

# Vademecum Printemps électrique

De par sa simplicité d'utilisation et sa fiabilité, la propulsion électrique a supplanté aujourd'hui la propulsion thermique pour les modèles standards, pour autant, quelques rappels de bases sont toujours intéressants pour optimiser celle-ci.

Sur un groupe motopropulseur électrique il y a évidemment les quatre éléments qui participent à l'efficacité de la propulsion: l'accu, le contrôleur, le moteur, les connexions et câbles et l'élément final, l'hélice.

MRA a déjà traité pas mal d'éléments et il est difficile en quelques pages d'aller au fond des choses, mais quelques points sont malgré tout incontournables.

## 1) Evaluation de la puissance nécessaire :

Le calcul peut être simplifié pour encadrer le résultat, et il est bon de rappeler que cette grandeur est simplement donnée par :

$$P = U \times I$$

avec P la puissance en W  
U la tension au x bornes du pack en  
fonctionnement en V  
I la valeur de l'intensité du courant électrique  
consommée en A .

Pour mesurer la valeur de la tension, un simple voltmètre branché en dérivation du pack suffit, par contre pour la mesure du courant consommé, vu qu'ici dans notre hobby, les courants sont souvent supérieurs à 10 A , l'utilisation d'une pince ampéremétrique ( cf photo ) pour courant continu , à effet hall est souvent nécessaire.

Très souvent la mesure du courant I est surprenante et on voit alors bien que la consommation du GMP n'est pas du tout proportionnelle à l'ordre du manche de gaz mais possède plutôt une allure exponentielle, la consommation grimpe surtout dans les derniers 30 % de la course du manche.

La force de traction du moteur doit s'opposer et compenser à la fois le poids du modèle, la traînée globale mais doit aussi correspondre au type de vol désiré.

La traction et le taux de montée n'est évidemment pas la même sur un planeur que pour un modèle d'avion 3 D !

Dans tous les cas, un des paramètres sur lequel on peut agir est le poids, donc ayez toujours en tête d'avoir le modèle le plus léger possible ( structure, finesse, choix des accus en fonction de la puissance et de l'autonomie désirée ) .

L'approche de la construction optimale sur un électrique est différente de celle d'un thermique car la structure ne subit pas les vibrations du moteur à explosion ( nous y reviendrons plus loin ).

La puissance nécessaire pour un modèle de même envergure est souvent moindre s'il est électrique par rapport à un thermique, mais reste tout de même comparable.

La relation de base pour la conversion entre la puissance mécanique et la puissance électrique, est  $1CV = 736 \text{ Watt}$ .

Un exemple: un même modèle de poids et de caractéristiques nécessitant un moteur thermique de 7,5cc donnant une puissance de 1,3 CV, le moteur électrique qui le remplacerait serait un moteur de  $1,3 \times 736 = 957 \text{ Watt}$ .

Reste ensuite à trouver les tensions et courant adaptés pour obtenir cette puissance.

Ces choix deviennent opérants dès lors que l'on précise le type de batterie ou l'autonomie. Une règle est de mise: Il faut optimiser le rapport poids puissance par rapport à la perte par effet joule. Je rappelle que cette perte est liée à l'échauffement qui augmente avec la valeur de l'intensité du courant électrique. Il convient de faire un choix cohérent entre la masse embarquée liée à la taille de l'accu et le courant consommé. On a toujours intérêt à avoir une tension maximum pour limiter la valeur du courant, à puissance constante.

Sur une application avion, des courants maxis de l'ordre de 50 A fixent les choses. Cela permet d'avoir puissance et autonomie. Ces courants ne doivent être atteints qu'en situation plein gaz, c'est-à-dire une situation qui ne doit pas être utilisée pendant l'ensemble de votre vol, sinon (à part RACER) votre motorisation a été mal dimensionnée. Cette puissance maxi est souvent utilisée en voltige ou au décollage, mais peu en transition.

Sur une application planeur, l'approche peut être différente car l'autonomie peut être réduite, cela dépend de votre choix. Soit on monte vite pour planer, et on privilégie le taux de montée à l'autonomie, dans ce cas, un fort courtant s'impose, soit on conçoit le GMP comme un remorquage virtuel, dans ce cas on se rapproche de l'avion.

Si on reprend notre cas précédent, pour 957 Watt développés, on peut choisir de l'alimenter par un pack en 4s, soit 14,8 Volt, le courant nécessaire sera de l'ordre de  $957/14,8 = 65$  Ampères maximum au décollage. Il faudra donc trouver un accu capable de les débiter...sans être monstrueux en poids.

