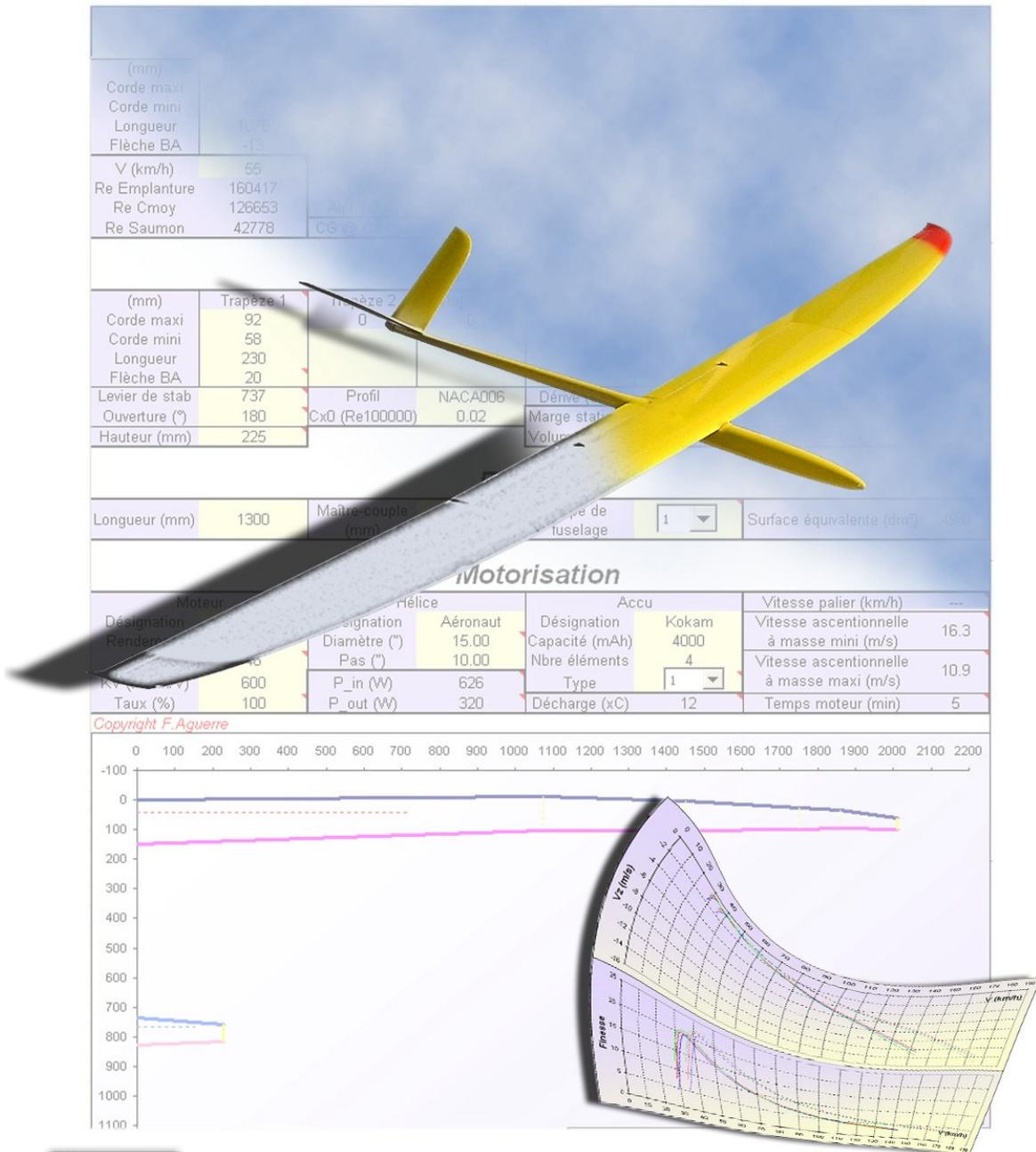


PredimRC

Guide de conception d'un aéromodèle



Présentation : Franck Aguerre
Page de garde : Damien Laberny

Sommaire

1. INTRODUCTION	2
2. BLOC-DIAGRAMME PREDIMRC	3
3. QUELQUES DEFINITIONS	4
3.1. GRANDEURS GEOMETRIQUES	4
3.2. GRANDEURS AERODYNAMIQUES	4
3.3. CONSTANTES PROFIL	5
4. LES ETAPES CLES DE LA CONCEPTION	6
4.1. DEFINIR SON BESOIN	6
4.2. ESTIMER LE RE DE REFERENCE DE VOL (RE_REF)	6
4.3. CHOISIR LES PROFILS	6
4.4. CALCULER LES POLAIRES	7
4.5. INTEGRER LES POLAIRES DANS PREDIMRC	11
4.6. OPTIMISER L'ALLONGEMENT	14
4.7. DIMENSIONNER ET REGLER LE MODELE	15
4.8. OPTIMISER LA GEOMETRIE D'AILE	17
4.9. EVALUER LES PERFORMANCES DE SON MODELE	18
4.10. DIMENSIONNER LA PROPULSION	20
4.11. DIMENSIONNER LES GOUVERNES	21
4.12. DIMENSIONNER LES SERVOS	21
5. CONCLUSION	22

1. Introduction

PredimRC est un logiciel de conception de modèles volants fonctionnant sur Microsoft Excel. Conçu initialement pour du pré-dimensionnement, il est devenu au fil des évolutions un outil de conception