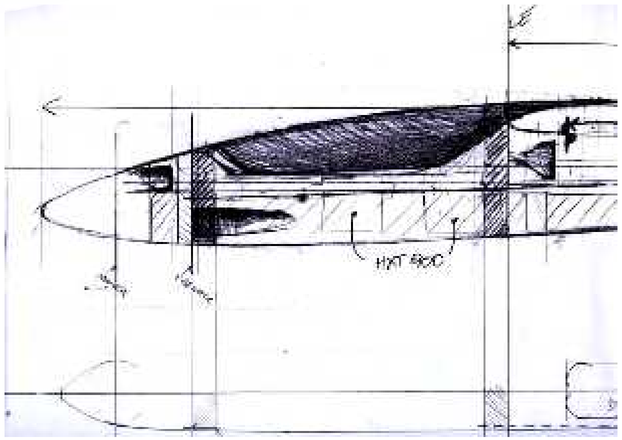
NOTIONS AERONAUTIQUES

CH 03-11: Force & Puissance



V01
21/09/2016

⚠ AVERTISSEMENT ⚠

Ceci n'est pas un cours académique et ne peut pas servir en tant que tel.

Ceci est une approche simplifiée d'une discipline regroupant plusieurs branches: aérodynamique, mécanique du vol, aéromodélisme, etc.

Certains résultats découlent d'une modélisation donnée (hypothèses). Généraliser les résultats en dehors de leur cadre peut conduire à des interprétations erronées.

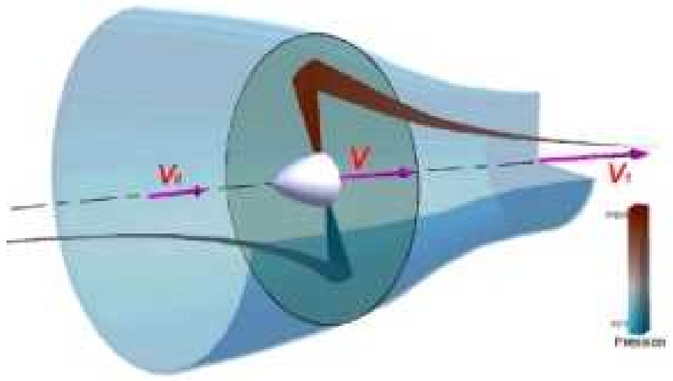
Certaines assertions reflètent l'interprétation de l'auteur. Le lecteur doit prendre du recul et les soumettre à son sens critique.

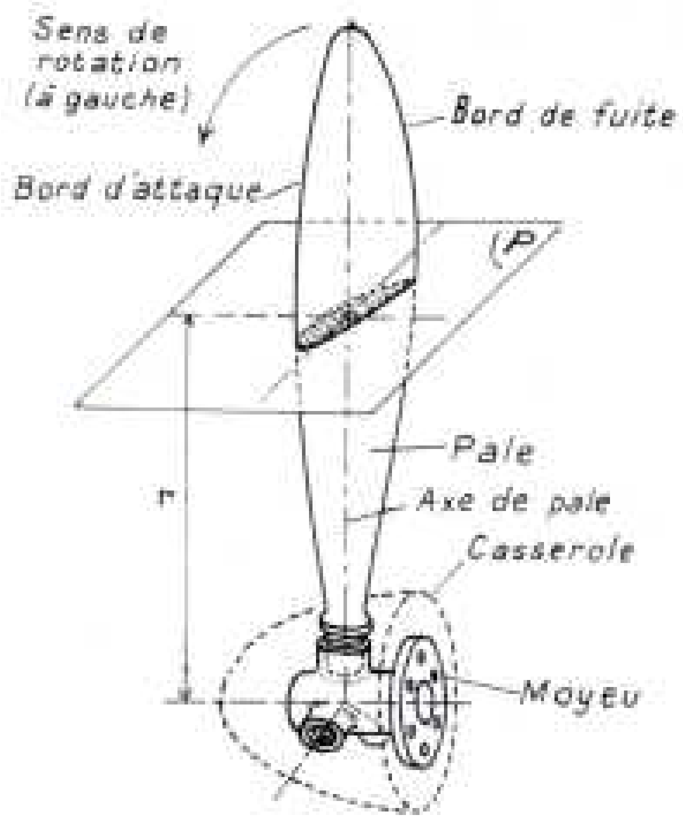
Sommaire:

- **Introduction**
- Modèle mécanique
- Formule du Boucher
- Modèle Aérodynamique
- Annexes

Introduction

- Maintenant qu'on a une bonne idée sur les notions de bases liées au fonctionnement de l'hélice, on doit s'attaquer au calcul de la poussée (ou traction) et la puissance.





