

Modélisation de la surface des voiles dans Sailcut

Robert Lainé (robert.laine@sailcut.com)

Papier présenté au 2ème Workshop Science Voile
IRENAV, Brest, France, 21 mai 2004

Résumé

Ce papier décrit la manière dont la surface des voiles est modélisée dans le logiciel Sailcut. Cette modélisation analytique repose sur l'utilisation d'une seule équation pour décrire le profil de la voile. L'intérêt d'une telle modélisation de la surface est que le code permettant de trouver le creux de la voile en tous points est simple à mettre en œuvre, tout en garantissant une bonne forme de voile. Le logiciel Sailcut et son code source en C++ sont maintenant disponibles sous licence GNU GPL.

Introduction

Le logiciel de coupe de voile Sailcut a été développé initialement en 1978 en Basic sur un ordinateur disposant d'un écran avec une ligne de texte, une petite imprimante à 32 colonnes et seulement 1.6 ko de mémoire vive. D'où la nécessité de faire simple pour modéliser la surface des voiles que je fabriquais et utilisais sur mon ¼ ton IOR. Ce cycle court conception -> fabrication -> utilisation -> correction sans contrainte "commerciale" d'adaptation aux habitudes de travail des voileries m'a permis de converger rapidement sur une modélisation compacte et robuste de la surface des voiles. Plus tard l'utilisation de Sailcut par des voileries a contribué à l'ajout d'interfaces graphiques au noyau Sailcut mais ceci est une autre histoire... Depuis 1993 la version Visual Basic de Sailcut est disponible sur Internet (<http://www.sailcut.com>) et depuis 2003, le code source de Sailcut réécrit en C++ est disponible à <http://sailcut.sourceforge.net>. Pour des raisons de protection de la propriété intellectuelle, le nom Sailcut est déposé mais l'auteur maintient l'accès libre et gratuit au logiciel Sailcut.

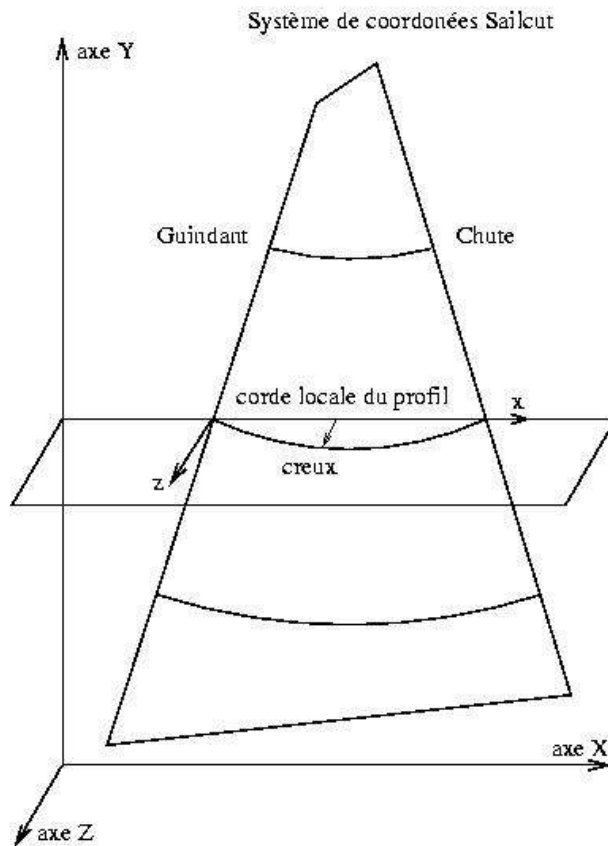
Problématique de la définition de la surface d'une voile

Une voile est une surface complexe que les voileries définissaient historiquement par des notions telles que le creux à différentes hauteurs et la position du creux maximum sur la corde locale. Cette manière de définir la voile par des points de contrôle permet de faire facilement une corrélation visuelle entre le modèle et la voile réelle sur le bateau. Malheureusement par quelques points peuvent passer un grand nombre de surfaces plus ou moins bosselées. Ensuite des notions telles que la pente au bord d'attaque et au bord de fuite furent introduites pour améliorer le contrôle du maître voilier sur la forme du profil de la voile. Ces méthodes menaient à des calculs d'interpolation assez lourds pour trouver le creux en tous points d'une voile, calculs dépassant la capacité des calculateurs personnels d'antan.

