

Equilibre au Zénith du Kite

2024 - Romain LAMBERT

Résumé

Ce bureau d'étude a pour sujet l'équilibre au Zénith du Kite. L'objectif final étant de déterminer un protocole expérimental permettant de mesurer l'angle d'incidence d'un kite ; en vue d'obtenir une polaire expérimentale des voiles.

I. TRAVAUX PRÉCÉDENTS (ZOÉ MARCELET)

A. Modèle Lagrangien

D'après le document "*Dynamics and Control of Single-Line Kites*" de Gonzalo Sanchez-Arriaga (2006), les formules suivantes permettent d'obtenir l'élévation Γ et l'angle d'incidence du vent θ , en fonction du vent et des coefficients aérodynamiques du kite :

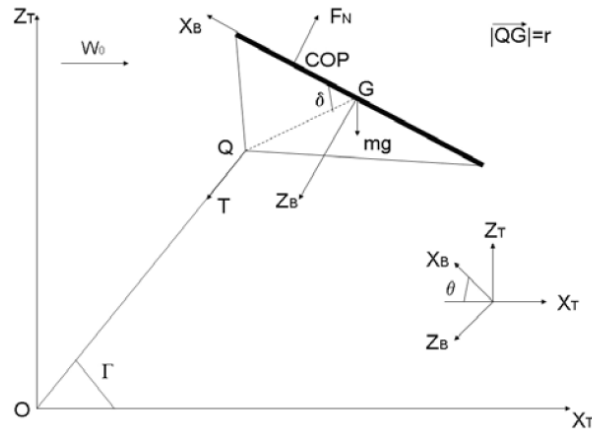


FIGURE 1. Schéma du kite au Zénith.

La première équation donne l'angle d'incidence θ :

$$\cos(\delta - \theta) + \beta(\sigma - \cos(\delta))C_N(\theta) = 0 \quad (1)$$

La deuxième équation donne l'angle d'élévation Γ :

$$\Gamma = \tan^{-1}\left(\frac{\beta C_N(\theta)\cos(\theta) - 1}{\beta C_N(\theta)\sin(\theta)}\right) \quad (2)$$

Avec $\beta = \frac{\rho A W_0^2}{2mg}$ et $\sigma = \frac{X_{cp}}{r}$

Ces équations ont été codées (disponible sur Nextcloud : 06-RESSOURCE/AC-Admin Commun/4-Rapports Stagiaires/Stage Zoé Marcellet/Rapport_zozo/06_Topic_modèle_aéro_zenith). Elles restent cependant peu concluantes car requièrent les coefficients aérodynamiques du kite.

II. MESURE DE L'ANGLE D'INCIDENCE AU ZÉNITH

A. Problème de l'angle de calage α_0

Une première intuition nous amène à penser que la connaissance de l'angle d'élévation et de la géométrie des bridages permet de remonter à l'angle d'incidence α

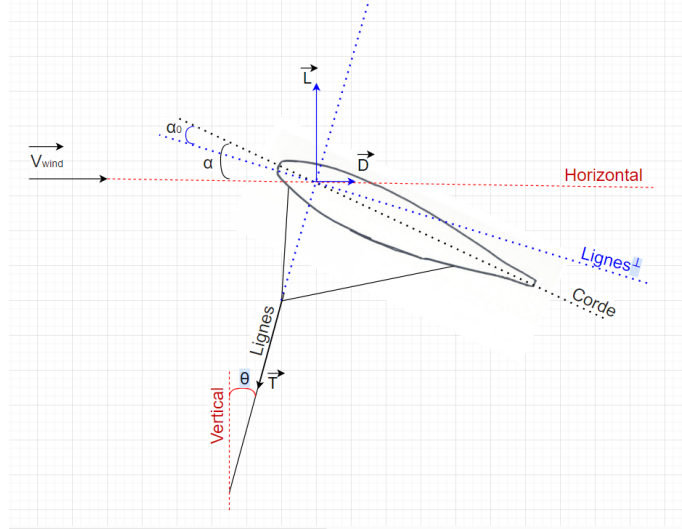


FIGURE 2. Schéma des angles qui paramètrent le Zénith.