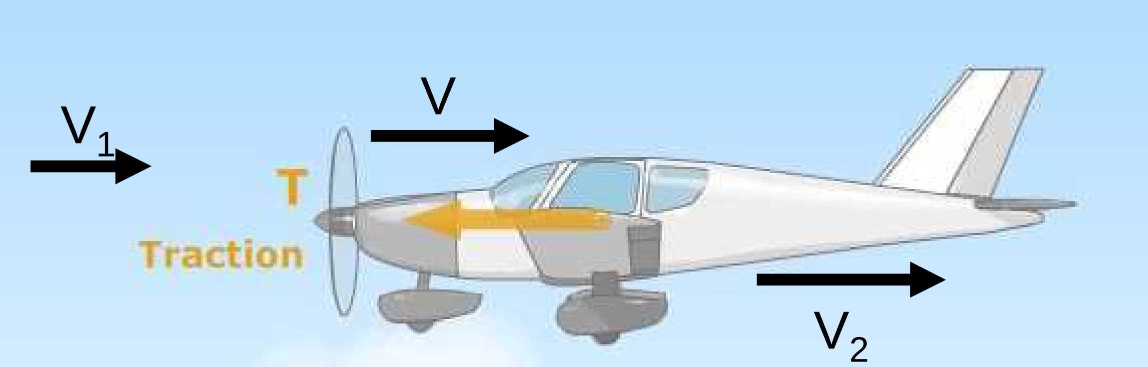
Notre but étant d'avoir les outils nécessaires pour « le choix » d'une hélice adaptée à notre modèle réduit.

Sommaire:

- Introduction
- **Modèle mécanique**
- Formule du Boucher
- Modèle Aérodynamique
- Annexes

Expression de la Force

- Nous avons déjà vu dans le chapitre précédent que la force F (traction si l'hélice est à l'avant, propulsion si elle est en arrière) est de la forme suivante:



$$F = \rho S V (V_2 - V_1)$$

V1: vitesse en amont(vitesse avion),
V: vitesse de l'écoulement au niveau de l'hélice
V2: vitesse en aval.

- Nous avons déjà vu que si on pose w le gain de vitesse entre l'amont et l'avale, alors on a:

$$w = V_2 - V_1$$

$$V = V_1 + w/2$$

$$V_2 = V + w/2$$

- L'écoulement gagne un w/2 au niveau de l'hélice et w/2 en aval: on trouve un total de w.

Expression de la Force

- A l'aide des relations précédentes, on peut écrire:

$$F = \rho S(V_1 + w/2)w \quad (1)$$

V1: vitesse en amont(vitesse avion),
w: vitesse gagnée par l'écoulement en aval.

- La vitesse w est relativement faible. Elle est de l'ordre de quelques pourcent de la vitesse amont V_1. On parle *d'hélice faiblement chargée*.
- On peut écrire au premier ordre:

$$F \approx \rho S w V_1 \quad (2)$$

- La puissance cédée au fluide: $P_h = FV = F\,(V1 + w/2)$ (3)
- La puissance utile: $P_u = FV_1$ (4)
- Le rendement propulsif (Eq3 & 4): $\eta = \dfrac{V_1}{V_1 + w/2}$ (5)

Relation Force / Puissance

- Pour préparer le terrain à la question ultime « choisir son hélice » on va établir « un modèle » pour lier la force fournie par l'hélice à la puissance fournie à cette hélice:

$$F \approx \rho S w V_1 \quad (2)$$

$$\eta = \frac{V_1}{V_1 + w/2} \quad (5)$$

$$P_u = F V_1 \quad (4)$$

$$F \approx \rho S V_1^2 2(1/\eta - 1) \quad (6)$$

$$P_u^2 = F^2 V_1^2 \quad (4')$$

$$F^3 \approx \eta^2 \frac{\rho}{2} \pi D^2 \left(\frac{1}{\eta} - 1\right) P_u^2 \quad (7)$$

- Cette formule peut s'écrire (avec un rendement de 0.6, et une masse volumique de 1.2):

$$F = 0.6 * (0.6 * \pi * D^2 * P_h^2)^{1/3} \quad (8)$$

Sommaire:

Formule « BOUCHER »

- Cette formule est intéressante car elle permet de donner la puissance en fonction des caractéristiques de l'hélice (D,P) et son régime.

