'tire' 42A: $2\,400 \times 4 / 42 = 229$ secondes (± 4 minutes de vol).

Voltime F3A avec un accu de 4 100 mAh et un courant max de 52A: $4\,100 \times 6 / 52 = 473$ secondes (± 8 minutes de vol).

Vol normal avec un accu 3 000 mAh et un brushless à 34A: $3\,000 \times 10 / 34 = 882$ secondes (± 15 minutes de vol).

MANQUE PAS D'AIR !

Pour refroidir un moteur thermique, on prévoit une prise d'air dans le capot. En électrique, c'est pareil, sauf que l'accu et le contrôleur doivent aussi être refroidis. L'air devra donc ressortir derrière ces appendices... Mais quelle taille doivent avoir les ouvertures ?

Surface de l'entrée d'air = nombre de watts / 40

Surface de la sortie d'air = nombre de watts / 30

EXEMPLE : un warbird avec une propulsion optimisée de 1 000 watts aura besoin de $1\,000 / 40 = 25\text{cm}^2$ d'entrée d'air et 33cm^2 de sortie d'air. Celle-ci devra se trouver derrière l'accu.

Il est impératif que la sortie soit plus grande que l'entrée d'air. Sans quoi, il peut se former un phénomène de stagnation de l'air chaud.

LES OHMS ONT TROP RI

Les accus modernes délivrent des performances extraordinaires grâce à une résistance interne ('Ri') très basse. Mais tous les accus ne se valent pas et certains ont une 'Ri' meilleure que d'autres. Pour comparer la qualité de deux accus de marques différentes ou savoir si un ancien pack est encore « au top », il faut mesurer la résistance interne. Pour cela, munissez-vous d'un voltmètre et d'un ampèremètre (ou d'un wattmètre qui combine les deux fonctions). Certains chargeurs modernes intègrent cette fonction.

Mesurez le voltage 'V1' pendant une décharge à un courant 'A1' correspondant à $\pm 1\text{C}$

Mesurez le voltage 'V2' pendant une décharge à un courant 'A2' correspondant à $\pm 10\text{C}$

$Ri = (V1 - V2) / (A2 - A1)$

EXEMPLE : pour un accu LiPo neuf de 3 éléments et 2 200 mAh, vous mesurez 11,4 volts à 2,2 A de décharge et 10,5 volts à 22 A de décharge. La résistance interne du pack est de $(11,4 - 10,5) / (22 - 2,2) = 0,045\Omega$. Cela correspond à une Ri par élément de 0,015 Ω .

À la fin de la saison, votre avion n'a plus la 'pêche'. Une nouvelle mesure de Ri vous donne 11,2 volts à 2,2A et 9,5 volts à 22A, soit 0,086 Ω ce qui signifie que l'accu a perdu presque la moitié de ses qualités. La différence en vol est flagrante.

Attention : Ri augmente quand la température baisse et quand l'accu se décharge. Faites donc vos tests dans des conditions constantes. Le plus précis est de mesurer quand l'accu est à moitié déchargé et à température ambiante.

Vollez plus longtemps : ajoutez un élément !

Notre dernière formule magique permet d'estimer la quantité d'énergie se trouvant dans un accu :

$E = \text{capacité (en Ah)} \times \text{voltage}$

DEMONSTRATION SUR MON STAMPE SV4 DE 210 CM D'ENVERGURE ET 6000 g :

Le moteur consomme 65A en pointe avec un accu LiPo 6 éléments. La formule « magique » des LiPos nous annonce ± 21 volts, ce qui permet de calculer la puissance obtenue: $21\text{V} \times 65\text{A} = 1\,365$ watts ou 1,8 cv.

L'avion a plus de 200 watts par kilo, il est confortablement motorisé mais il ne monte pas à la verticale, comme le confirme la formule: $4\text{g} \times 1\,395 = 5\,460$ g de traction.

Le moteur à cage tournante pèse 360 g.

