

# Les hélices

D'une manière générale le premier chiffre c'est le diamètre et le 2ème le pas.

- Quand on augmente le diamètre on a plus de traction (pour faire des montées verticales).
- Quand on augmente le pas on a plus de vitesse.

**« Et bien sur quand on augmente un des paramètres on augmente aussi l'intensité consommée gaz à fond »**

## Calcul de la vitesse théorique:

Le pas de l'hélice est la distance THEORIQUEMENT parcourue en 1 tour et ce pas est généralement exprimé en pouces ( 1" =25.4mm ) donc avec une 22x10 par exemple , 1 tour fait avancer de 10" soit 254mm ... x 7000 ( t/mn) x 60 minutes = .... après conversion d'unités 106.68 km/h.

Avec la notion de rendement, donc de glissement de l'hélice dans l'air la vitesse réelle de l'avion à ce régime doit frôler les 90 km/h en palier stabilisé. Le rendement n'est bien sûr pas constant, on comprend bien que l'hélice "glisse" beaucoup plus en phase d'accélération qu'en palier. Ensuite la notion de traction pure dépend de beaucoup de facteurs dont la forme des pales, le choix du profil, etc ... et aussi bien sûr du ratio diamètre /pas.

**Un grand diamètre associé à un faible pas favorise la traction alors qu'un petit diamètre avec un pas élevé favorisera la vitesse.**

La puissance consommée étant à peu près proportionnelle au volume d'air déplacé / tour; soit la surface du disque balayé par le diamètre multipliée par la distance parcourue (le pas) on comprend bien que pour la même puissance disponible au moteur on peut obtenir des comportements très différents.



## 2) Quelle hélice pour quel moteur ?

Une question que les débutants se posent souvent et qu'il n'est pas inutile de préciser à l'attention des plus anciens est : Quel moteur et quelle hélice pour quel avion ?

Nous envisagerons les choses en quatre points :

- Les motoplaneurs
- Les avions de début
- Les avions "de sport" et multis
- Les hélices

### 1- LES MOTOPLANEURS :

La plupart de planeurs motorisés utilisent actuellement un moteur électrique. Pourtant, le moteur thermique reste très efficace pour prendre de l'altitude. Le poids est nettement plus réduit qu'un ensemble de propulsion électrique et permet donc de conserver de faibles charges aillaires. Le moteur peut être placé dans le nez ou sur un pylône, solution qui permet de décider de le monter uniquement quand c'est utile et de conserver un planeur pur en cas de remorquage ou de vol de pente.

### 2- LES AVIONS DE DEBUT :

Pour l'école, il est indispensable que l'avion monte correctement. Il faut pouvoir quitter rapidement la proximité du sol et pour cela, ne pas être sous motorisé (l'aviation ce ne serait pas dangereux s'il n'y avait pas le sol !). De plus, un avion qui vole à la limite du décrochage est voué à la casse dans les mains d'un débutant. Maintenant que l'usage de la double commande est généralisé pour l'écolage, il est moins à craindre que l'élève ne sache pas doser les gaz et se retrouve avec un avion trop sensible car trop rapide.

### 3- LES AVIONS "DE SPORT" ET MULTIS :

Le pilote étant formé, il passe selon ses goûts, à des avions de voltige style "multi", à des maquettes ou à des avions dits "de sport" qui allient un style sympa à des qualités de voltigeurs certaines quoique moindres que celles des multiris ou des voltigeurs purs style Extra ou Cap. Ici c'est la taille qui va dicter le choix du moteur. Pour le style de vol c'est l'hélice qui va tout changer, ce que nous verrons dans le dernier point.

### 4 - LES HELICES :

Un moteur est capable de faire tourner différentes tailles d'hélice. Le tout est d'obtenir un régime de rotation qui permette d'utiliser au mieux la puissance du moteur. On peut varier le diamètre et le pas. En gros, pour un même moteur, dans une fourchette donnée, plus le diamètre est grand, plus le pas est petit.

- Les hélices à petit pas sont utilisées pour voler lentement, on obtient un maximum de traction à basse vitesse. L'avion pourra effectuer des montées sous fortes pentes sans prise de vitesse initiale. C'est le type d'hélice à utiliser sur les maquettes (Piper Cub, Stampe) et sur les avions de voltige de type "3D".

