

Utiliser XFOIL pour raffiner l'aérodynamique des ailes de F3i

Par Pierre Rasmont

Email : pierre.rasmont@umh.ac.be

Nous savons que le profil d'aile conditionne de manière primordiale les performances d'un planeur, que ce soit en durée ou en vitesse. Et ceci, en dépit de ce que d'autres paramètres de construction interviennent. On trouve une excellente discussion de l'influence respective de ces paramètres dans un article de Scherrer paru dans *Modèle Magazine* (Scherrer, 2003).

Afin de pouvoir comparer la qualité des différents profils, on utilise un diagramme classique nommé polaire. Je ne présenterai pas ici les caractéristiques des polaires.

Sur le web, on peut trouver des polaires *mesurées* en soufflerie réelle, avec des ailes maquettes, aux site suivant:

<http://www.nasg.com/afdb/list-polar-e.phtml>

Ceci ne concerne, bien entendu que des profils "classiques" (HQ29, RG15, RG12a, MH32, SD7037, SA7035, S7012, par exemple), et encore seulement avec des nombres de Reynolds constants et assez bas (entre 50.000 et 300.000), ce qui nous écarte du F3i (voir plus loin).

Il est donc plus facile et infiniment plus souple d'utiliser une soufflerie numérique, à la condition que celle-ci modélise la réalité de manière à peu près fidèle.

Depuis 2001, le logiciel XFOIL est dans le domaine public. Il s'agit d'«une soufflerie numérique qui permet de modéliser les effets aérodynamiques le long de profils d'ailes. La plus grande utilité est celle d'obtenir des polaires simulées. Les résultats de XFOIL ont été confrontés de manière détaillée à des modèles réels en soufflerie par Martin Hepperle. Celui-ci a conclu que XFOIL est fort performant, tout en lui reconnaissant un certain optimisme. Il est à noter que Martin Hepperle constate aussi que les souffleries réelles posent le problème aigu de la fidélité de la réalisation de la maquette de profil. La moindre infidélité par rapport au profil calculé altère considérablement la fiabilité des travaux de soufflerie (ref: <http://www.mh-aerotoools.de/airfoils/>).

Au bout du compte, l'utilisation de XFOIL est donc la manière la plus simple et la plus fiable de mettre au point des profils de modèles réduits.

Dans le présent document, je ne voudrais pas expliquer toutes les possibilités d'utilisation de XFOIL. Celles-ci ont été exposées dans deux articles récents de Quendez & Scherrer (2003a, b)..

Par contre, je voudrais fournir un aide-mémoire pour l'utilisateur. Cet aide-mémoire contient toutes les commandes importantes qui permettent d'obtenir les profils avec ou sans volets. En pratique, avec un peu d'astuce, tout ce qui est important est contenu dans ce simple aide-mémoire. Par ailleurs, il m'a semblé aussi de toute première importance de vérifier les valeurs de Reynolds compatibles avec la pratique F3i. En outre, j'ai voulu éclairer le lecteur sur les valeurs les plus réalistes à utiliser avec XFOIL. Ceci est le complément d'information le plus précieux car il ne peut être trouvé nulle part.

Aide-mémoire XFOIL à l'usage du F3i

Toutes les commandes peuvent être indifféremment en haut ou en bas de casse.
Lorsqu'on entre une commande sans ses arguments, on est invité à les compléter
Les commandes entre parenthèses sont facultatives; les commentaires sont en italique.

===== Commandes nécessaires pour générer et modifier une ou deux polaires

LOAD *Fichier_de_profil.dat*
GDES *entrée dans le menu de GDES, module de modification de profil*
 (**TGAP** *rr* *change l'épaisseur du bord de fuite*)
 (**LERA** *rr* *change le rayon du bord d'attaque*)
 (**TSET** *rr* *entre de nouvelles valeurs d'épaisseur et de cambrure*)
 (**HIGH** *rr* *entre de nouvelles valeurs pour les coordonnées d'épaisseur et de cambrure maximale*)
 (**CAMB** *modifie la cambrure*)
 (**FLAP** *rrr* *génère des gouvernes et entre un angle de déflexion*)
 (**NAME** *s* *entre un titre pour le profil modifié*)
 (**HARD** *copie l'image du profil obtenu dans le fichier PLOT.PS*)
 (**CADD** *COMMANDE OPTIONNELLE MAIS RECOMMANDEE*
permet d'ajouter des points au profil pour lisser son
dessin

les calculs obtenus sont généralement plus fiables

<return> (accepter les valeurs par défaut)

<return> (accepter les valeurs par défaut)

<return> (accepter les valeurs par défaut)

<return> (retour à GDES)

<return> (retour au module principal)