Dès le début de mes activités sportives en voile, je me suis intéressé à l'aérodynamique de la voile. La lecture du livre "Theory of wings sections" m'a convaincu que ce qui comptait le plus dans la qualité d'un profil était la répartition de la courbure le long du profil. La définition d'un profil par son creux maximum, la position du creux et des segments de fonctions quadratiques ou cubiques me semblait suspecte. Plutôt que de chercher à reproduire des voiles existantes, j'ai cherché à produire une loi de courbure raisonnablement aérodynamique sur toute la surface de la voile. La première approche a été de modéliser directement la courbure mais cela nécessitait de traiter simultanément les dérivées premières et secondes en tous points et donc trop de calculs pour mon petit ordinateur. Navigant à l'époque en mer du Nord dans des conditions assez

musclées pour mon ¼ ton, un de mes objectifs était d'obtenir une forme de profil ayant un pic de pression avancé pour combattre la tendance du creux à reculer quand le vent augmente. J'ai finalement choisi une équation définissant la dérivée seconde du profil et me donnant une évolution continue de celle-ci et contrôlée par seulement deux paramètres.

Le système de coordonnées choisi est tel que le plan X-Y contient le point d'amure, le point d'écoute et la tête du guindant. L'axe X est horizontal du point d'amure vers le point d'écoute, l'axe Y est vertical vers le haut et l'axe Z transverse au plan X-Y. Les profils sont définis comme l'intersection de la surface de la voile avec un plan horizontal Y-Z. Le Z d'un point d'un profil donné est donc une fonction de l'abscisse X normalisée par rapport à la longueur de la corde locale comme montré dans la figure ci-dessous:



L'équation retenue pour décrire la dérivée seconde du profil est:

$$Z'' = K * (-A * (1 - X)^{AV} - AR * X)$$

Ce qui donne par intégration la pente du profil :

$$Z' = K * (A * (1 - X)^{(AV + 1)} / (AV + 1) - AR/2 * X^2 + C)$$

Et enfin le profil après une seconde intégration :

$$Z = K * (-A * (1 - X)^{(AV + 2)} / ((AV + 2) * (AV + 1)) - AR/6 * X^3 + C * X + B)$$

Pour satisfaire les conditions (X=0, Z=0) et (X=1, Z=0) on prend :

$$B = A / ((AV + 2) * (AV + 1))$$

$$C = AR / 6 - B$$

Le maximum de Z est trouvé quand Z' = 0, ce qui permet ensuite de calculer K pour que ce Z

maximum soit celui souhaité (creux du profil).

Les coefficients AV et AR donnent une mesure de la courbure au bord d'attaque et au bord de fuite. Avec le creux maximum, ces deux coefficients suffisent pour décrire le profil de la voile à toutes les hauteurs. Le coefficient A permet de définir différentes familles de profils avec un bord d'attaque plus ou moins rond. En pratique A = 1 donne de bons profils pour toutes les voiles navigant dans des conditions de vent moyen ou faible. Personnellement je préfère pouvoir obtenir un bord d'attaque plus plein et j'utilise $A = 1 + AV / 4$. Ce coefficient est celui utilisé dans le code de Sailcut.

Le tableau ci dessous donne un exemple de profil obtenu avec la formulation ci dessus.