- La puissance en fonction du pas P et du diamètre D les deux en pouces et le régime en tour/min.

$$Ph=K_p.P/12.(D/12)^4.(R/1000)^3$$

Coefficient Kp:

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
Hélice APC , K=1.11

- On peut la transformer:

$$P_h=1.9.10^{-7}\ D^4P_an^3N_pK_p$$

D étant le diamètre en m

Pa le pas en m

n le nombre de tours/min(Rpm),

N_p un coefficient qui vaut 2 pour une bipale(*)

K_p un coefficient qui dépend de l' hélice

(*) N_p est 3.2 pour tripale, 4.4 pour une quadripale)

Sommaire:

- Introduction
- Modèle mécanique
- Formule du Boucher

- **Modèle Aérodynamique**
- Annexes

Modèle aérodynamique

- Nous avons déjà vu que l'hélice est « une aile » en rotation.

- On va alors essayer de fixer des paramètres sans dimension pour caractériser la force et la puissance* de l'hélice:
  - Ct (coefficient de traction),
  - Cp (Coefficient de pression)
- On a alors:

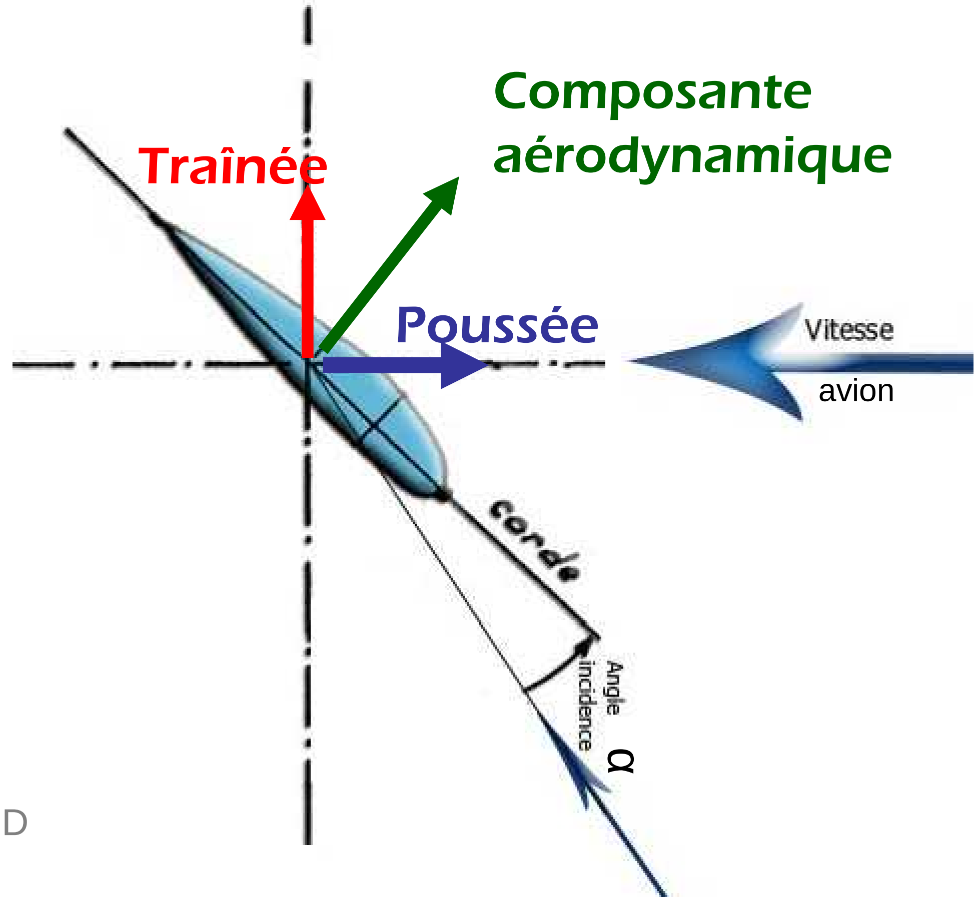
$$F = \rho C_T D^4 N^2$$

$$P_h = \rho C_p D^5 N^3$$

- Le rendement:

