

Etude de l'influence du couple (diamètre, 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 aérodynamiques 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 $\sum_{\alpha=0}^{20} \frac{C_L(\alpha)}{C_D(\alpha)} \text{Gaussienne}(\alpha, center, sigma)$

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.

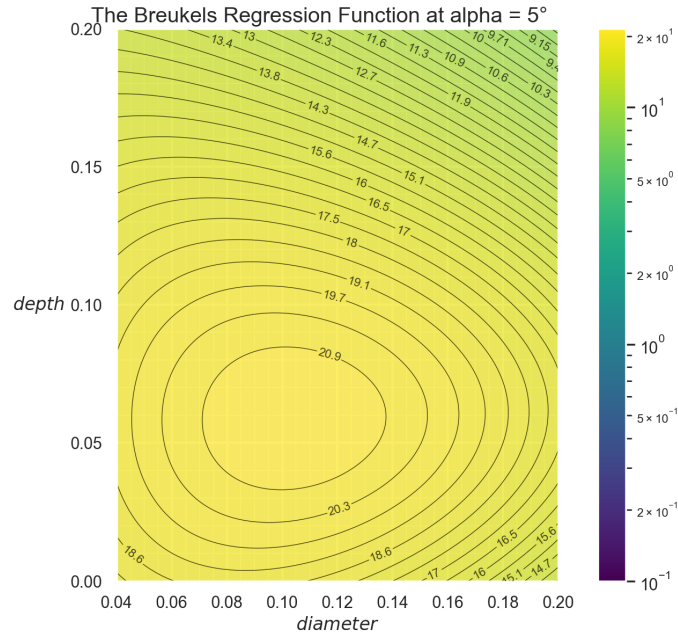


FIGURE 1. Tracer de $\frac{C_L}{C_D}$ par Régression de Breukels à $\alpha=5^\circ$

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 certain 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 de minimum énoncés précédemment le sont.**

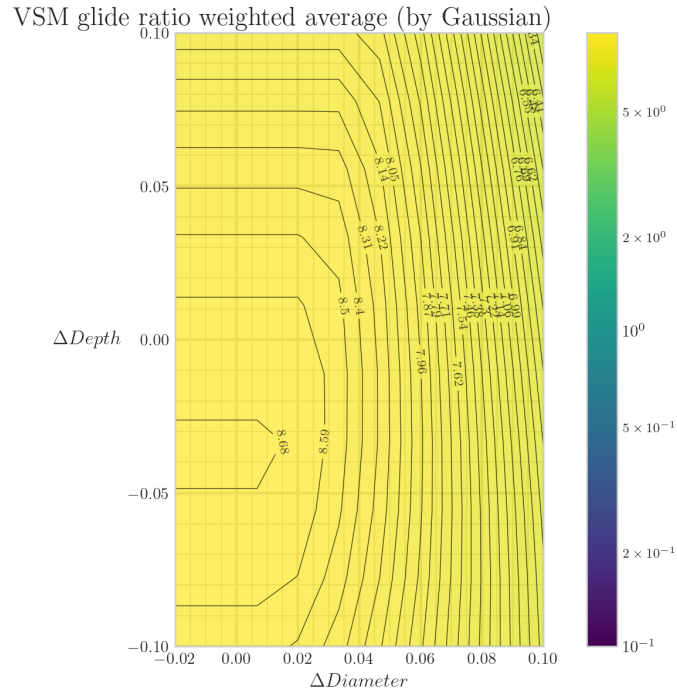
La loi d'évolution de t et k sur une VG est initialement :

- 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.



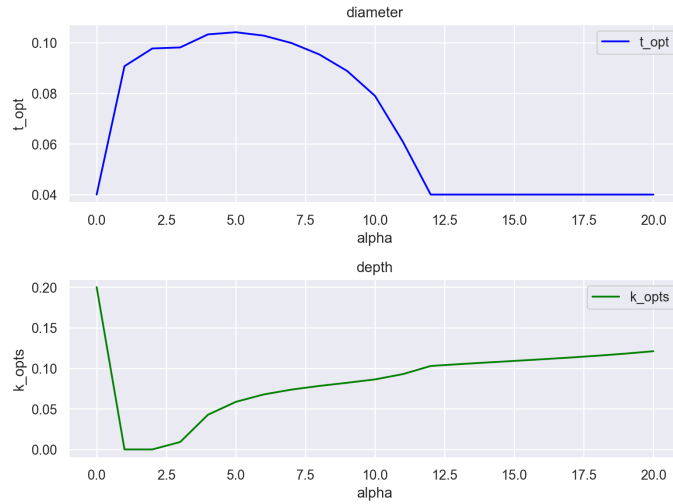


FIGURE 3. Tracer de t et k optimaux pour chaque alpha

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

Le tableau suivant présente les résultats obtenu avec la VSM (3D). Les nombres de ribs saturés en diamètre/cambrure sont, pour chaque alpha, les nombre de ribs qui ne pouvaient pas atteindre la valeurs objective (Valeurs initiale + delta) et qui donc sont "saturés" à la valeurs minimal ($\frac{Diamtre}{2}$ pour la cambrure et 0.04 pour le diamètre).

A noter que les ribs initialement à faible diamètre (relatif) sont ceux du bord d'attaque, et que les profils les moins cambré sont aux tips ; en témoigne les valeurs initiales de t et k présentés en II.B..

α	$\delta diameter$	nombre ribs saturés en diamètre	$\delta cambrure$	nombre ribs saturés en cambrure
0	-0.02	10	-0.1	20
1	-0.007	0	-0.1	20
2	-0.007	0	-0.1	20
3	-0.007	0	-0.1	20
4	-0.007	0	-0.1	20
5	-0.007	0	-0.1	20
6	-0.007	0	-0.1	20
7	-0.007	0	-0.1	20
8	-0.02	0	-0.1	20
9	-0.02	0	-0.1	20
10	-0.02	0	-0.1	20
11	0.033	0	-0.033	12
12	0.033	0	-0.033	12
13	0.033	0	-0.1	4
14	0.02	0	-0.1	4
15	0.02	0	-0.1	4
16	0.02	0	-0.1	4
17	0.02	0	-0.1	4
18	-0.007	0	0.1	0
19	-0.007	0	0.1	0
20	-0.007	0	0.1	0

Remarque :

- Pour beaucoup de valeurs optimales, un nombre importants de ribs sont saturés en cambrure
- Le faible nombre d'échantillon semble limité la précision des résultats. Avec 10 valeurs de $\delta Diameter$ et 10 valeurs de $\delta Depth$, on est déjà à $10 \times 10 = 100$ simulations (45 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
- $\delta depth$: -0.1

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

- t : 0.090 0.086 0.085 0.083 0.081 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.081 0.083 0.085 0.087 0.090
- k : 0.045 0.043 0.043 0.041 0.040 0.040 0.040 0.040 0.040 0.040 0.040 0.040 0.040 0.040 0.040 0.040 0.041 0.043 0.043 0.045

A comparer avec les valeurs initiales :

- 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 0.075 0.072 0.0686 0.0645 0.05 0.034

On note donc une tendance (en 3D) à augmenter diamètre et cambrure du kite.

A noter que l'étude est réalisée à **50 knots**.