(**SAVE** *f* *écrit le profil dans un fichier avec un titre au format .DAT*)

(**PSAV** *f* *écrit le profil dans un fichier avec un titre au format .COR*)

(**ISAV** *f* *écrit le profil dans un fichier avec un titre au format ISES*)

PANE *(à utiliser lorsque le fichier de coordonnées n'est pas parfaitement lissé)*

OPER *entrée dans le menu OPER de soufflerie numérique*

VISCI *2e5* *(entre dans le mode à viscosité non nulle, avec $Re = 200000$)*

TYPE *2* *(entre le type de calcul: 1 pour Re constant; 2 pour Re variable)*

CES DEUX PARAMETRES TRES IMPORTANTS SONT EXPLICITES CI-DESSOUS

(**ALFA** *-2* *(specify minimum alpha (must give $CL > 0$ for Type 2 polar))*)

PACC *(initie l'accumulation de paramètres pour la polaire 1)*

Fichier_polaire_1 (entre un nom pour la polaire sauvee

ou <return> pour ne pas sauvegarder de fichier)

exemples:

RCL2E5_HQ29_F3 (pour un Re variable de 200000, profil HQ29, flaps de 3° positif)

RCL2E5_HQ29_F5 (pour un Re variable de 200000, profil HQ29, flaps de 5° positif)

RCL2E5_HQ29_FX3 (pour un Re variable de 200000, profil HQ29, flaps de 5° négatif)

<return> (ne génère pas de fichier de copie, sans intérêt)

ASEQ *-2 8 0.2* *(génère une polaire depuis une incidence de -2° à 8° par pas de 0,2°)*

PPLO *(génère le graphique obtenu)*

(**ASEQ** *8.2 9 0.2* *(calcule des points additionels si nécessaire)*)

(**PPLO** *(génère le graphique modifié)*)

PACC *(arrête l'accumulation de paramètres pour la polaire 1)*

INIT *(réinitialise le processus)*

PGET *Fichier_polaire_2 (charge une polaire générée auparavant)*

PPLO *(ajoute cette nouvelle polaire au graphique)*

HARD *(ajoute le graphique de polaire au fichier Postscript PLOT.PS)*

<return> (retour au menu XFOIL principal)

QUIT *(quitte XFOIL et retourne à DOS)*

Une fois sorti de XFOIL, il vaut mieux renommer le fichier PLOT.PS sous un nom mnémotechnique (ex.: POL_HQ29.ps).

Si on dispose d'une imprimante Postscript, il est facile d'envoyer le fichier DIRECTEMENT à celle-ci. En DOS, cela se fait grâce à la commande suivante:

```
C :> COPY POL_HQ29.PS :LPT1
```

Sous Windows ou avec une imprimante NON Postscript (cas le plus fréquent), le mieux est d'utiliser un interpréteur Postscript. Le meilleur disponible est Ghostscript.

On peut l'obtenir à l'adresse suivante:

<http://www.cs.wisc.edu/~ghost/doc/AFPL/>

Pour des raisons que je ne m'explique pas, le module GSVIEW de certaines versions de Ghostscript ne fonctionne pas avec les fichiers XFOIL. Personnellement, j'utilise le module GSVIEW 2.7.

Liens utiles et bibliographie

Scherrer, M., 2003. Choisir le bon profil. *Modèle Magazine*, 620: 96-100.

Quendez, N. & M. Scherrer, 2003a. Premiers Souffles... (I/II). *RCM*, 264: 120-123.

Quendez, N. & M. Scherrer, 2003b. Premiers Souffles... (II/II). *RCM*, 265: 110-113.

Pour obtenir XFOIL

<http://clubmodelisme.free.fr/Download/files/Xfoil.htm>

<http://www.profil2.com/eng/lastversion.htm>

Pour obtenir Ghostscript

<http://www.cs.wisc.edu/~ghost/doc/AFPL/>

Pour obtenir les coordonnées des profils courants

http://amber.aae.uiuc.edu/~m-selig/ads/coord_database.html

<http://www.nasg.com/afdb/list-airfoil-e.phtml>

<http://jean-claude.etiemble.com/tracfoil/profilsE.htm>

Pour obtenir les polaires mesurées en soufflerie réelle

<http://www.nasg.com/afdb/list-polar-e.phtml>

Pour connaître les fondements de l'aérodynamique des avions (Dossier de base QU'IL FAUT LIRE)

<http://users.skynet.be/vdp3f/portance.htm>

Pour une discussion sur les contraintes aérodynamiques des F3i. Le site de Matthieu Scherrer est aussi celui où l'on trouve le plus de discussions intéressantes sur l'aérodynamique en général.