- Sur les avions de sport, vous les utiliserez si vos goûts vont vers un pilotage lent et dans un espace restreint. Les hélices à pas important sont destinées au vol rapide, l'avion accélère moins bien, mais les trajectoires sont plus tendues.

En fait, les hélices, c'est comme les centrages : chacun va choisir selon ses habitudes et ses expériences, dans une plage limitée.

EE cm3	Avion de début	Avion d'entrainement	Avion rapide
0,8	6X3	6X3	6X3
1,5	8X4	7X5	7X6
2,5	9X4	8X5	7X6
4	10X4	9X6	8X7
5	11X4	10X6	10X7
6,5	11X5	10X6	10X6
7,5	12X5	11X6	10X7
10	12X6	12X7	11X8
12	14X5	13X6	12X7
15	15X5	14X6	13X7
20	20X6	18X8	16X10
30	-	20X8	18X10

#### Types d'hélices pour les moteurs quatre temps

CYLINDREE cm3	Avion de début	Avion d'entrainement	Avion rapide
4	12X4	11X4	10X6
6,5	12x4	12x5	11x6
8	13X4	13X5	12X7
10	14X4	13X5	12X7
13	15X5	13X6	12X8
15	15X5	15X6	14X8
20	17X6	15X7	14X10



## La théorie et les formules

### - LE DIAMETRE -

Cette grandeur représente le diamètre du cercle décrit par l'hélice. Elle est usuellement exprimée en pouce. Un pouce mesure 2,54 cm. On l'appelle également inch (c'est quand on utilise l'hélice qu'elle devient graduée en phalanges..mdr.).

*Exemple : Une hélice de diamètre 15 pouces aura donc un diamètre de 38.1 cm*

### - LE PAS -

Cette grandeur représente la distance parcourue par l'hélice à chaque tour. Cette grandeur est également exprimée en pouce (ou inch)

Cette distance serait réellement parcourue si l'hélice se vissait dans un milieu incompressible. Or l'hélice tourne en général dans l'air, qui se comprime par la résistance qu'oppose le modèle à la traction de l'hélice. Il ne faut pas non plus trop forcer sur le pas car le moteur chaufferait inutilement et le bilan énergétique serait très médiocre.

*Exemple : Une hélice de pas 9.5 pouces avancerait en théorie de 24,1 cm à chaque tour.*

*Généralement, on identifie une hélice par son diamètre suivi de son pas, le tout usuellement exprimé en pouce (ou en centimètres mais on le précise !). L'exemple précédent mène donc à une hélice dite "15x9.5".*

### - LE RENDEMENT -

L'hélice est une grande gaspilleuse.

Une partie de l'énergie fournie sera inutilement dispensée en bruit, en tourbillons parasites et en frottements. Ce qui reste sera utilement dédiée à la poussée axiale qui contribuera à l'avancée de l'appareil. C'est cette poussée qui sera enfin utilisée dans les calculs de gain d'altitude ! Le rendement représente la qualité du transfert d'énergie de l'arbre vers la poussée. On peut directement l'exprimer aussi comme un rapport de puissances :

$$R_h = \frac{P_f}{P_a}$$

*Exemple: Un moteur fournit 350 watt à l'arbre. Combien fournit l'hélice, dont le rendement est 0.7 ?*

*Réponse :  $P_f = R_h \cdot P_a = 0,7 \cdot 350 = 245 \text{ Watt}$*

*Elle aura donc gaspillé plus de 100 Watt.*

**Conversion moteur thermique:** Un cheval = 736 W

exemple avec un OS46AX : (données constructeur)	Cylindrée: 7, 45 cc Alésage : 22,00 mm Course : 19,60 mm Puissance: <b>1,65cv</b> /17000t Poids : 375 g Vilebrequin sur roulement. Hélice : 10x6 11x5 11x6
<b>soit : 1214,4 watt</b>	

Le rendement dépend de plein de paramètres :