La figure 2, l'angle α_0 dépend de considération aérodynamique, car :

$$\frac{L}{D} = \frac{1}{\tan(\theta)} = \frac{1}{\tan(\alpha + \alpha_0)} \quad (3)$$

Ainsi, l'angle que fait le cône de bridage avec les lignes qui le relient au sol s'adapte (via l'angle α_0) de sorte à aligner les efforts aérodynamiques avec les lignes des avants. Ainsi, cette angle permet de lier "géométrie" et "aérodynamique" :

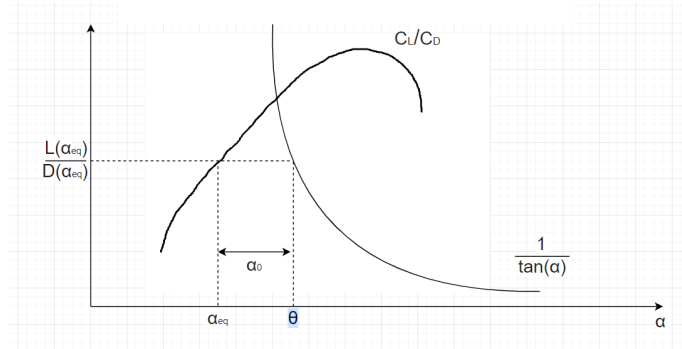


FIGURE 3. Graphique du lien entre finesse (aérodynamique) et l'angle α_0

B. Utiliser un capteur de tension pour les A et les B au niveau du kite

L'idée est que notre système {kite+bridages} se comporte comme un pendule inversé. Mesurer les tensions dans les A et les B permet de mesurer la position de la résultante aérodynamique le long du kite et ainsi de prédire son angle d'incidence α en s'affranchissant de la polaire aérodynamique du kite.

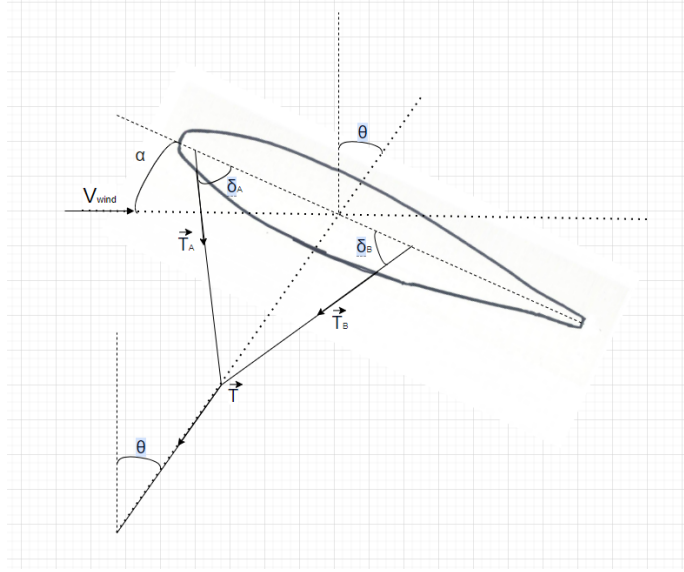


FIGURE 4. Schéma des tensions dans les bridages

Le graphe 4 permet d'écrire la relation suivante :

$$T_A \cos(\delta_A) - T_B \cos(\delta_B) = T \cos\left(\frac{\pi}{2} + \alpha - \theta\right) \quad (4)$$

et ainsi d'en déduire :

$$\alpha = \theta + \sin^{-1}\left(\frac{T_B \cos(\delta_B) - T_A \cos(\delta_A)}{T}\right) \quad (5)$$

Ainsi, on peut déterminer l'angle d'incidence α à partir de :

- T : la tension des avants (capteur "3 axes")
- θ : $\frac{\pi}{2}$ - l'angle d'élévation (capteur "IMU")
- T_A : la tension dans les A au point d'attache du kite (capteur "cyclopes")
- T_B : la tension dans les B au point d'attache du kite (capteur "cyclopes")
- δ_A : l'angle des A par rapport à la corde moyenne du kite (surfplan ou au laser)
- δ_B : l'angle des B par rapport à la corde moyenne du kite (surfplan ou au laser)