Théoriquement, il pourrait encaisser $360 \times 4 = 1\,440$ watts en pointe. Sur cet avion, l'entrée d'air fait 35cm^2 et la sortie d'air chaud (les cockpits ouverts) est énorme, ce qui autorise un refroidissement optimal. On peut encore dire que les câbles et connecteurs d'alimentation ont une section de 4mm^2 , ce qui

limite les pertes. Le moteur est vendu pour un KV de 360 tr/V, mais dans la pratique il est plus proche de 400. Il tourne à $21 \times 400 \times 3/4 = \pm 6\,300$ tr/min.

L'hélice est une 18x8», ce qui nous donne une vitesse max. de $8 \times 6\,300 / 800 = 63\text{km/h}$, plus qu'il n'en faut pour ce modèle. L'accu a une capacité de 5 000 mAh, donc l'autonomie sera de 5 000 mAh x $10 / 65\text{A} = 769$ secondes; plus de 12 minutes pour un vol normal.

Le LiPo vendu pour '20/35C' n'est pas trop sollicité car il peut délivrer un maximum de $20 \times 5\,000 / 1\,000 = 100$ A en pointe et $20 \times 5\,000 / 1\,250 = 80\text{A}$ pendant une minute. On ne pourrait pas voler à plein régime tout le temps sans l'endommager car on dépasserait le courant admissible en continu : $20 \times 5\,000 / 1\,750 = 57\text{A}$.



Par exemple, on peut voler plus longtemps avec un accu LiPo 3 éléments de 1 000mAh qu'avec un 2 éléments de 1 300mAh... En effet, pour obtenir le même style de vol à 100 watts de puissance, l'accu 2 éléments délivrera 14,3A de courant (à 7 volts) alors que le 3 éléments donnera seulement 9,5A (à 10,5 volts). Avec la formule citée plus haut, nous trouvons un temps de vol 'normal' dépassant 17 minutes pour l'accu 3 éléments contre seulement 15 minutes pour le 2 éléments. En prime, le taux de décharge 'C' de l'accu 3 éléments est plus bas et l'accu souffre donc moins.

La formule nous l'aurait dit encore plus vite :

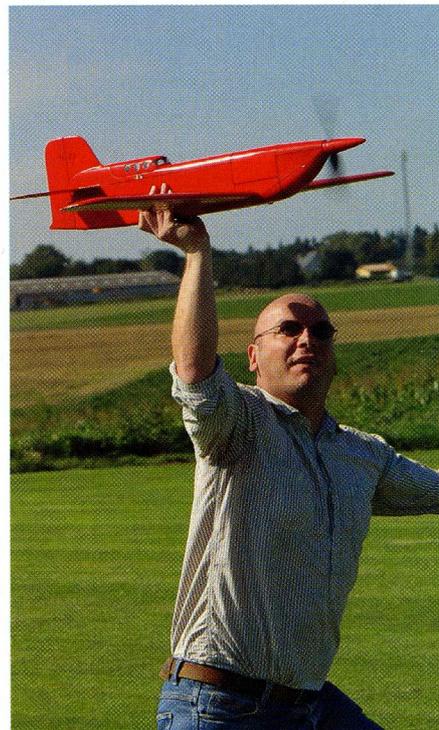
Energie dans l'accu 2 éléments: $1,3 \times 7 = 9,1$

Energie dans l'accu 3 éléments: $1 \times 10,5 = 10,5$

Les esprits contrariaires diront qu'avec moins d'éléments, on tourne une plus grande hélice avec un meilleur rendement. C'est vrai, mais la décharge plus soutenue et l'ampérage élevé sur le moteur causent des pertes qui annulent le gain escompté.

A VOUS !

Vous avez maintenant toutes les cartes en main pour dimensionner avec succès votre chaîne de motorisation électrique : taille du moteur, de l'accu, refroidissement etc... Equiper votre prochain modèle devrait donc être un jeu d'enfant !



Certains modèles ne peuvent pas être correctement ventilés. Il faut alors surdimensionner les composants (moteur, contrôleur, qualité d'accu,...) pour éviter une surchauffe.