PROPULSION : UN PEU DE THEORIE

Pour comprendre le fonctionnement d'une hélice, il est plus simple de partir de l'écoulement global en lui appliquant les lois issues de la physique expérimentale, afin d'essayer de ne pas masquer un phénomène simple derrière plusieurs équations trigonométriques.

Tout d'abord, la troisième loi de Newton (ou principe des actions réciproques) indique que :
"*Tout corps A exerçant une force sur un corps B subit une force d'intensité égale, de même direction mais de sens opposé, exercée par le corps B*".

Cette loi se résume par le principe : " Action = Réaction".

Ceci signifie que si l'on souhaite que notre hélice "A" profite d'une force vers l'avant, il va falloir qu'en retour elle applique sur "B" une force vers l'arrière. Dans le cas de la propulsion aérienne, il n'y a qu'un "B" possible : c'est l'air traversant le disque balayé par les pales.

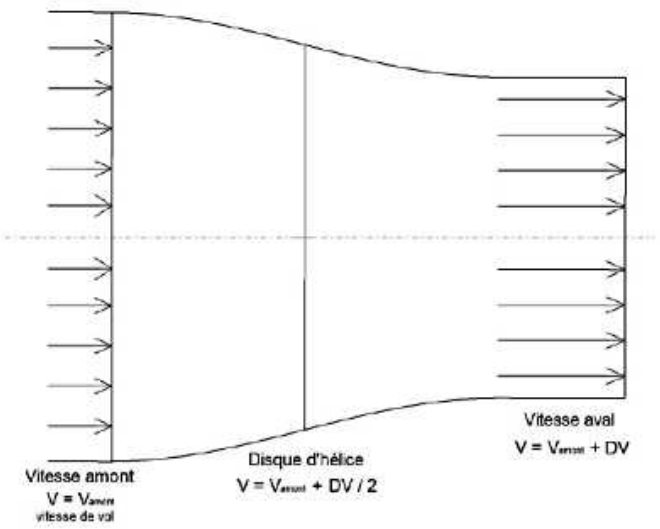
Il s'agit en fait non d'une masse proprement dite, mais d'un débit massique, produit de la surface du disque d'hélice, de la vitesse et du flux et de la masse volumique.

Pour appliquer une force sur le débit massique d'air, les pales se comportent comme des ailes. Leur profil aérodynamique leur permet d'appliquer des efforts de portance sur le flux d'air. L'hélice applique donc une force sur un flux d'air, ce qui a pour conséquent de modifier la vitesse du flux d'air.

La différence de vitesse entre l'amont de l'hélice et l'aval se calcule ainsi :
Différence Vitesse (amont/aval) = Traction / Débit Massique
DV = T / dm

Équation issue de la 2ème Loi de Newton F = d(m.v)/dt

Cette variation de vitesse induite par la traction s'applique pour moitié en amont de l'hélice et pour moitié en aval (comme le démontre la relation de Froude).



Le débit massique du flux d'air dans lequel travaille l'hélice est donc : Dm = mvo x Sdisque x (Vvol + DV/2)
Où :
- mvo = masse volumique du fluide (kg/m^3)
- Sdisque = surface du disque balayer par l'hélice (m²)
- Vvol = vitesse de vol

On a donc un système d'équation permettant de calculer la différence entre la vitesse en amont de l'hélice et la vitesse en aval, ainsi que le débit massique. Si l'on fait quelques calculs de puissance autour du fonctionnement de notre hélice, on obtient :
- la puissance utile fournie par l'hélice à l'avion : Pu = Traction x Vvol
- la puissance absorbée par le phénomène propulsif : Pa = Traction x (Vvol + DV/2)

Ce qui donne le rendement propulsif : rp = Pu / Pa

=> Le rendement propulsif fixe une limite absolue vers laquelle toute conception d'hélice devrait tendre

Comme le rendement propulsif fixe la limite supérieure de rendement d'une hélice, le choix d'une hélice de petit diamètre par le concepteur d'un aéronef aboutira à de piètres performances. Ceci est d'autant plus vrai que la vitesse de vol sera faible.

Si le nombre de pales peut permettre de réduire la perte de performance (nous verrons comment un peu plus loin), cela ne permet en aucun cas de retrouver les performances d'un diamètre adapté.

Si le concepteur d'hélices ne peut pas outrepasser les pertes liées au phénomène propulsif, il doit cependant ne pas les dégrader par une mauvaise répartition de la traction sur le disque d'hélice. Et doit donc choisir une répartition de pas, de corde et de profil permettant une répartition de charge optimum.

Malheureusement, il existe d'autres sources de perte énergétique : les pertes liées à la traînée des pales.
En effet, les pales se comportent comme des ailes et génèrent portance et traînée. Cette traînée se décompose en deux parties : la traînée de frottement et la traînée induite par la portance.

A/ La traînée de frottement sur les profils de la pale

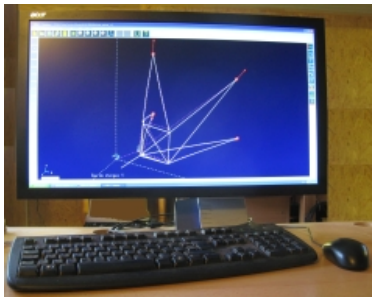
Elle est définie ainsi :
Traînée = 0.5 x mvo x S x CX x V^2

Le cas de la pale est plus complexe que celui de l'aile, car la vitesse est variable :
- au pied de pale :
Vitesse faible et corde petite donnent un nombre de Reynolds ridicule dégradant beaucoup les caractéristiques du profil (CX important et CZ max faible).
- en bout de pale :
Vitesse très grande et corde très petite, le nombre de Reynolds reste petit.
Mais la vitesse étant proche de celle du son, le nombre de Mach est important.

Le Mach important dégrade les caractéristiques du profil. Un petit défaut de courbure, d'incidence, et une zone d'écoulement risque de passer supersonique, générant du bruit et dégradant les performances.

B/ La traînée induite par la portance

L'aile a une envergure finie, et par conséquent la portance s'accompagne de traînée induite.
La modélisation de cette traînée induite est délicate, car, contrairement au cas de l'aile, la vitesse est variable le long de la pale.

Pour ce point précis, les chercheurs d'E-PROPS n'ont pas trouvé pas de méthode satisfaisante dans les publications spécialisées ni auprès de laboratoires. L'équipe a donc développé une méthode de calcul originale et efficace, mais un peu gourmande en calcul. Les calculs itératifs de définition des effets induits pour les pales représentent 90% du temps de calcul nécessaire à la modélisation complète de l'écoulement.

Nous avons vu ici en quelques mots quelles étaient les causes de perte énergétique de la propulsion par hélice, sans toutefois entrer dans les détails trigonométriques de la chose : ces détails ne représentent un réel intérêt que pour l'hélicier.