- ▶ Le principal est la géométrie de l'hélice. Une hélice à profil évolué (et évolutif) sera plus performante qu'un bout de bois taillé . De même, on ne négligera pas l'état de surface des pales. Toujours poncer le petit fil (résidu de moulage) qui dégrade l'état du bord d'attaque et éviter les bouts d'hélice rognés
- ▶ Le matériau constitutif peut dégrader le rendement si des déformations de pales apparaissent à haut régime. Les hélices rigides sont généralement gratifiées d'un meilleur rendement
- ▶ L'équilibrage de l'hélice. Un mauvais équilibrage statique (ou dynamique) de l'hélice provoque un retour d'énergie vers le moteur qui se traduit par une mise en vibration de l'ensemble propulsion (et fuselage...)
- ▶ Les dimensions de l'hélice. Elles influent directement sur les performances du profil des pales, de la même manière que la corde de nos ailes . Une grande pale, donc large, sera gratifiée d'un nombre de Reynolds élevé, donc de performances meilleures en terme de rapport poussée/frottement.
- ▶ La vitesse de rotation. Plus elle sera faible, moins on aura de tourbillons et de frottements parasites. Les effets de compression seront aussi plus favorables.

*En électrique, ces deux derniers points justifient pourquoi on utilise très fréquemment un réducteur en sortie de moteur : En réduisant le régime de rotation et en augmentant le couple, il favorise donc l'emploi d'hélices plus grandes tournant moins vite.*

### - FORMULE DE LA PUISSANCE A L'ARBRE -

Cette formule, ou plus précisément ces différentes formules, vous permettront de relier la puissance à l'arbre au régime/pas/diamètre de l'hélice. Ce ne sont que des approximations, mais elles vous permettent d'avoir un ordre de grandeur précis à mieux que 20%

La première, dite formule de ABBOTT, s'exprime comme ceci :

$$W = P \times D^4 \times R^3 \times 5,33 \times 10^{-15}$$

La seconde s'appelle formule de YOUNG (elle est strictement égale à la précédente !) :

$$W = \frac{P \times D^4 \times R^3 \times 7,46}{1,4 \times 10^{15}}$$

La troisième est nommée formule de BOUCHER (Sté ASTRO) :

$$W = K \times \frac{P}{12} \times \left(\frac{D}{12}\right)^4 \times \left(\frac{R}{1000}\right)^3$$

Pour les trois formules :

- *W : puissance à l'arbre (fournie par le moteur), en Watt P : pas, en pouces D : diamètre, en pouces R : régime, en tours/min*

- *Pour la troisième formule, la variable K n'est pas le rendement de l'hélice.*

*C'est un paramètre d'ajustement qui dépend du type d'hélice, par exemple :*

*Hélice TOP FLITE , K=1.31 Hélice ZINGER , K=1.31 Hélice GRAUPNER CAM folding prop , K=1.18 Hélice GRAUPNER CFK folding prop , K=1.05 (c'est mon coeff d'expérience à moi !) Hélice APC , K=1.11*

### - EXEMPLE DE DIMENSIONNEMENT D'HELICE -

Un exemple de dimensionnement d'hélice.

1. Par simulation (SIMUAERO 2000) ou par calcul à partir des paramètres aérodynamiques (charge alaire, Cz, allongement,...) on estime la vitesse optimale sur trajectoire à environ :  $V_t = 10$  m/s.

On souhaite voir monter le modèle sous un angle de  $30^\circ$ .

On en déduit donc la vitesse verticale : 5 m/s. Pour garder une petite marge, on part sur 6.5 m/s, à laquelle j'ajoute la vitesse de chute propre qu'on majore à 1 m/s (0.7 m/s simulé sous VISUAERO).

On obtient donc une vitesse ascensionnelle (sans compter le taux de chute propre) de :

$$V_z = [V_T \times \sin(30^\circ)] + 1.5 + 1 = 7.5 \text{ m/s}$$

2. dimensionner les Watt à fournir

Pour apporter une vitesse ascensionnelle de 7.5 m/s à un modèle de 3 kg, la puissance fournie par l'hélice devra donc être de :

$$P_f = m \times g \times V_z = 3 \times 9.81 \times 7.5 = 220 \text{ Watt}$$

3. dimensionner le régime moteur

Vu les ordres de grandeur de puissance à fournir, on part sur une propulsion réduite.

