

Calcul pratique des coefficients de trainée d'un avion léger.

Suivant notre ressenti personnel, nous pouvons considérer que les performances de nos avions sont excellentes, médiocres ou même catastrophiques, ou bien préférer un avion à un autre, mais en fait ce n'est qu'un ressenti.

Pour comparer réellement des performances, il faut avoir des valeurs chiffrées de grandeurs significatives.

Nous en avons déjà quelques-unes :

- Des masses : la masse à vide, la masse maximale au décollage et la charge utile.
- La vitesse et la consommation horaire en croisière,
- La vitesse et le taux de montée.

Prenons un exemple : Nous voulons comparer deux avions triplaces à train tricycle.

- Leurs masses lors de l'essai sont identiques : 900 kg
- Les vitesses de croisière sont de 210 km/h pour le premier et 240 km/h pour le deuxième.
- Les consommations en croisière sont de 32 l/h pour le premier et 36 l/h pour le deuxième.
- Les taux de montée continue en dessous de 2000 ft sont respectivement de 800 et 1000 ft/min.

Comme la consommation horaire le laisse supposer le premier avion est moins puissant (160 HP) que le second (180 HP). Il ne semble donc pas anormal que la vitesse de croisière du premier soit plus faible que celle du second.

Si on calcule la consommation à la distance, on trouve une valeur un peu plus élevée pour le premier (15,2 l/100 km) que pour le second qui est plus rapide (15,0 l/100 km) ... Mais l'écart (à peine plus de 1%) ne semble pas nécessairement significatif...

Les grandeurs dont dispose le pilote sont utiles pour exploiter l'avion, mais ne suffisent pas à le comparer à un autre. Il nous faut évaluer ce qui conditionne une grande part des performances : la trainée.

Par définition, la trainée, c'est la force aérodynamique colinéaire à la vitesse de l'avion et de sens opposé. C'est donc la force qui tend à ralentir l'avion, et qui est exactement compensée par la traction (ou la poussée) du groupe motopropulseur quand l'avion est en vol rectiligne horizontal stabilisé.

Mesurer la traction (ou la poussée) du groupe motopropulseur à la vitesse de croisière revient donc à mesurer la trainée. Le problème, c'est que nos avions ne disposent pas de moyen de mesurer directement cette traction (ou cette poussée).

Le produit scalaire de la traction de l'hélice et de la vitesse de vol est une puissance. C'est la puissance utile, qui peut également être exprimée comme le produit de la puissance produite par le moteur et du rendement de l'hélice. La traction utile de l'hélice, équivalente à la trainée de l'avion et colinéaire avec la vitesse, peut donc être calculée en multipliant la puissance délivrée par le moteur par le rendement de l'hélice et en divisant le résultat par la vitesse de vol.

Le problème, c'est que si on connaît la vitesse de vol et le rendement hélice avec une précision suffisante, il est beaucoup plus difficile de connaître réellement la puissance délivrée par le moteur en l'absence d'un indicateur fiable de pression d'admission, capteur dont beaucoup d'avions légers ne sont pas équipés.

Or la puissance du moteur peut être exprimée comme le produit du débit de carburant multiplié par la capacité calorifique du carburant. Si nos avions sont rarement équipés de débitmètres précis, nous connaissons assez précisément la consommation horaire en croisière.

Il est donc possible de calculer la trainée de l'avion en croisière à partir des informations disponibles suivantes :

- La consommation horaire en croisière,
- La capacité calorifique du carburant,
- Le rendement moteur,
- Le rendement hélice,
- La vitesse de vol en croisière.

La connaissance de la traînée en croisière est-elle suffisante pour comparer deux avions ?

Malheureusement non, parce qu'il faudrait que la vitesse de croisière des deux avions soit identique, ce qui est rarement le cas. Il faut donc détailler la traînée sous ses différentes composantes.

La traînée d'un avion se compose essentiellement de deux parties qui varient différemment en fonction de la vitesse.