<http://perso.wanadoo.fr/scherrer/matthieu/modeli.html>

Les pages de Martin Hepperle consacrées aux ailes de planeurs

<http://www.mh-aerotoools.de/airfoils/>

Calcul du nombre de Reynolds

Formule simplifiée (de loin la plus utilisée dans le domaine du modélisme !)

$$\text{Re} = 70 * \text{Corde} * v \quad (1)$$

Avec
Corde en mm
v en m/s

Formule développée

$$\text{Re} = \text{Rho}/\text{Mu} * \text{Corde} * v \quad (2)$$

avec
Corde et v comme pour (1)
Rho = densité du fluide en kg/m³ (1,21 kg/m³ pour air à 20°)
Mu = viscosité = 1,78 10⁻⁵ Si (air)

Rho/Mu = 18,8686 (à 20° au niveau de la mer, soit 293°K)

Rho est variable

$$\text{Rho} = P/rt \quad (3)$$

avec
P = pression en Newton
t = température en °K
r = constante des gaz

Calcul du nombre de Reynolds variable

$$\text{Re} * \text{SQR}(\text{Cz}) = \text{constante}$$

Formule simplifiée

$$\text{Re} * \text{SQR}(\text{Cz}) = 88 \text{ Corde} * \text{SQR}(\text{charge alaïre}) \quad (4)$$

Avec
Corde en mm
Charge alaïre en g/dm²

Formule simplifiée

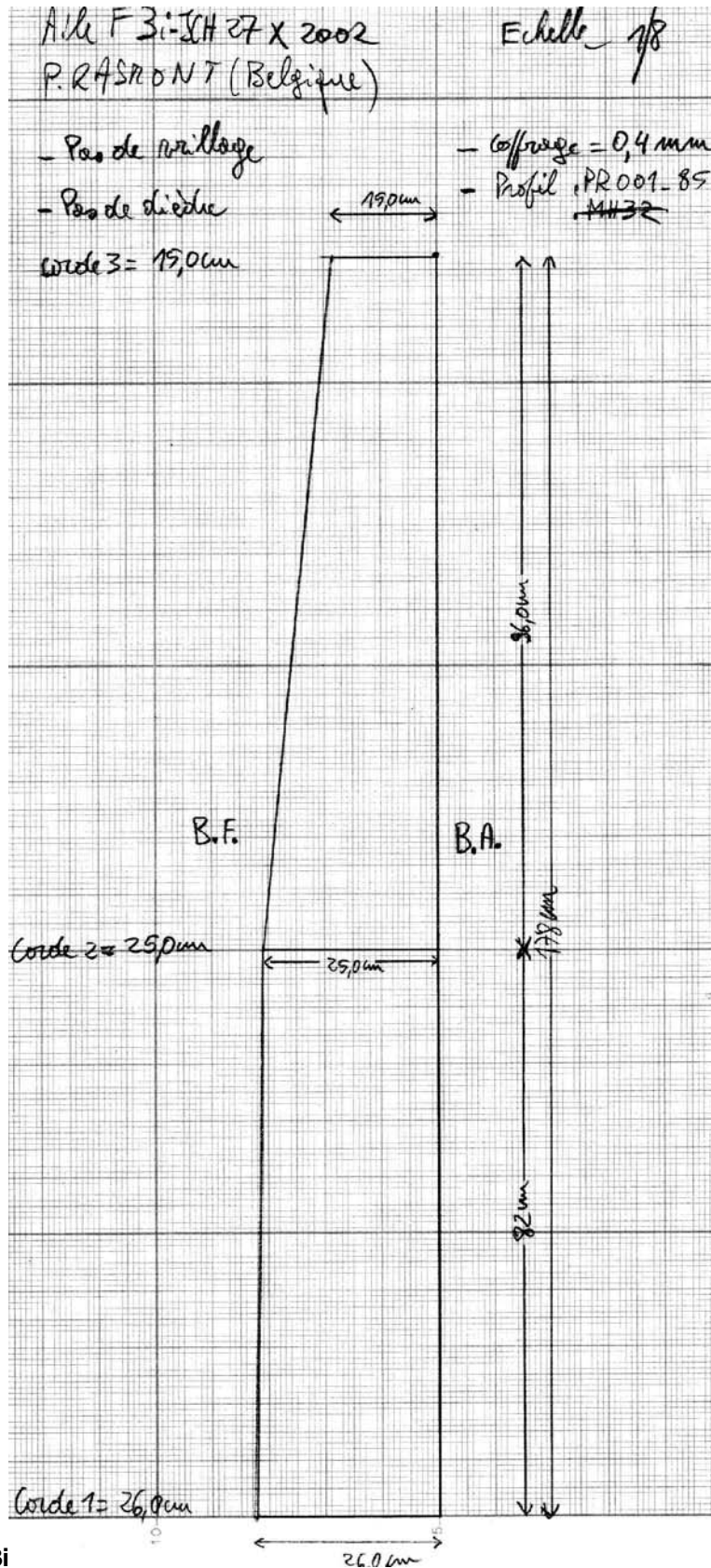
$$\text{Re} * \text{SQR}(\text{Cz}) = 280000 * \text{SQR}(m/\bullet) \quad (5)$$