profil Sailcut

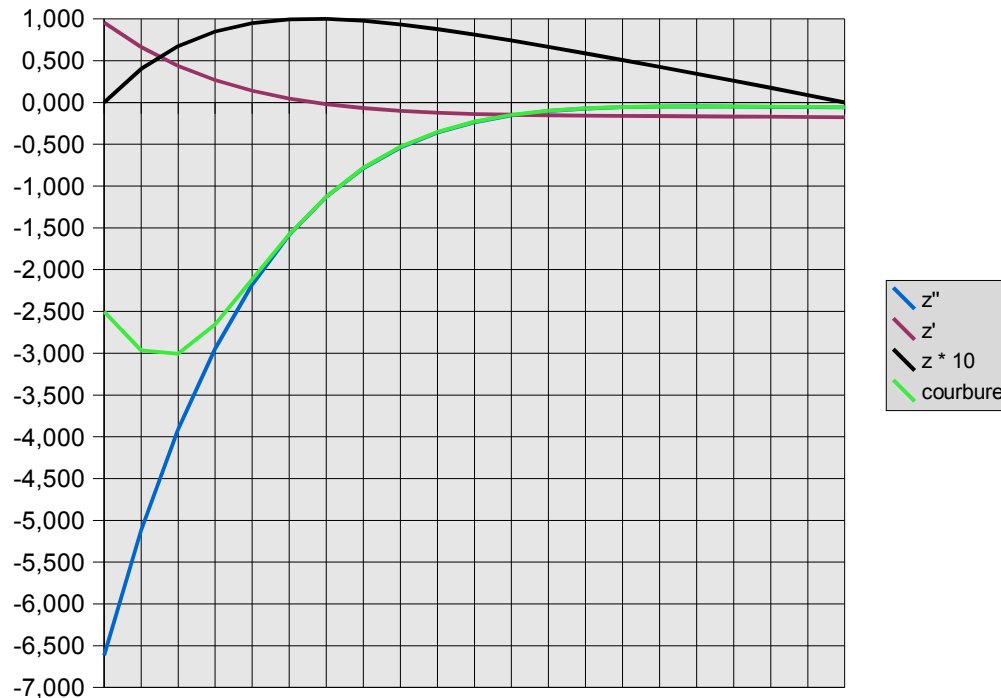
AV=	5,000
AR=	0,020
K=	2,940

$$\begin{aligned} A &= 1 + AV / 4 & A &= 2,250 \\ B &= A / ((AV + 2) * (AV + 1)) & B &= 0,054 \\ C &= AR / 6 - B & C &= -0,050 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z &= K * (-A * (1 - X)^{(AV + 2)} / ((AV + 2) * (AV + 1)) - AR/6 * X^3 + C * X + B) \\ Z' &= K * (A * (1 - X)^{(AV + 1)} / (AV + 1) - AR/2 * X^2 + C) \\ Z'' &= K * (-A * (1 - X)^{AV} - AR * X) \\ \text{courbure} &= z'' / (1 + z' * z')^{3/2} \end{aligned}$$

x	z''	z'	z * 10	courbure
0,000	-6,615	0,955	0,000	-2,503
0,050	-5,122	0,663	0,401	-2,967
0,100	-3,912	0,438	0,674	-3,007
0,150	-2,944	0,267	0,848	-2,654
0,200	-2,179	0,140	0,949	-2,117
0,250	-1,584	0,047	0,994	-1,579
0,300	-1,129	-0,021	1,000	-1,129
0,350	-0,788	-0,068	0,977	-0,783
0,400	-0,538	-0,101	0,934	-0,530
0,450	-0,359	-0,123	0,877	-0,351
0,500	-0,236	-0,138	0,812	-0,230
0,550	-0,154	-0,147	0,740	-0,150
0,600	-0,103	-0,154	0,665	-0,099
0,650	-0,073	-0,158	0,587	-0,070
0,700	-0,057	-0,161	0,507	-0,055
0,750	-0,051	-0,164	0,426	-0,049
0,800	-0,049	-0,166	0,343	-0,047
0,850	-0,050	-0,169	0,259	-0,048
0,900	-0,053	-0,172	0,174	-0,051
0,950	-0,056	-0,174	0,088	-0,053
1,000	-0,059	-0,177	0,000	-0,056

La figure ci-dessous donne la forme du profile obtenu:



Ayant défini une formulation simple pour les profils, il suffit de faire varier les valeurs du creux et des coefficients AV et AR en fonction de la hauteur du profil dans la voile. Pour la bordure qui est un arc de cercle, les coefficients AV et AR sont nuls et seul le creux est défini par l'utilisateur. Un profil dit de creux maximum est positionné autour de la $\frac{1}{2}$ hauteur de la voile et les valeurs de AV et AR sont ajustées par l'utilisateur pour obtenir la forme désirée. Le profil haut de la voile est défini de la même manière. Pour tout autre profil intermédiaire la valeur du creux est interpolée par une fonction parabolique et la valeur des coefficients AV et AR est interpolée linéairement entre celles des profils de référence.

Au total on utilise 3 valeurs de creux, la position verticale du creux maximum, et 2 paires de coefficients (AV,AR) pour définir le moule de la voile.

Note: Dans le logiciel Sailcut, la valeur affichée pour la forme du guidant est directement le coefficient AV alors que pour la chute la valeur affichée est 50 fois le coefficient AV des équations ci-dessus, ceci afin que les utilisateurs travaillent avec des chiffres plus simples que des valeurs à la deuxième ou troisième décimales.

Autres aspects de la modélisation

Le moule ci dessus ne suffit pas pour faire une vraie voile. En effet les bords d'une voile sont rarement droits et de plus la voile présente un certain vrillage des profils entre le haut et le bas. Pour définir la forme des bords j'utilise maintenant une formulation avec un point représentant le rond maximum du bord, c'est à dire l'écart maximum du bord réel par rapport à la ligne droite joignant les coins adjacents, et deux arcs de parabole qui joignent le point de rond maximum aux coins de la voile. Les profils s'appuient sur ces bords de la voile. Le vrillage de la voile est obtenu par une rotation des profils autour de leur extrémité coté guindant. L'angle de rotation est proportionnel à la hauteur du profil.

Il est à noter que cette méthode de modélisation de la surface des voiles permet de construire une voile ayant une forme sans bosses ou méplats, ni possibilité d'inversion de cambrure des

profils, ceci avec peu de paramètres et des calculs simples. La méthode est applicable aussi bien aux voiles triangulaires qu'aux voiles à quatre cotés et Sailcut est utilisé régulièrement pour des vieux gréements.

Conclusion

Ce papier a présenté la méthodologie utilisée dans le logiciel Sailcut. Des centaines d'utilisateurs de par le monde ont confirmé la robustesse de la méthode. La modélisation est simple et permet d'avoir accès directement à des paramètres secondaires tels que la pente en tous points d'un profil.

Le code source de Sailcut est disponible sous licence Gnu General Public Licence et peut être utilisé comme base pour des calculs aérodynamiques. L'auteur est disponible pour une telle coopération visant à améliorer la performance des voiles.