$$\eta = \frac{C_T}{C_p} A_v$$

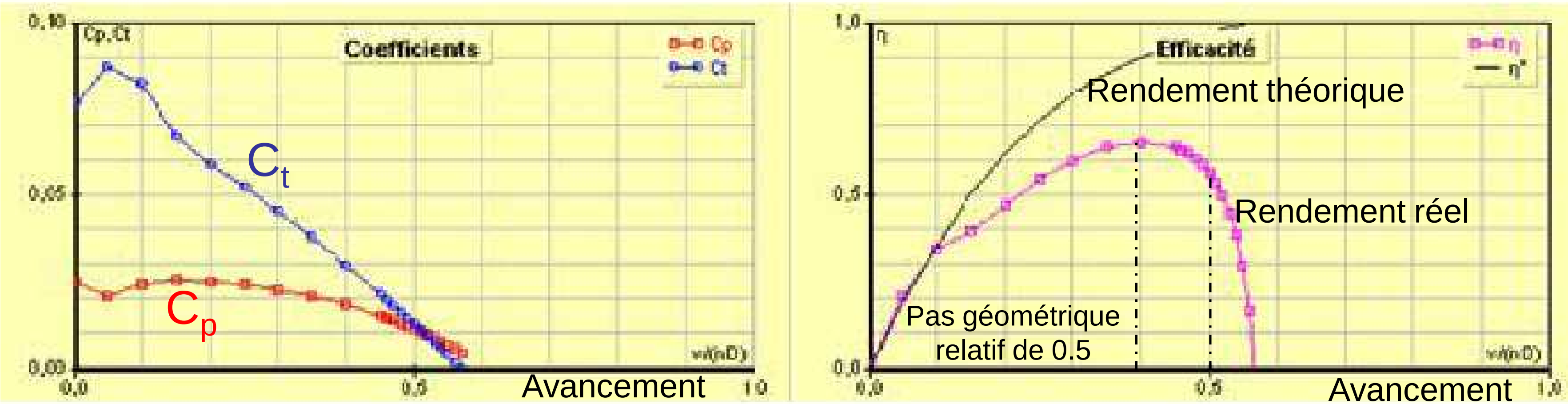
A_v: l'avancement V_1/ND



(*) **Attention:** la puissance en question est celle absorbée par l'hélice pour tourner, même si l'avion n'avance pas.

Modèle aérodynamique

- Comme dans le cas d'un profil, il existe des « souffleries » numériques pour étudier les hélices.
- Mais, comme il est difficile de fixer un « angle » d'attaque, alors on a recours à l'avancement A_v pour l'étude.
- On trace les courbes C_p, C_t et η (rendement) pour divers pas géométriques relatifs: 0.5, 0.63 et 0.9.
- Voici un exemple d'étude pour une hélice 11''x5.5''(*).

