

# L'électrique, c'est facile

## Formules magiques pour modélistes branchés...

*Il y a les oubliés du lycée : les ohms, les ampères, les volts et 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 ? [Jivaro-models.org](http://Jivaro-models.org) vous livre quelques formules magiques...*

**Texte et photos : Laurent Schmitz**



Si quelques irréductibles croient toujours que le thermique est plus léger, plus puissant et moins cher, bien des modélistes ont franchi le pas et n'ont plus besoin d'être convaincus. Oui mais voilà, entre assembler un EasyStar 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 13"x6" sur un bon 10 cc et l'affaire est faite ! Mais en électrique, c'est moins évident. Quoi que... 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 doigts 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 !

### ***Achetez vos watts au kilo !***

La première 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 EasyStar...

- *Motoplaneur, foamie léger, Piper Cub : 100 watts par kilo*
- *Trainer : 150 watts par kilo*
- *Warbird, voltigeur de "sport" : 200 watts par kilo*
- *Racer, 3D : 300 watts par kilo*
- *Jet à turbine : 400 watts par kilo*

Exemple: un Hurricane de 3 kg et 150 cm volera bien avec une propulsion de 600 watts. Un Calmato de 2,5 kg se contentera de 375 watts, etc.

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

### ***Un watt, ça tire énormément !***

La seconde 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 : 4 g par watt*
- *Turbine EDF : 2 g par watt*
- *Brushless 'inline' en direct : 2 g par watt*
- *Brushless 'inline' réducté : 5 g par watt*

Exemples: Un warbird avec une propulsion 'cage tournante' de 1.000 watts offre  $\pm$  4 kg de traction statique. Un jet avec une propulsion de 600 watts donne  $\pm$  1200 g de poussée au sol.

### ***Des chevaux très puissants...***

La troisième formule magique est celle qui est restée sur les bancs de l'école...

- *$Watts = Volts \times Ampères$*
- *$Volts = Watts / Ampères$*
- *$Ampères = Watts / Volts$*

Quel rapport avec les chevaux ? Facile, la puissance s'exprime en chevaux ou en watts.

En électrique, on utilise les watts, mais on peut convertir facilement :  
1.000 watts = 1,34 cv ou encore 1 cv = 750 watts

Exemple : un Trainer avec un accu de 12 volts et un courant de 40 A a une puissance de 480 watts. Notez que le même avec un 6,5 cc développerait 1 cv, ce qui fait 750 watts 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 au diesel paraît plus puissante que la même à l'essence, même si elles ont toutes les deux 95 chevaux.

### ***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: poids du moteur x 3 = watts maximum.*
- *Avion à turbine: poids du moteur x 5 = watts maximum.*

Exemple : un moteur à cage tournante Cyclon 60 de 235 g peut "dissiper" sans danger 705 watts. Un "inrunner" de 200 g monté sur une turbine pourra être poussé à 1.000 watts.

Bien entendu, la magie n'opère que si le moteur est raisonnablement ventilé et utilisé correctement. Si vous faites tourner le moteur Cyclon 60 sur un accu de 10 volts à 70 ampères, il ne tiendra pas bien longtemps. Mais à 20 volts et 35 A, pas de soucis !

Notez que cette formule ne marche que pour les moteurs brushless. Les canettes préhistoriques à balais du genre Speed 600 encaissent à peine plus que leur poids en watts...

### ***Toute résistance est inutile...***

L'or est un métal formidable qui ne s'oppose presque pas au passage du courant. Malheureusement, il est aussi très lourd, c'est entre autres pourquoi nous utilisons des fils de cuivre dans nos petits avions. Malheureusement, le cuivre 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 1,5mm<sup>2</sup>*
- *Jusqu'à 60A : fil de 2,5mm<sup>2</sup>*
- *Jusqu'à 100A : fil de 4mm<sup>2</sup>*

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...

### ***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. Cette fois, la formule magique nous donne une idée du régime de rotation "normal" du moteur sur l'avion.

- *Régime du moteur = KV x volts x 3/4*

Exemples : un moteur à cage tournante de 1.200 kV connecté à un accu de 10 volts tournera à 9.000 t/mn. Un moteur "inrunner" de 4200 kV avec un accu de 10 volts tournera lui à 31.500 t/mn.

### ***Parfois rond, mais pas forcément plein...***

Le voltage des accus n'est pas toujours de 1,2 volts pour les Ni-MH et 3,7 volts pour les Lipos. Ces valeurs dites "nominales" sont plus indicatives qu'autre chose. Par exemple, pour estimer combien de watts on peut tirer d'une propulsion, il faut tenir compte du voltage en fonctionnement. Mais pour savoir si un accu est plein, on mesure son voltage au repos. Les valeurs ci-dessous donnent une indication du voltage typique par élément.

- *Lipo pendant le vol : 3,3 volts*
- *Lipos chargé au repos : 4,1 volts*
- *Lipo vide au repos : 3,7 volts*
- *Ni-MH pendant le vol : 1,1 volts*
- *Ni-MH chargé au repos : 1,4 volts*
- *Ni-MH vide au repos : 1,2 volts*

Exemples : Si vous avez besoin de  $\pm 300$  watts pour faire voler votre avion, il faudra un accu LiPo de 3 éléments ou un accu Ni-MH de 9 éléments alimentant le moteur sous 30A.