Autre approche, si on augmente le nombre de cellule pour notre accu, le courant consommé sera alors plus petit, donc moins de pertes par échauffement. Avec un accu de 6s, soit 22,2V, on se contentera pour donner les 957 Watt de  $957/22,2 = 43$  A. Il reste alors à comparer les masses des accus en 4S et 6S du marché pour voir celui, qui a autonomie constante, donne la masse la plus faible.

Classiquement, une évaluation de la puissance nécessaire pour faire voler correctement un modèle est donnée par une puissance minimum de :

PLANEUR: 120 à 150W/kg  
 TRAINER: 160 à 200 W/kg  
 VOLTIGE: 200 à 250 W/kg  
 Avion 3D: 300 à 360 W/kg

Ce qui donne des éléments de repères moyens :

Puissance GMP ( W )	Planeur ( kg )	Avion trainer ( kg )	Avion voltige (kg )	Avion 3D ( kg )	Equivalence thermique 2T
100	0.75	0.55	0.44	0.3	1 cc
200	1.5	1.1	0.85	0.6	2.5 cc
400	3	2.2	1.8	1.2	4 cc
500	3.7	2.75	2.2	1.5	5.5 cc
600	4.5	3.3	2.65	1.8	6 cc
800	6	4.45	3.55	2.45	7 cc
1000	7.5	5.55	4.45	3	7.5-8.5 cc

Il est évident que ces chiffres ne sont donnés que pour donner un ordre d'idée, et le résultat dépend aussi notamment de des rendements des constituants et de la conception des modèles, mais c'est une bonne base.

## 2) Les batteries :

Nos batteries de propulsion sont dans la plus grande majorité des Lipo, technologie aujourd'hui maîtrisée mais du fait des volumes de production, il y a quand même quelques recommandations et règles de bases.

Pour le choix de la batterie, l'élément déterminant sera le type de modèle d'avion considéré, et comme dit précédemment, il y a un choix à faire entre masse, capacité et courant demandé. L'optimisation étant évidemment d'avoir la plus forte capacité pour une masse la plus faible, le tout en ayant une capacité de décharge élevée et une tension totale la plus grande possible ! La masse est donnée par le constructeur en gramme ( simple ), la capacité est fournie par le constructeur en Ah, et la capacité est donnée en nombre de C, constant ou en pointe.

Exemple : Un accus de 4S de 4000 mAh ( C = 4 Ah ) , avec une caractéristique de décharge de 20C en continu est capable de fournir  $20 \times C = 20 \times 4 = 80 \text{ A}$  en continu ce qui est une excellente caractéristique.

Mais attention, très souvent ces données sont fournies de manière optimiste, et ne tiennent pas compte de la durée de fonctionnement. En effet, sous ces courants, l'échauffement dû à la résistance interne des accus n'est pas négligeable, ce qui occasionne une baisse de la tension d'utilisation et donc une baisse du courant effectivement débité. Mieux vaut ne pas les prendre au pied de la lettre pour des applications prolongées du type avion où les vols durent entre 5 et 10 min non stop.



Si vous voulez connaître votre autonomie maximum en fonction de votre capacité d'accus et votre consommation voici une règle simple :

$$\text{Cap} = I \times \text{tps} / 3.6 \quad \text{avec Cap en mAh}$$

I en Ampère  
Tps en seconde

Donc  $\text{tps} = 3.6 \times \text{Cap} / I$

Ce qui donne des éléments indicateurs suivants si la consommation est constante

Capacité Accus ( mAh) 	500	1000	1500	2000	3000	4000	5000
Intensité consommée 							
10 A	180 s	360 s	540 s	720 s	1080 s	1440 s	1800 s
15 A	120 s	240 s	360 s	480 s	720 s	960s	1200s
20 A		180 s	270 s	360s	540s	720s	900s
25 A		144 s	216s	290s	435s	580s	725s
30 A		120 s	180s	240s	360s	480s	600s
35 A		103 s	154s	210s	315s	420s	525s
40 A			135s	180s	270s	360s	450s
50 A				145s	216s	288s	360s
60 A				120s	180s	240s	300s

Mais comme cela est rarement le cas, ces valeurs sont vraiment les temps minima, car la puissance maxi est rarement utilisée en continu ! En tenant compte des 40 % d'accus à laisser, du style vol, cela permet un encadrement.

Ces batteries Lipo nécessitent une vigilance afin d'en assurer la durée de vie la plus longue, ou plus simplement éviter une catastrophe due à un mauvais entretien. On parle ici de batterie pouvant prendre feu, en cas de contact entre le gaz interne et l'air atmosphérique.