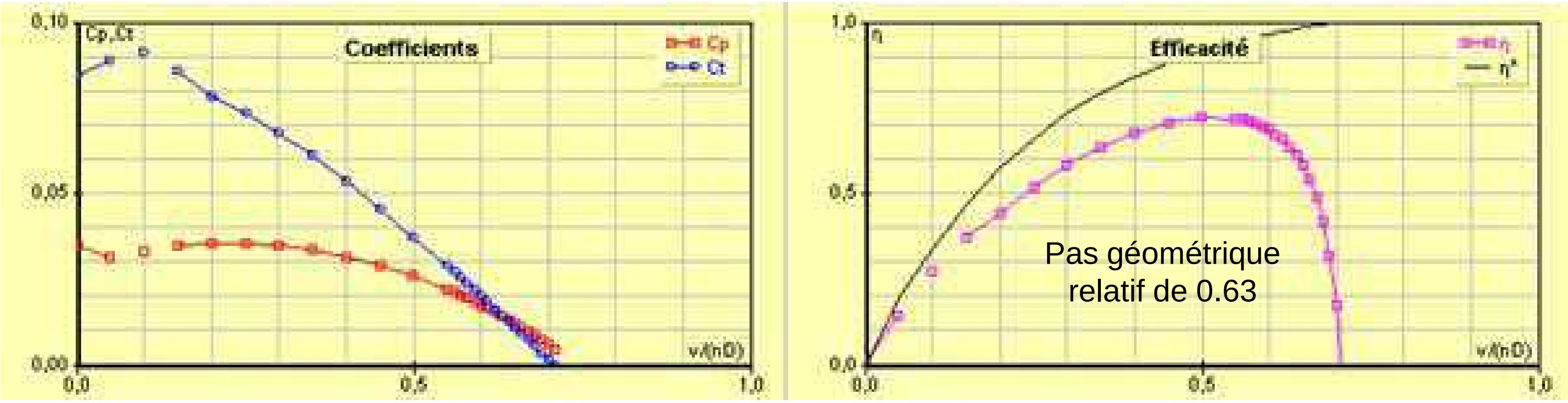


- Le rendement part de 0 (vitesse nulle), passe par un max (0.8 $P_{\text{géo relatif}}$) commence une chute à partir du $P_{\text{géo relatif}}$), s'annule au niveau de ce qu'on va appeler: *Pas réel*.

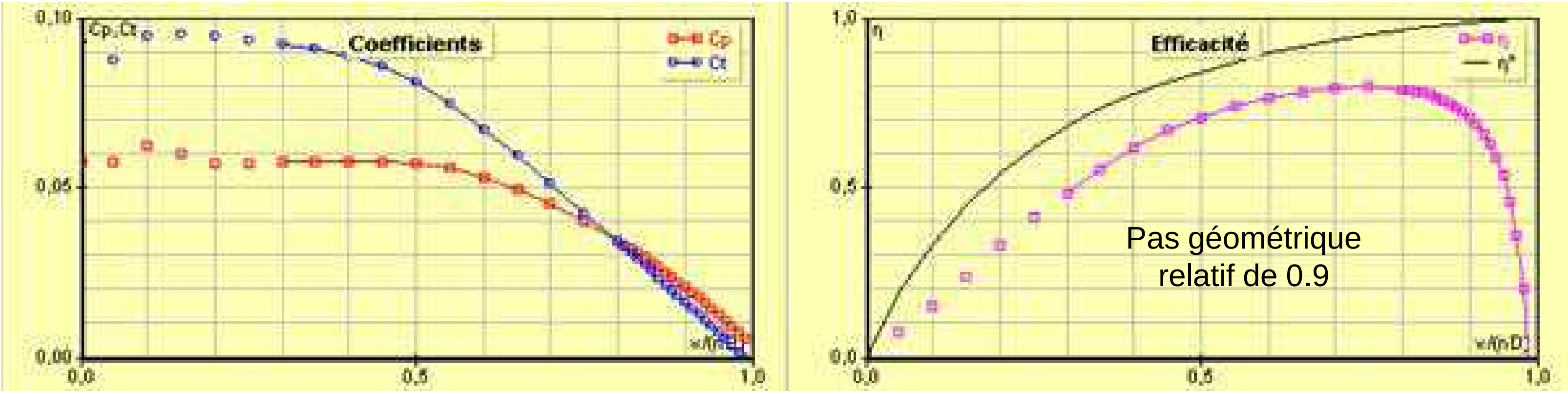
(*) la tradition fait que les hélices sont exprimée en pouce.

Exemple:

- Constat similaire*.



courbes caractéristiques d'une hélice bipale 11"x7"

