

Etude de l'influence du diamètre et de la profondeur sur la finesse d'un kite

2024 - Romain LAMBERT

Résumé

Ce bureau d'étude a pour sujet l'étude de l'influence du **diamètre** (diameter) et de la **cambrure** (depth) sur la finesse d'un kite. L'objectif final étant de déterminer un couple (t,k) = (diameter, depth) qui serve de référence pour le dimensionnement des kites. Aussi, cette étude permet d'évaluer la sensibilité de la **VSM** sous la théorie 2D de la **regression de Breukels** à ces deux paramètres.

I. LA THÉORIE

A. Regresion de Breukels : théorie 2D

Si la VSM permet d'étudier l'aérodynamique 3D d'un kite, elle requiert le calcul des coefficients 2D de chaque section (C_L , C_D , C_M). Afin de limiter le coût de calcul et de se baser sur des polaires adaptées à des profils "non conventionnels", la VSM utilise une formule de regression de Breukels. Cette formule est issue de résultats obtenus sur des profils typiques de kites à boudin, et ne dépend que du diamètre du boudin et de la cambrure du profil.

$$C_L = \lambda_5 \alpha^3 + \lambda_6 \alpha^2 + \lambda_7 \alpha + \lambda_8 \quad (1)$$

avec :

$$\lambda_i = S_x k + S_y \quad (2)$$

et :

$$S_i = C_x t^2 + C_y t + C_z \quad (3)$$

où les 23 coefficients C_x sont prédéterminés, et (t,k) est le couple (diamètre, cambrure) définit tel que :

$$t = \frac{Diamtre_{BA}}{Corde}; k = \frac{max(CoordonesExtrados)}{Corde} \quad (4)$$

Ainsi, l'obtention ds coefficients 2D permet ensuite à la VSM d'ajouter l'indluence des effets 3D (loi de corde, d'envergure, de voute...) sur les coefficients aérodynamique d'un kite

II. LE CODE

A. Le cas d'étude - 2D

On étudie dans un premier temps La fonction de Breukels pour en chercher les optimum. On utilise pour ce faire un code d'optimisation fournit par la bibliothèque **aerosandbox** et on se place dans deux cas d'optimisation :

- Maximum de $\frac{C_L(\alpha)}{C_D(\alpha)}$ à angle α fixé
- Maximum de $\sum_{\alpha=0}^{21} \frac{C_L(\alpha)}{C_D(\alpha)} \text{Gaussienne}(\alpha, center, sigma)$

où $\text{Gaussienne}(\alpha, center, \sigma) = e^{-\frac{(center-\alpha)^2}{2\sigma^2}}$ est une Gaussienne permettant d'obtenir une moyenne pondérée.

Pour notre étude, on choisit Center = 7° et sigma = 8. Les résultats sont présentés dans la partie suivante.

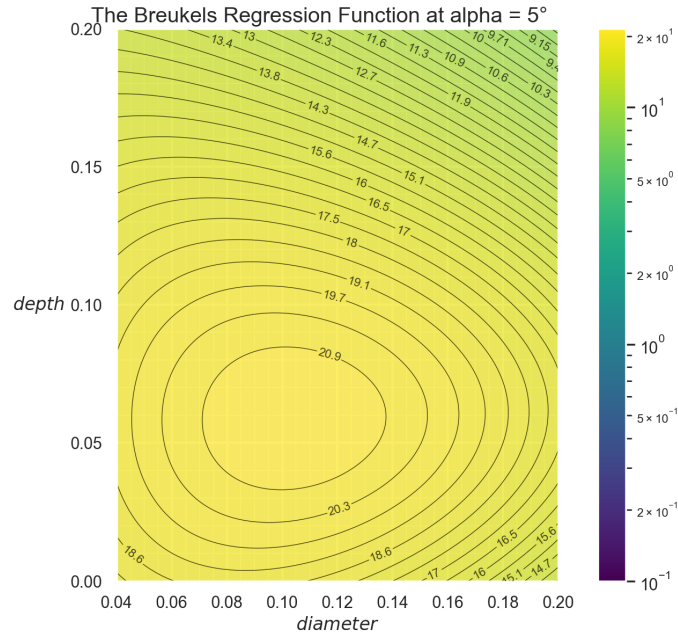


FIGURE 1. Tracer de $\frac{C_L}{C_D}$ par Régression de Breukels à $\alpha=5^\circ$

B. Le cas d'étude - 3D

On se place ensuite dans le cas d'étude d'un SK50-VG dont on fait varier le **diamètre t entre -0.02 et +0.1** et la **cambrure k entre -0.1 et 0.1**. A noter que sur chaque section de l'aile **le diamètre ne peut pas être inférieur à 0.04** et la **cambrure inférieur au demi-diamètre**. Ainsi, les résultats sont à nuancer : **une aile avec un delta de t ou de k ne veut pas dire que toutes les sections ont été modifiées de ce delta** ; seules les sections respectant ces critères énoncés précédemment le sont.