- 1- Attachez vous à utiliser des connectiques compatibles avec les courants de décharges utilisés. De plus, la conception de vos connectiques doit être faite en sorte qu'aucun court-circuit ne puisse s'établir entre les fils de sortie de vos packs ou entre ces deux fils et un éventuel objet métallique. Une protection plastique digne de ce nom est primordiale.
- 2- Lors d'un stockage prolongé comme la trêve hivernale, il est conseillé de stocker les batteries avec un taux de remplissage de l'ordre de 40 %. Ne laissez pas un pack chargé à 100 % si vous ne l'utilisez pas dans un proche avenir. Des appareils simples sont disponibles pour effectuer ces mesures.



- 3- Ne jamais laisser un Lipo en charge sans être à proximité du lieu de charge afin d'avoir une visibilité en cas de défaut ou d'incendie. Il est vivement recommandé de stocker, et de mettre vos Lipo dans un sac antifeu lors de leur recharge ou transport dans votre véhicule.
- 4- Ne pas descendre en dessous d'une capacité de 30 à 40 % de la capacité nominale de fonctionnement de votre accus lors de vos vols prolongés afin d'avoir une durée de votre de votre accus ainsi qu'un maintien de ses caractéristiques optimisé.
- 5- N'utilisez que des chargeurs munis de balance d'équilibrage des éléments.
- 6- Respecter la valeur maximale du courant de charge pour votre accu.
- 7- Attention, la température extérieure a une grande influence sur les caractéristiques des Lipo, notamment pour la valeur de la capacité de la batterie ainsi que la tension nominale, qui chutent inexorablement au froid. Ne chargez jamais une batterie stockée en dessous de 0°C,

Si votre accu Lipo a gonflé, surveillez-le de très près.

Il y a plusieurs raisons qui font qu'une batterie gonfle, une combinaison d'évènements et d'actions qui font gonfler les cellules. Cela va des constructeurs peu scrupuleux à un usage mauvais, ou juste l'usure à force d'utilisation, mais la conclusion devrait toujours être la même, la batterie a fait son temps et devrait être mise de côté !



Les batteries peuvent également gonfler si les cellules sont trop chargées ou chargées trop rapidement. Quand cela se passe, vous finissez avec un surplus de lithium libre sur l'anode ainsi que de l'oxygène sur la cathode. ...

En gros, une batterie abusée développe rapidement de l'oxydation sur ses deux pôles à l'intérieur. Plus vous abusez sur la batterie, plus le phénomène augmente.

Une décharge trop importante des batteries est souvent aussi la cause la plus commune de gonflage, vous comprenez maintenant mieux à quel point il est mauvais de décharger complètement vos batteries Lipo.

### 3) Les contrôleurs et câbles d'alimentation :

Ces éléments indispensables pour le transfert de l'énergie électrique sont aussi à optimiser.

Pour les contrôleurs, quelques règles sont à appliquer :

- 1- Choisir le contrôleur adapté à la puissance développée par votre GMP, donc vérifier les valeurs de tension et courants maxima.
- 2- Pour une utilisation avion où le GMP n'est pas toujours mis en plein régime, préférer les contrôleurs munis d'un bon radiateur de refroidissement.
- 3- Sur des applications à hautes tensions ( supérieur à 4 S ) ou à fort courant ( supérieur à 50 A ) préférez une alimentation RX séparée et un contrôleur à optocoupleur.
- 4- Utilisez des câbles souples, à section adaptée les plus court possible pour limiter les pertes et aussi optimiser le calcul de l'avance magnétique faite par le contrôleur.
- 5- Veiller à aérer au maximum votre contrôleur en le plaçant sur un écoulement d'air ( entrée NACA par exemple) et en essayant de ne pas le plaquer contre une paroi de manière trop réduite.

### 4) Le moteur :

Aujourd'hui, les coûts de production et la technologie ont fait littéralement disparaître les moteurs à charbons, même sur des applications simples de la vie quotidienne.