aérodynamique complet et performant. La plupart des modèles volants peuvent ainsi être conçus avec un maximum d'efficacité et dans un minimum de temps.

PredimRC s'appuie sur les points marquants suivants :

- polaires de profils issues de souffleries numériques
- méthode originale du calcul de l'allongement optimal pour les machines de performances (60pouces, F3J, F3F, F3B, F3D, ...)
- calculs à Re variable, sur la globalité du modèle (aile, stab, fuselage)
- équations complètes de la prise en compte du sillage des ailes pour les problèmes de stabilité, de centrage et de calage de stab (M. Sherrer / T. Platon)
- méthode originale de calcul du point de fonctionnement d'un modèle électrique

PredimRC permet d'obtenir les résultats suivants :

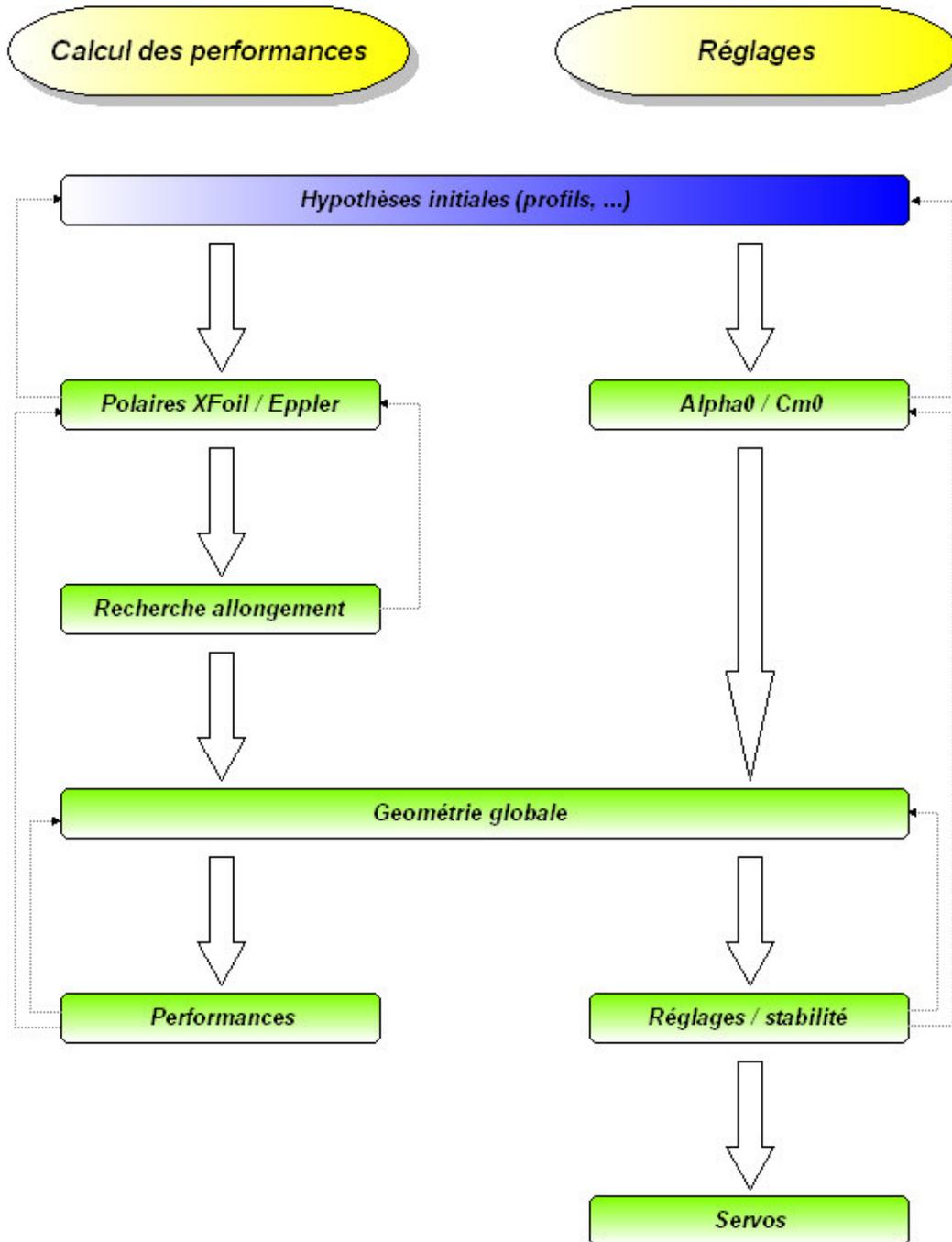
- optimisation de l'allongement
- optimisation de la géométrie par VLM
- courbes de performances du modèle, pour 3 profils x 2 masses
- performances au moteur
- réglages (centrages, calages) et stabilité
- dimensionnement des servos