Une estimation grossière de la puissance à l'arbre (estimation des rendements moteur et hélice) nous amène à environ 320 Watt apporté par le moteur, soit environ 400 Watt de puissance d'entrée.

On retient un moteur réducté 4:1.

On fixe le nombre d'éléments pour limiter le courant à moins de 50 Amp (autonomie et pertes Joule) :

10 éléments x 40 amp. La tension de l'accu en charge moteur s'approche donc à 10 Volts (1V/élément).

Le Kv du moteur vaut 2500 et sa résistance interne 16 milliohm.

On en déduit que sous 40 Ampère, les pertes ohmiques vaudront  $0.016 \times 40 = 0.6 \text{ V}$  soit une tension électromotrice de  $10 - 0.6 = 9.4 \text{ V}$ , donc un régime de  $2500 \times 9.4 = 23500 \text{ tr/min}$  qui donne après réducteur :

$$\text{Régime} = [K_v \times (N_{\text{éléments}} - R \times I)] \div \text{réd} = [2500 \times (10 - 0.016 \times 40)] \div 4$$

$$\text{Régime} = 5875 \text{ tr/min}$$

Ceci est le régime optimal d'utilisation du moteur vu les puissances à fournir, qu'il va falloir essayer de rallier par le choix de l'hélice.

4. dimensionner le diamètre de l'hélice

On vise le plus grand diamètre d'hélice possible pour travailler à son meilleur rendement.

On retient donc un diamètre de 15 pouces : Ce choix est cohérent avec un rendement de 0.7, qui confirme la puissance à l'arbre de 320 Watt donnant une puissance fournie de 220 Watt.

5. Dimensionner le pas d'hélice

C'est une étape qui nécessite des marges scandaleuses si l'on ne veut pas être déçu lors des premiers essais.

En effet, il faut tenir compte que l'on ne travaillera pas très souvent dans le cas idéal :

- ▶ décharge de l'accu au fil des montées,
- ▶ nécessité de tracter plus au décollage,
- ▶ vitesse sur trajectoire plus faible que prévue (selon l'axe du vent, les virages, ...)
- ▶ pas effectif de l'hélice pas toujours idéal (déformations, turbulences, ...)
- ▶ etc...

On dimensionne alors le pas par la formule de BOUCHER, avec les précautions suivantes :

- ▶ régime moteur = 5500 tr/min (et non 5875 tr/min)
- ▶ Arrondi au pas d'hélice supérieur

On obtient un pas de 9 pouces, que l'on majore à 9.5 ou 10

6. Vérifier la compatibilité pas d'hélice / vitesse

Il s'agit maintenant de s'assurer que l'avancée théorique de l'hélice est supérieure (mais pas trop !) à la vitesse sur trajectoire du modèle. L'hélice a un pas de 9.5 pouces et tourne à 5500 tours/min. Son avancée vaut donc, en m/s :

$$\text{Avancée} = (\text{régime} / 60) \times \text{pas} \div 0.0254 = 22 \text{ m/s}$$

Comparée à la vitesse sur trajectoire (10 m/s), ce chiffre paraît un peu fort. Que se passera-t-il donc dans la réalité ?

- ▶ la vitesse sur trajectoire sera un peu plus rapide,
- ▶ la vitesse ascensionnelle sera plus forte que celle théoriquement visée.
- ▶ L'hélice "forçant" un peu, la conso augmentera un chouïa
- ▶ Tout ceci sera pondéré par le pas effectif de l'hélice (qui est connu comme plus faible que prévu sur les CFK !), les conditions aérologiques, etc

## 7. Essais

Et oui, l'optimisation finale ne peut se faire que sur le terrain, avec quelques types d'hélices autour des grandeurs estimées. Aucun calcul virtuel ne se substituera à cet ajustement réel.



En conclusion, ce chapitre aura eu au moins 2 intérêts :

- ▶ comprendre un peu les grandeurs en jeu et leurs mécanismes,
- ▶ ne pas acheter tout le stock d'hélices de ton magasin préféré pour mener une campagne d'essais de 8 mois !

NB: en réalité, dès le choix du moteur, le fabricant conseille une hélice. Ca aide de savoir à quel résultat on doit arriver ...

*Sources: Internet*