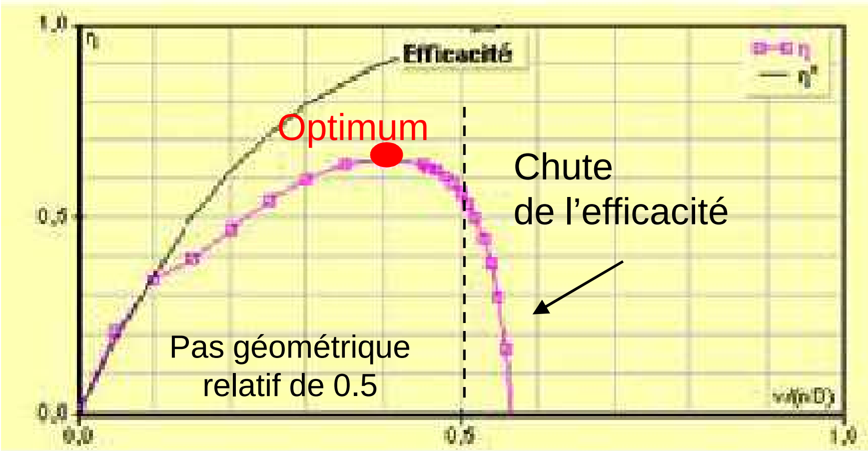


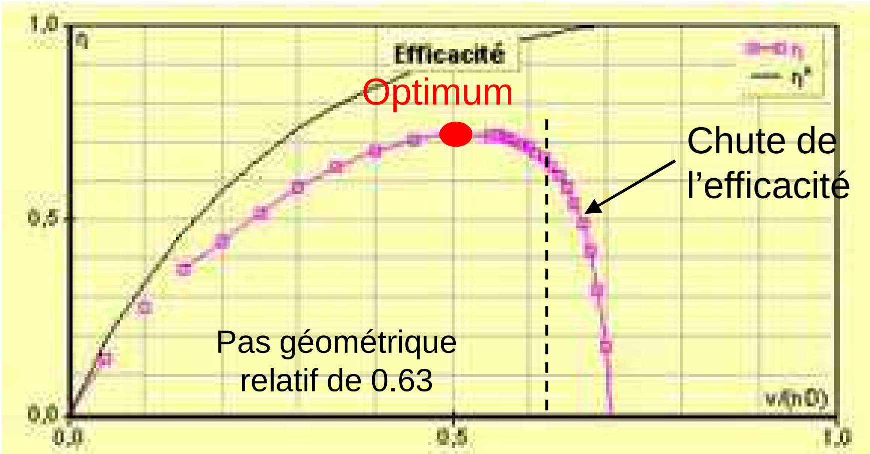
courbes caractéristiques d'une hélice bipale 11"x10"

(*) Site: calculer son modèle réduit

Point de fonctionnement

- Le point de fonctionnement correspond à la la zone du rendement max.





- Pour un même pas, plus le diamètre est important, plus le rendement est meilleur.

Remarque

- Le rendement s'améliore avec le diamètre: on passe de 0.65 à 0.72 puis 0.8.
- Un diamètre important nous rappelle qu'il est plus « rentable » de déplacer beaucoup de masse avec un peu de sur-vitesse, que l'inverse!
- On remarque aussi que pour un ND constant: Si le $P_{géo\ relatif}$ augmente, la vitesse (au point de fonctionnement) augmente.
  - Un $P_{géo\ relatif}$ important est idéal pour les Racers (avion de vitesse)
  - Un $P_{géo\ relatif}$ faible est idéal pour les trainers ou les phases de décollages.

Une hélice à pas fixe, c'est comme un vélo sans dérailleur. Il ne sera optimum que pour une phase.
Une hélice à pas variable, sera comme un dérailleur qui va permettre d'utiliser au mieux la puissance disponible (efficacité max).

Pas Réel

- Le Pas Réel, est le pas pour lequel la traction s'effondre.
- Comme on vient de voir, il est légèrement supérieur au pas géométrique.
- Le pas réel est plus intéressant que la pas géométrique.
- Mais les fabricant ne donnent que le pas géométrique.
- Dans le livre de Franck Aguerre, on trouve une estimation du pas réel:

$$P_{réel} = 0.85 P_{géo} + 0.2\ D$$

→ ***sans unité ça donne:*** $P_{réel\ eff} = 0.85\ P_{géo\ Eff} + 0.2$

Exemple: Une hélice de 9''x4.7'' a:
- un pas géométrique relatif de 0.52
- et un pas réel de 0.64

V pitch

- Le *Pas Réel*, va nous donner la vitesse max que ne peut dépasser l'avion (par ses propres moyens):

$$V_{pitch} = N.\, P_{réel}$$

- C'est supérieur au vent d'hélice qui est relatif au pas géométrique.

Effectif	Géométrique	Limite
$P_{eff} = \dfrac{V}{N}$	$P_{géo} = \dfrac{V_{ent\ d'hélice}}{N}$	$P_{réel} = 0.85 P_{géo} + 0.2\ D$
$A_v = \dfrac{V}{ND}$	$P_{géo\ relatif} = \dfrac{V_{ent\ d'hélice}}{ND}$	$P_{réel\ eff} = 0.85\ P_{géo\ Eff} + 0.2$