Avec une approche simplificatrice, on peut séparer la traînée en deux groupes de traînées de sources diverses qui évoluent différemment en fonction de la vitesse.

- Le premier groupe qui comprend la traînée de frottement, la traînée de profil, la traînée d'interaction et la traînée de refroidissement, varie comme le carré de la vitesse.
- Le deuxième groupe, composé uniquement de la traînée induite par la portance, varie **comme l'inverse** du carré de la vitesse.

On peut donc écrire l'équation de la traînée en fonction de la vitesse sous la forme :

$$T(V) = AV^2 + \frac{B}{V^2}$$

Aux vitesses élevées, comme par exemple en croisière rapide, le premier groupe de sources de traînée qui constitue la plus grande part de la traînée. Par contre, aux très faibles vitesses, c'est la traînée induite par la portance constitue la plus grande part de la traînée

Entre ces deux cas, la courbe de traînée en fonction de la vitesse passe par un minimum où les deux groupes contribuent à part égales à la traînée totale. La vitesse de ce minimum est la vitesse de finesse maximale (V_f). On peut donc écrire :

$$A(V_f)^2 = \frac{B}{(V_f)^2}$$

Ou encore :

$$B = A(V_f)^4$$

En remplaçant la constante (B) dans l'équation générale, on obtient :

$$T(V) = A \left[V^2 + \frac{(V_f)^4}{V^2} \right]$$

Or la constante (A) peut elle-même s'exprimer comme :

$$A = \frac{1}{2} \rho S C_x$$

Où ($S C_x$) est la section frontale qui aurait la même traînée que la somme des traînées du premier groupe. Et donc ($S C_x$) s'exprime sous la forme :

$$S C_x = \frac{2T(V)}{\rho \left[V^2 + \frac{(V_f)^4}{V^2} \right]}$$

Il suffit donc de connaître la valeur de la vitesse de finesse maximale, et la traînée totale à une vitesse donnée connue pour calculer (**SCx**). *Il est cependant à noter que la valeur de (**SCx**) dépend de l'incidence et qu'il vaut mieux le calculer pour une plage d'usage où l'incidence varie peu par rapport à la mesure de référence.*

Reprenons notre exemple de comparaison des deux triplaces, avec les mêmes hypothèses suivantes pour les deux avions :

- Rendement moteur 27%, valeur correcte pour un Lycoming correctement mixturé,
- Rendement hélice 80%, valeur moyenne pour des hélices d'avions légers,
- Vitesse de finesse max 140 km/h, valeur moyenne pour les avions légers, (pour un ULM moderne, c'est plutôt 120 km/h)

Le calcul donne 0,449 m² pour le premier triplace et 0,363 m² pour le second, soit environ 20% de moins.

Là l'écart est notable, ce qui montre que comparer le (**SCx**) de deux avions, qui sont chacun à leur régime de croisière, est bien plus significatif que de comparer d'autres paramètres.

Sur la base de ces chiffres, quelle serait la vitesse de ces avions s'ils échangeaient leurs groupes motopropulseurs ?

- Le premier avion avec le moteur de 180 HP volerait à 220,6 km/h au lieu de 210 km/h, pour une consommation de 16,32 l/100 km au lieu de 15,2 l/100 km.
- Le deuxième avion avec le moteur de 160 HP volerait à 229,2 km/h au lieu de 240 km/h, pour une consommation de 13,96 l/100 km au lieu de 15,0 l/100 km.

Ce calcul montre que :

- Une traînée excessive est moins frappante sur un avion peu motorisé que sur un avion plus puissant.
- Sur-motoriser un avion qui a une forte traînée ne fait pas gagner beaucoup de vitesse, et que ce gain se fait au détriment de la consommation et de la distance franchissable.
- Réduire la puissance d'un avion qui a une traînée plus réduite ne lui fait pas perdre beaucoup de vitesse, mais améliore notablement la consommation et donc la distance franchissable.

Le fichier Excel joint est une calculatrice qui permet de faire les calculs ci-dessus.

Faire varier les paramètres est assez instructif...