Avec
m = masse en kg
• = allongement = envergure / corde moyenne

Formule complète

$$\text{Re} * \text{SQR}(\text{Cz}) = 1/\mu * \text{SQR}(2 * h_o * m / \bullet) \quad (6)$$

Avec mu, Rho, m, •, comme pour les formules précédentes.



Exemple: aile F3i

Surface d'une aile = 40 dm², surface totale = 80dm², on soustrait la surface d'emplanture (2dm²)

Total 78 dm²

Pour un poids de 4,5 kg, on obtient une charge alaire de 57,69 g/dm² avec une corde moyenne de 220mm

Les vitesses typiques des F3i sont de

- 10m/s lors de l'atterrissage (36km/h)
- 20m/s lors du vol de gratte (72km/h)
- 30m/s lors des phases "lentes" du vol de vitesse (98km/h)
- 40m/s lors des phases "normales" du vol de vitesse (144km/h)
- 50m/s lors des phases extrêmes du vol de vitesse (180km/h)

En nombre de Reynolds constant et en appliquant la formule (1), on obtient le tableau I.

Tableau I. Valeurs typiques du nombre de Reynolds en F3i

Phase	Vitesse m/s (km/h)	Re corde moyenne 220mm	Re emplanture 260mm	Re saumon 150mm
Atterrissage	10m/s (36km/h)	154.000	182.000	105.000
Gratte	20m/s (72km/h)	308.000	364.000	210.000
Vitesse basse	30m/s (98km/h)	462.000	546.000	315.000
Vitesse normale	40m/s (144km/h)	616.000	728.000	420.000
Vitesse élevée	50m/s (180km/h)	770.000	910.000	525.000

On voit donc que, en Reynolds constant, il faut envisager des valeurs comprises, grosso-modo, entre 150.000 et 700.000.

On peut trouver des polaires **mesurées** en soufflerie réelle, avec des ailes maquettes, aux site suivant:

<http://www.nasg.com/afdb/list-polar-e.phtml>

Ceci ne concerne, bien entendu que des profils "classiques" (HQ29, RG15, RG12a, MH32, SD7037, SA7035, S7012, par exemple). Ceci, aussi, ne concerne que des Reynolds assez bas, grosso-modo entre 50.000 et 300.000. Or nous venons de voir que le F3i utilise des Reynolds plus élevés.

Il est facile de vérifier que le comportement d'une aile à $Re=100.000$ est très différent de celui de la même aile à $Re=700.000$. Ceci complique singulièrement l'interprétation des polaires car il faudrait générer, pour chaque profil, une série de polaires pour différents noimbres de Reynolds.

Pour cette raison, XFOIL envisage aussi le travail en Reynolds **variable**, en se basant sur l'idée de base que le vol lent est généralement aux plus hautes incidences et le vol rapide aux plus faibles. XFOIL utilise alors une valeur constante de $Re \cdot SQR(Cz)$.

On tient alors aussi compte de la charge alaire, puisque en fonction de celle-ci, la vitesse change pour une incidence constante.

On peut alors calculer une valeur unique de $Re \cdot SQR(Cz)$, telle qu'elle représente **globalement** le comportement d'un F3i.

$$Re \cdot SQR(Cz) = 88 \cdot 220 \cdot SQR(57,69) = 147068 \text{ (selon la formule 4)}$$

ou bien

$$Re \cdot SQR(Cz) = 280000 \cdot SQR(4,5/17) = 149904 \text{ (selon la formule 5)}$$

Je suggère donc d'utiliser XFOIL en Reynolds variable (TYPE 2), avec $Re \cdot SQR(Cz)=150.000$. Ceci représente la manière la plus commode et probablement la plus réaliste de modéliser les conditions F3i en utilisant XFOIL.

NOTA BENE: il y a quelque chose de pas clair dans l'expression $Re \cdot SQR(Cz)$. Ceci donne l'impression que Re est multiplié par le facteur $SQR(Cz)$, ce qui n'est manifestement pas le cas. Dans un des messages délivrés par Xfoil, on voit apparaître $Re/SQR(Cz)$, et là, ça marche, les valeurs collent. Je me dis donc que $Re \cdot SQR(Cz)$, c'est juste une manière de dire très vite, une simple imprécision de formulation dans le manuel Xfoil.

Pierre Rasmont, le 8 septembre 2003