$$\boxed{V = (1-R)\ V_{ent\ hélice}}$$

$$\boxed{V_{pitch} = V_{ent\ hélice}\ (0.85 + 0.2/P_{géo\ relatif})}$$

V pitch

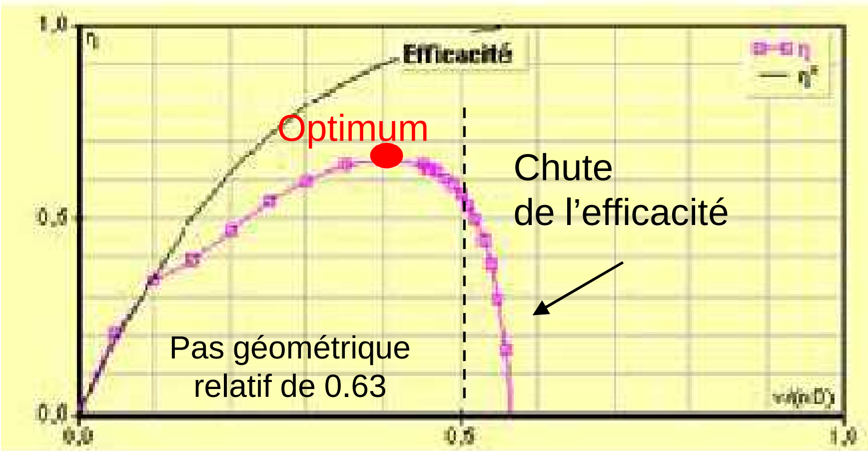
$$V = (1-R)\,V_{\text{ent hélice}}$$

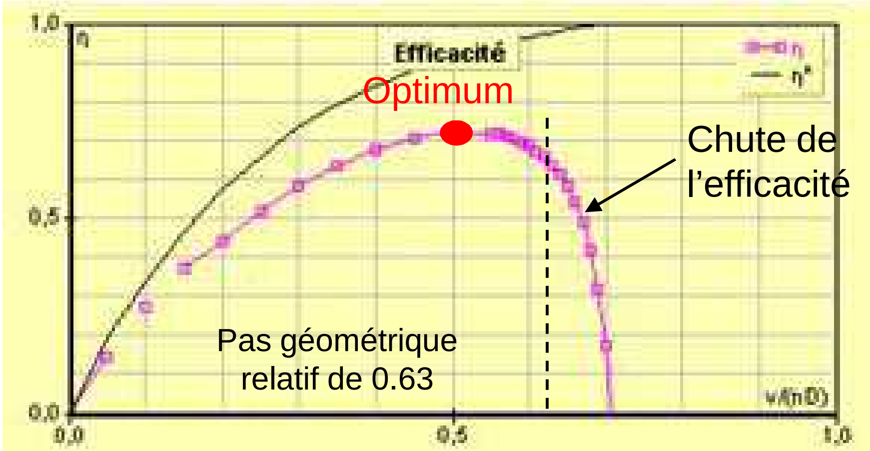
$$V_{pitch} = V_{\text{ent hélice}}\,(0.85 + 0.2/P_{\text{géo relatif}})$$

- Si on vole au mieux à $V_{\text{hélice}}$, on est au-dessous de V_{pitch}:
- Au-dessus, le rendement plonge et on va gaspiller de la puissance (énergie=temps de vol/argent).
- Un optimum sera un R de 20%.