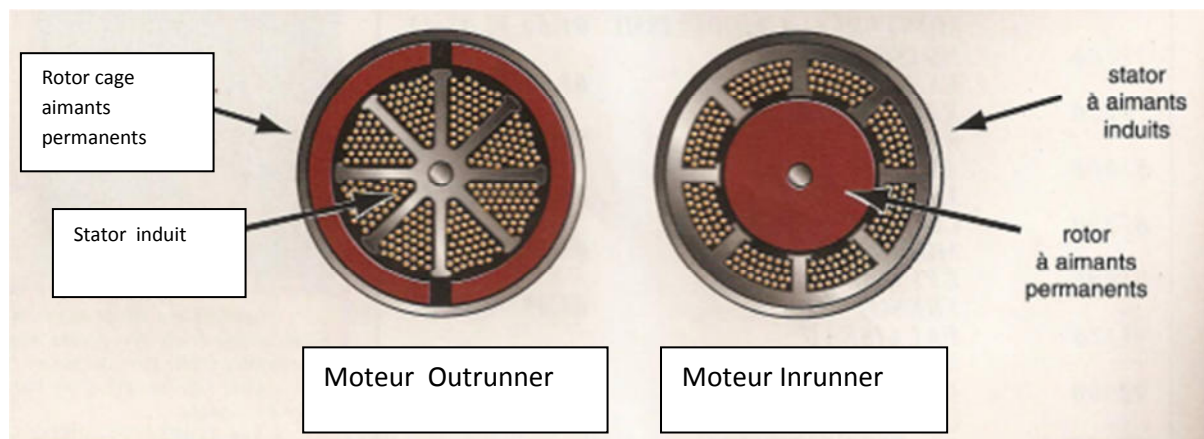
Deux technologies s'offrent à vous :

- Les InRunner ( moteurs à faible nombre de pôles )
- Les cages tournante dit aussi Outrunner ( moteur à nombre de pôles élevés )

Les moteurs InRunner ont été précurseurs dans la technologie des brushless, ces moteurs ont un régime de rotation élevé ( le KV fourni par le constructeur ) mais ont des couples de fonctionnement faibles, ce qui les condamne à utiliser des hélices de faibles diamètres , ou à utiliser des réducteurs

pour utiliser des hélices de diamètres plus grand. Le couple de ces moteurs est essentiellement lié à la longueur du rotor. Dans les InRunner, la cage extérieure est fixe( donc facile à installer dans un fuseau fin, pas de risque de frottement ) , et c'est le rotor solidaire de l'axe de rotation qui tourne en son centre.

Les InRunner de hautes performances sont capables de très haut régime, et il n'est pas rare de voir des réducteurs épicycloïdes de rapport 6.7 :1 monté dessus. Pour fixer les chiffres, une hélice 16x16 monté sur un tel GMP tournant à 12000 tr/min donne des régimes proches de 80000 tr/min pour le rotor ! Les aimants ont intérêt à être bien accrochés ( souvent ligaturés )! Le champ magnétique tournant est produit sur la cage fixe extérieure.



Les moteurs à cage tournante utilisent une autres technologie ( technologie issue des moteurs LRK ), le champ électrique tournant sur la partie centrale du moteur met en rotation la cage extérieure munie d'aimants ! Cette technologie a mis du temps à être au point car le nombre de commutation ( liées au nombre d'aimant extérieurs sur la cage tournante ) est énorme , mais le gain est intéressant sur la valeur du couple magnétique car l'angle d'avancement entre deux aimants est plus faible et le bras de levier entre l'axe et l'aimant permanent est plus grand. Résultat : les moteurs à cages tournantes ont un KV plus faible mais un couple qui permet de tourner de grandes hélices pour une faible masse et faible encombrement moteur.

Bilan : Si vous voulez tourner des hélices de faibles diamètre avec des hauts régimes, comme racer ou petit avion de vitesse, préférez les InRunner, pour le reste Outrunner !

Dans les deux cas, vous ne pouvez pas trop intervenir sur les caractéristiques du moteur car elles sont imposées par les dimensions du moteur.

Pour leur rendement, il est lié aux diamètres et longueur du rotor, à la qualité des aimants et leur montage, au remplissage et la réalisation du bobinage et aussi à la distance de l'entrefer.

Par contre, il y a trois points fondamentaux :

- 1- Respecter les valeurs du constructeur
- 2- Aérer le moteur du mieux que vous pouvez car les performances magnétiques dépendent de la température.
- 3- Vérifier la parfaite fixation de votre moteur car ceux-ci n'acceptent pas les vibrations ( hélice mal équilibrée par exemple..) et pour les cages tournantes, dans le cas d'une hélice fixée sur

la cage, les efforts dûs aux effets gyroscopiques sont énormes. Dans certains cas, il vaut mieux fixer l'hélice sur l'axe de rotation et monter le moteur de manière traditionnelle sur votre cloison pare-feu, hélice et cage symétriques par rapport à la cloison.

#### 5) Les hélices :

Des éléments indiqués dans ce petit dossier, c'est sûrement celui qui a le moins évolué ces dernières années, et pourtant c'est celui qui est en sortie de notre GMP !

