

L'hélice des avions légers (1)

Le groupe motopropulseur d'un avion est constitué de deux éléments importants : le moteur, bien entendu, mais également l'hélice. Celle-ci a un rôle déterminant dans le rendement de l'ensemble, et doit être parfaitement adaptée à son moteur.

Quelques principes théoriques

Le rendement

L'hélice sert à transformer la puissance mécanique du moteur en puissance utile au vol. Cette puissance utile se manifeste par une force: la poussée. La puissance d'un moteur est égale au couple fois le régime de rotation :

Puissance moteur = Couple * régime

La puissance utile au vol est égale à la poussée fois la vitesse de vol :

$$\text{Puissance Utile (W)} = \text{Poussée} * \text{Vitesse (N * m/s)}$$

Malheureusement, l'hélice ne convertit pas toute la puissance du moteur en puissance utile. Il y a des pertes. Le rendement de l'hélice représente l'efficacité de la conversion :

$$\text{Rendement hélice} = \frac{\text{Puissance utile}}{\text{Puissance moteur}}$$

Calculons un cas pratique. Quel est le rendement d'une hélice transformant 60000 Watt (80 cv) en 1500 Newton (150 Kg) de traction en lors du décollage à 20 m/s (72 km/h) ?

Il faut d'abord calculer la puissance utile au vol :

$$\begin{aligned} \text{Puissance utile} &= \\ \text{Traction} * \text{Vitesse de vol} &= \\ (1500 * 20) &= 30000 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Ensuite le rendement :

$$\begin{aligned} \text{Rendement hélice} &= \\ \frac{\text{puissance utile}}{\text{puissance moteur}} &= \\ (30000 / 60000) &= 0,5 = 50\% \end{aligned}$$

Le rendement de cette hélice est donc de 50%. Cela implique que la moitié de la puissance est perdue. Dans le cas d'une hélice parfaite sans perte, 30000 W de puissance moteur suffirait pour obtenir 1500 N de traction. Le moteur consommerait deux fois moins et serait bien plus léger. C'est dire si le rendement de l'hélice influe sur les performances d'une machine ! Pour



information, les rendements usuels d'hélice vont de 30% à 90%.

Si on veut aller plus loin, on peut découper le rendement hélice en deux, afin d'en séparer les causes. Une première partie des pertes est liée au principe de propulsion dans l'air : c'est le rendement propulsif. Et on représente la deuxième partie des pertes par le rendement de forme, qui rassemble les effets de traînée aérodynamique.

Nous avons donc défini :

$$\text{Rendement Hélice} = \text{Rend. Propulsif} * \text{Rend. de Forme}$$

Le rendement de forme

Le rendement de forme regroupe les effets de la traînée des pales. En effet, une pale fonctionnant comme une aile, elle est aussi soumise à la traînée de frottement et à la traînée induite par la

portance. Afin de réduire ces pertes, il est faut soigner l'aérodynamisme des pales pour réduire les frottements et surtout augmenter le nombre de pales. Car cela répartie la portance entre les pales et donc réduit la traînée induite.

Le rendement propulsif

Le rendement propulsif quant à lui est lié au principe de propulsion par réaction qu'utilise l'hélice. En effet, nos avions, tout comme le Dassault Rafale, se propulsent par réaction, en appliquant un principe observé par Monsieur Newton : Action = Réaction.

Dans notre cas, l'hélice applique une action vers l'arrière sur l'air, et, par réaction, l'air pousse l'hélice vers l'avant. Oui, sauf que comme l'air n'a pas d'appui, l'action de l'hélice sur l'air induit une accélération du flux d'air vers l'arrière. L'effet de l'hélice sur l'air

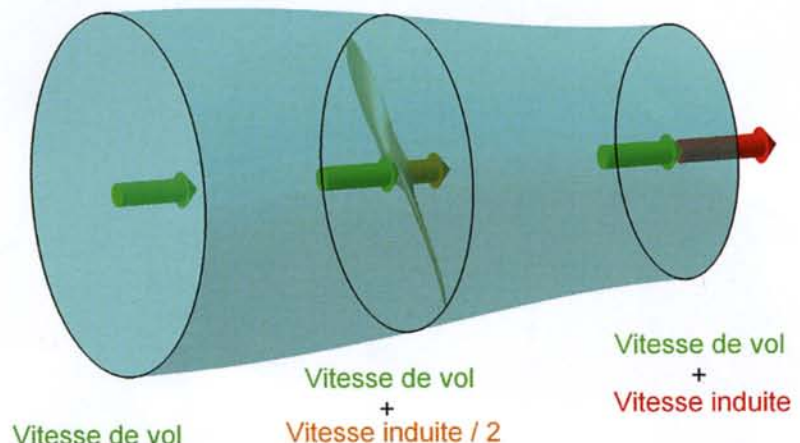


Figure 1

cause donc un souffle induit. Et la mécanique des fluides impose que cette accélération induite de l'air ait lieu pour moitié en amont de l'hélice et pour moitié en aval de l'hélice. Ce qui fait que la vitesse de l'air au moment où elle passe dans le disque d'hélice est égale à la vitesse de vol plus la moitié de la vitesse induite.