Pgéo relatif	Vpitch/Vhélice
0.5	125%
0.6	118%
0.7	114%
0.8	110%
0.9	107%

$$A_v\,(\text{optimum}) = 0.8P_{\text{géo ef}}$$





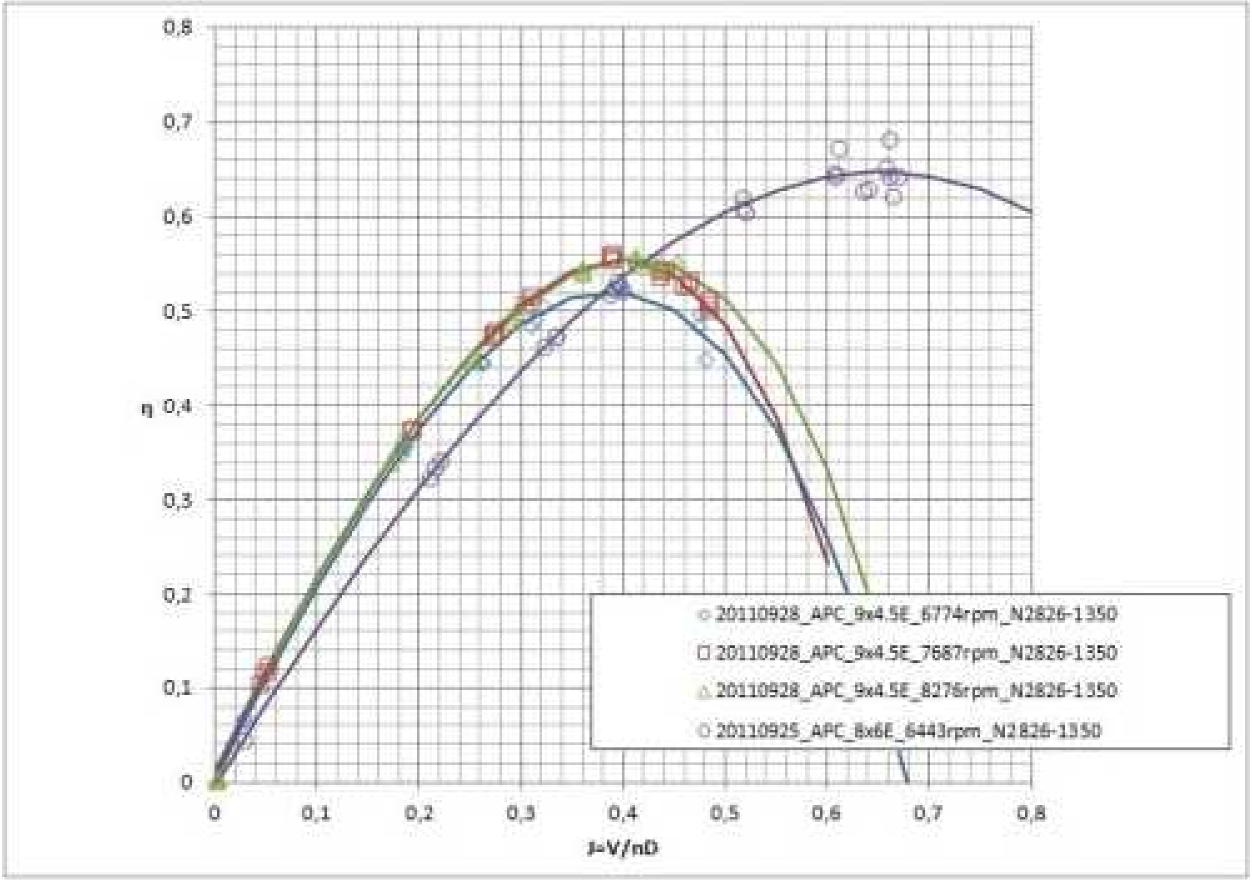
Sommaire:

- Introduction
- Modèle mécanique
- Formule du Boucher
- Modèle Aérodynamique

Annexes

Nombre de Reynolds

- A noter aussi que la variation du Nb de Reynolds, modifie l'étude aérodynamique (Ct, Cp)



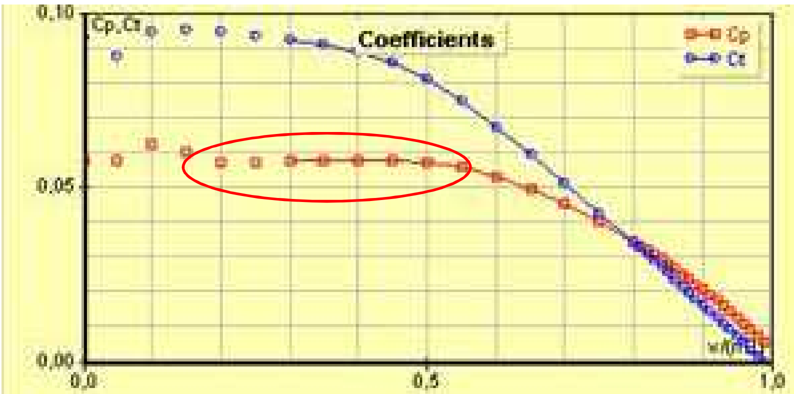
Remarque

- Si on met côte à côte les deux expressions de la puissance, on comprend le raisonnement suivi dans la formule du BOUCHER:

Expression aéro: $P_h = \rho C_p D^5 N^3$

Expression du BOUCHER (unité SI): $P_h = 41.10^{-3} D^4 P_a N^3 N_p K_p$

On en déduit que (bipale): $Cp = 0.067 \; P_{géo\ re} \; K_p$



On table sur un Cp presque constant au voisinage du point de fonctionnement. Le coefficient Kp permet d'ajuster la formule.