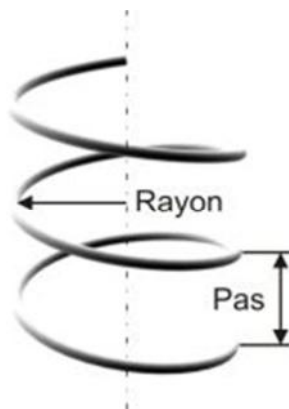
Les hélices de nos appareils conditionnent aussi le rendement final, car je vous rappelle que le rendement global d'un GMP est le produit des rendements de chaque élément !

Voici quelques rappels rapides sur l'hélice. L'hélice ressemble beaucoup à nos ailes.

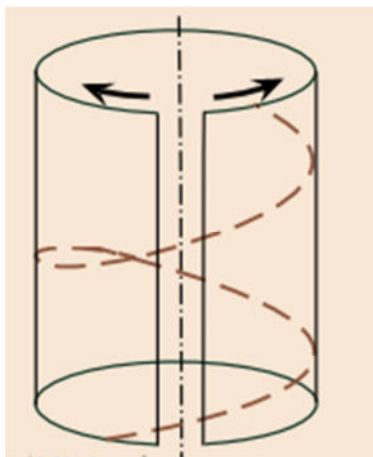
Nos hélices sont vendues avec deux caractéristiques majeures :

- diamètre en pouces ( inches = 2.54 cm )
- pas en pouce s

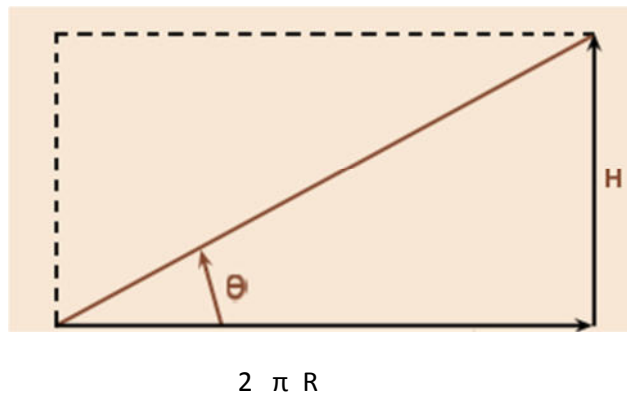
Le pas correspond à l'avancement théorique de l'hélice à chaque tour complet de la pale.



Exemple : une hélice 13x6 a un diamètre de  $13 \times 2.54 = 33$  cm et avance dans l'air de manière théorique de  $6 \times 2.54 = 15.2$  cm à chaque tour



si on déroule le cylindre on obtient alors :



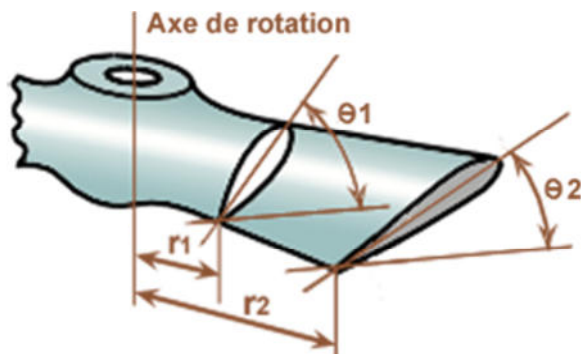
Ce qui signifie qu'à la distance  $R$  de l'axe de l'hélice, celle-ci avance d'une longueur  $H$  ( pas théorique ) pour une rotation complète dans un milieu incompressible,  $H = 2 \pi R \tan\theta$ .

$\theta$  étant l'angle d'inclinaison de la pale à la distance  $R$  de l'axe.

Evidemment, ce n'est qu'une vision théorique car l'air est un fluide et il faut tenir compte du rendement et du glissement.

Petite réflexion : Si l'hélice fait un tour complet dans un milieu incompressible, le tour complet ( circonférence ) effectué par le bout de la pale d'hélice est le double de celui par un point placé au milieu de la pale car la longueur du cercle est  $L = 2 \pi R$ . Or si l'inclinaison de la pale était la même sur toute la longueur de la pale, cela signifierait que par rapport au plan de rotation de l'hélice, l'extrémité de la pale avancera plus vite que son milieu d'où une déformation destructrice ! Cela signifie que pour avoir un pas constant, l'angle de calage de l'hélice diminue quand on s'écarte de son axe de rotation.

Le pas géométrique théorique d'une hélice est celui mesuré à la distance  $0.7 R$  de l'axe de rotation,  $R$  étant le rayon de l'hélice.



Ici,  $\theta_2 < \theta_1$