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

- *2S = 7 volts, 3S = 10 volts, 4S = 13 volts, 6S = 20 volts, 10S = 33 volts.*

### ***Pas de révolution 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 gardant 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*

Exemple : Vous essayez plusieurs hélices sur un gros trainer. Une grande hélice 14"x4" tournant à 8.000 t/m entraînera votre avion à 40 km/h, ce qui est trop peu. Par contre, une 11"x8" à 11.000 t/mn donnera 110 km/h, ce qui est exagéré. Le bon compromis sera probablement une 13"x6" à 9.600 t/mn qui vous donnera 72 km/h. Notez que cette formule est aussi magique pour les thermiques vu qu'elle se base sur l'avancement de l'hélice à chaque révolution, quel que soit le moteur.

### ***Qu'est-ce que "C" ? "C" facile...***

L'étiquette d'un pack lipo indique "15-20 C", mais il est aussi marqué "1 C"... Le "1C" indiqué en petit, c'est le courant de *charge* maximum, qui ne peut pas dépasser 1 fois la capacité de l'accu. C'est comme ça pour tous les LiPos. Par contre, le label "15-20 C" promet que l'accu peut débiter 15 fois sa capacité en *décharge* sans problèmes et même 20 fois sa capacité pendant quelques secondes sans griller. La vérité est ailleurs et il faut tempérer l'optimisme des fabricants. Dans la pratique, oubliez le second nombre et gardez le premier comme valeur à ne pas dépasser pendant quelques secondes. La valeur de décharge "réaliste" se calcule comme suit :

- *Décharge max. au sol = (Premier nombre) C x capacité de l'accu / 1250*
- *Décharge max. pendant une minute = (Premier nombre) C x capacité de l'accu / 1500*
- *Décharge max. continue = (Premier nombre) C x capacité de l'accu / 2000*

Exemple : un accu 3.000 mAh "20/30C" peut théoriquement subir 60A pendant deux ou trois secondes. Il résistera à un décollage à 48 A. Une alternance de passages lents et de circuits "plein pot" à 40 A ne lui fera pas peur. Théoriquement, il pourrait faire tout le vol à 30 A. Tout cela bien sûr, à condition que l'accu soit raisonnablement bien ventilé...

### ***Ampère son temps en l'air***

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

- *Course ou vol "à fond" : Secondes = capacité (en mAh) x 4,2 / courant max au sol*
- *Voltige : Secondes = capacité (en mAh) x 7 / courant max au sol*
- *Vol normal : Secondes = capacité (en mAh) x 11 / courant max au sol*

Exemples :

Course de FunJet avec un accu de 2.400 mAh et un moteur qui "tire" 42 A :  $2400 \times 4,2 / 42 = 240$  secondes, ou 4 minutes de vol.

Programme F3A avec un accu de 4.100 mAh et un courant max de 52 A :  $4.100 \times 7 / 52 = 552$  secondes, ou 9 minutes de vol.

Vol en Calmato avec un accu 3.000 mAh et un brushless à 34 A :  $3.000 \times 11 / 34 = 970$  secondes, ou 16 minutes de vol.

### ***Manque pas d'air !***

Pour refroidir un moteur thermique, on fait 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 quelles tailles 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  $1.000 / 40 = 25$  cm<sup>2</sup> d'entrée d'air et 33 cm<sup>2</sup> 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 toutes les batteries ne se valent pas et certaines 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).

Mesurez le voltage "V1" pendant une décharge à un courant "A1" correspondant à  $\pm 1C$

Mesurez le voltage "V2" pendant une décharge à un courant "A2" correspondant à  $\pm 10C$

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

Exemple : Pour un accu Lipo tout 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  $\Omega$ .

A la fin de la saison, votre avion n'a plus la "pèche". Une nouvelle mesure de Ri vous donne 11,2 volts à 2,2 A et 9,5 volts à 22 A, soit 0,086  $\Omega$ , 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.

***Volez plus longtemps : ajoutez un élément !***

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

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

Par exemple, on peut voler plus longtemps avec un accu Lipo 3S de 1.000 mAh qu'avec un 2S de 1.300 mAh... En effet, pour obtenir le même style de vol, l'accu 2S de 7,4 volts devra délivrer 13,5 A de courant pour atteindre 100 watts de puissance alors que le 3S donnera seulement 9 A. Avec la formule donnée plus haut, nous trouvons un temps de vol "normal" dépassant 20 minutes pour l'accu 3S contre moins de 18 minutes pour le 2S. En prime, le taux de décharge "C" de l'accu 3S est plus bas et l'accu souffre donc moins.

La formule nous l'aurait dit encore plus vite :

- Energie dans l'accu 2S:  $1,3 \times 7,4 = 9,62$
- Energie dans l'accu 3S:  $1 \times 11,1 = 11,1$

Les esprits contrariants 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.

Surprenant, non ?