La loi d'évolution de t et k sur une VG est initialement :

- t : [0.07 0.067 0.065 0.063 0.061 0.06 0.06 0.06 0.06 0.06 0.06 0.06 0.06 0.06 0.06 0.061 0.063 0.065 0.067 0.07]
- k : [0.034 0.05 0.0645 0.0686 0.072 0.075 0.08 0.08 0.08 0.08 0.08 0.08 0.08 0.08 0.08 0.075 0.072 0.0686 0.0645 0.05 0.034]

A nouveau, on cherche l'optimum dans les 2 problèmes d'optimisation suivants :

- Maximum de $\frac{C_L(\alpha)}{C_D(\alpha)}$ à angle α fixé
- Maximum de $\sum_{\alpha=0}^{21} \frac{C_L(\alpha)}{C_D(\alpha)} \text{Gaussienne}(\alpha, \text{center}, \text{sigma})$

Les résultats sont présentés dans la partie suivante.



FIGURE 2. Tracer de $\frac{C_L}{C_D}$ par VSM en faisant varier (t,k)

III. LES RÉSULTATS

A. 2D - résultats par α

α	diamètre	cambrure
0	0.040	0.20
1	0.091	0.00
2	0.098	0.00
3	0.10	0.01
4	0.10	0.04
5	0.10	0.06
6	0.10	0.068
7	0.095	0.074
8	0.089	0.078
9	0.079	0.082
10	0.061	0.086
11	0.040	0.093
12	0.040	0.103
13	0.040	0.105
14	0.040	0.107
15	0.040	0.109
16	0.040	0.111
17	0.040	0.113
18	0.040	0.115
19	0.040	0.118
20	0.040	0.121

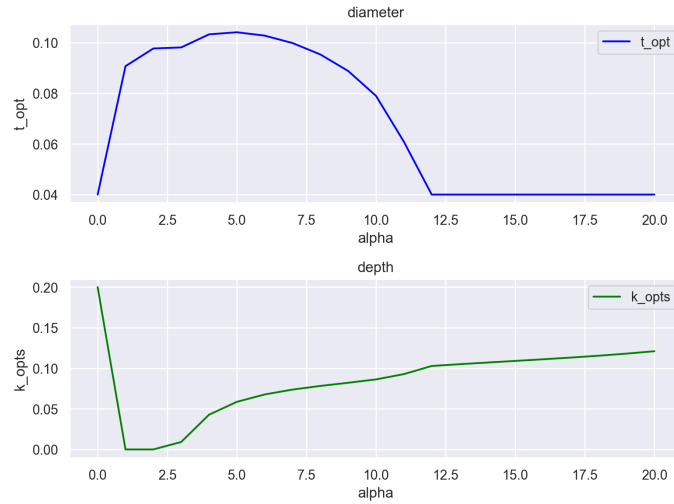


FIGURE 3. Tracer de t et k optimaux pour chaque α

Remarque :

- On observe que pour les grands angles le diamètre optimal tend à être le plus petit possible.
- La cambrure optimale augmente avec α .
- Les résultats sont cohérents en ordre de grandeur

B. 2D - résultats avec moyenne pondérée par Gaussienne

Avec une Gaussienne de paramètres **center = 7°** et **sigma = 8**, les valeurs qui maximisent la fonction objective (moyenne pondérée de finesse aérodynamique) sont :

- t : 0.0745
- k : 0.0860

Ces résultats sont cohérents en ordre de grandeur.

C. 3D - résultats par α

α	$\delta diameter$	nombre ribs saturés en diamètre	$\delta cambrure$	nombre ribs saturés en cambrure
0	-0.02	10	-0.05	10
1	-0.02	10	-0.05	10
2	-0.02	10	-0.05	10
3	-0.02	10	-0.05	10
4	-0.02	10	-0.05	10
5	-0.02	10	-0.05	10
6	-0.02	10	-0.05	10
7	-0.02	10	-0.05	10
8	-0.02	10	-0.05	10
9	-0.02	10	-0.05	10
10	-0.02	10	-0.05	10
11	0.04	0	-0.1	20
12	0.04	0	-0.1	20
13	0.04	0	-0.1	20
14	0.04	0	-0.1	20
15	0.01	0	-0.1	20
16	0.01	0	-0.1	20
17	0.01	0	-0.1	20
18	0.01	0	-0.1	20
19	0.01	0	-0.1	20
20	0.01	0	-0.1	20

Remarque :

- Pour beaucoup de valeurs optimales, un nombre importants de ribs sont saturés en cambrure et diamètre; c'est à dire qu'ils sont limités par la condition de valeurs minimale. **Ce sont les rib sur les tips quiaturent en premier**
- Le faible nombre d'échantillon semble limité la précision des résultats. Avec 5 valeurs de $\delta Diameter$ et 5 valeurs de $\delta Depth$, on est déjà à $5 \times 5 = 25$ simulations (10 minutes)!

D. 3D - résultats avec moyenne pondérée par Gaussienne

Avec une Gaussienne de paramètres **center** = 7° et **sigma** = 8, les valeurs qui maximisent la fonction objective (moyenne pondérée de finesse aérodynamique) sont :

- $\delta diameter$: -0.02
- $\delta depth$: -0.05

Les valeurs de diamètre et cambrure optimaux ainsi obtenus en 3D sont :

- [illegible]