La différence entre la vitesse de vol et celle du flux d'air traversant l'hélice est la cause des pertes représentées par le rendement propulsif (Figure 1).

En effet, rappelons-nous que la puissance utile était :

$$\text{Puissance utile} = \text{Force} \cdot \text{Vitesse de vol.}$$

Et la puissance fournie au flux d'air lors de son passage dans le disque sera :

$$\text{Puissance fournie au flux d'air} = \text{Force} \cdot (\text{Vitesse de vol} + \text{Vitesse induite} / 2)$$

Le rendement propulsif s'exprimera donc par :

$$\text{Rendement propulsif} = \frac{\text{Puissance utile}}{\text{Puissance fournie au flux d'air}}$$

$$\text{Soit : } \text{Rendement propulsif} = \frac{\text{Vitesse de vol}}{(\text{Vitesse de vol} + \text{Vitesse induite} / 2)}$$



$$1 + \frac{2}{\sqrt{8 \cdot \text{Traction} + 1}} \cdot \sqrt{\rho \cdot \pi \cdot V^2 \cdot d^2}$$

Cela implique que le rendement propulsif est bon quand la vitesse de vol est beaucoup plus grande que la vitesse du souffle induit par l'hélice. Et de quoi dépend cette vitesse induite ?

Newton a dit :

$$\text{Vitesse induite} = \text{Traction} / \text{Débit massique}$$

Sachant que :

$$\text{Débit massique} = \text{Masse volumique} \cdot \text{Surface disque} \cdot \text{Vitesse flux au passage du disque}$$

Avec :

$$\text{Vitesse flux au passage du disque} = \text{Vitesse de vol} + \text{Vitesse induite} / 2$$

Cela donne :

$$\text{Vitesse induite} = \frac{\text{Traction}}{(\text{Masse volumique} \cdot \text{Surface disque} \cdot (\text{Vitesse de vol} + \text{Vitesse induite} / 2))}$$

Donc pour avoir une petite vitesse induite, afin que le rendement propulsif soit bon, il faut soit du diamètre afin que la surface du disque d'hélice soit grande, soit voler vite ».

Exemples pratiques

Maintenant que nous avons vu les causes de perte de rendement, comparons quelques hélices. Nous prendrons comme référence une hélice bipale de 1,7 m, absorbant 60 kW à 2500 tr/min en configuration montée à 30 m/s (108 km/h). Le rendement de cette hélice est de 64,9%.

Le tableau 1 ci-dessous montre que l'augmentation du diamètre est favorable au rendement, par l'amélioration du rendement propulsif. Il fait aussi apparaître qu'ajouter des pales permet d'augmenter le rendement, via le gain de rendement de forme.

Choix du matériau

Les hélices peuvent être réalisées en aluminium, en bois ou en matériaux composites. Les avantages du bois sont la résistance à la fatigue liée aux efforts cycliques d'un moteur en prise directe, ainsi que la possibilité pour l'hélice d'être fabriquée sur-mesure spécifiquement pour une motorisation et un appareil donnés. L'aluminium

Diamètre (cm)	150	170	190
Ecart relatif bipale	-5,5%	référence	+4%
Ecart relatif tripale	-1,7%	+3,1%	+6,5%
Ecart relatif quadripale	+0,5%	+4,8%	+7,9%

Tableau 1



est résistant mais très lourd. Les propriétés mécaniques des matériaux composites sont bien adaptées aux contraintes spécifiques de l'hélice, mais surtout les processus de fabrication permettent la production en série à des coûts intéressants.

Nuisances sonores

Les essais que nous avons menés sur des moteurs électriques très silencieux nous ont permis de montrer que l'hélice peut représenter jusqu'à 70% du bruit généré par le groupe motopropulseur. Des recherches sur les nuisances sonores des hélices sont menées par tous les fabricants sérieux, ainsi que par des organismes d'État comme l'ONERA.

Il n'est actuellement pas significatif de modéliser le bruit d'une hélice : seuls des essais comparatifs de différents modèles sur le même appareil dans exactement les mêmes conditions peuvent indiquer des gains de bruit.

Le choix d'une hélice parfaitement adaptée au moteur pour un avion défini va permettre d'obtenir le meilleur rendement possible, afin de disposer du maximum de traction pour décoller facilement et d'avoir une pente de montée sécurisante, et afin également de consommer moins et de limiter les nuisances sonores. Une hélice appropriée va en outre réduire les vibrations du groupe motopropulseur, et assurer la plus grande longévité possible au moteur.

Dans un prochain article, nous évoquerons la problématique de l'adaptation moteur – hélice.

Jérémie BUIATTI
Responsable Bureau d'Études
Hélices E-PROPS
www.e-props.fr