Dans la pratique, les résultats donnés par PredimRC ont été vérifiés sur de nombreux modèles - du micro modèle au planeur de compétition F3F en passant par des racers électriques - et ont montré la grande robustesse et fiabilité de ce logiciel.

NOTAS :

- PredimRC peut être utilisé de deux manières radicalement opposées :
 - en conception directe, à partir d'une feuille blanche.
 - en rétro-conception, à partir d'un modèle existant plus ou moins avancé.
- PredimRC est compartimenté, ce qui permet de séparer deux aspects de la conception :
 - la partie performance, qui utilise les polaires profils issues de soufflerie numérique.
 - la partie réglages, qui utilise les données profils Cm0 et Alpha0.
- Les parties réglages et performances sont bien sûr complémentaires, mais on peut donc parfaitement utiliser l'une sans l'autre suivant ce que l'on recherche. C'est un aspect très important : inutile de saisir des polaires profils si on ne cherche pas à calculer les performances, mais simplement à régler le modèle pour un vol sain.
- N'hésitez pas utiliser l'aide intégrée de PredimRC : la plupart des cellules sont commentées, avec des valeurs cibles ou des explications. Si les commentaires ne s'affichent pas, allez dans menu Outils/Option, onglet Affichage, puis choisir « indicateur seul ».
- PredimRC utilise des macros VisualBasic. Par défaut, Excel demande la confirmation d'activation de ces macros, qu'il faut donc accepter. Il est aussi possible de configurer Excel pour accepter ces macros automatiquement, dans le menu Outils/Macros/Sécurité. Sur certaines versions non françaises de Excel, si les macros ne fonctionnent pas, il faut remplacer le mot « Graphique » par « Chart » dans les macros.
- PredimRC est réservé à un usage privé, et ne peut donc être ni copié, ni distribué, ni utilisé dans le cadre d'une application commerciale sans l'avis de l'auteur. De même, ce logiciel est livré en l'état, la responsabilité de l'auteur ne saurait être engagée de quelque manière que ce soit dans le cas d'un accident impliquant un modèle conçu grâce à ce logiciel.

2. Bloc-diagramme PredimRC



3. Quelques définitions

3.1. Grandeurs géométriques

Allongement (λ) : caractérise l'importance de l'envergure devant les cordes d'ailes ou de stab. Se définit mathématiquement par : $\lambda = \frac{\text{envergure}^2}{S}$

Ligne neutre : ligne caractéristique d'un fuselage, qui correspond à son incidence de traînée minimale. Elle est assimilée à la ligne de vol.

Calage : angle entre l'aile ou le stabilisateur par rapport à la ligne neutre du fuselage. Que ce soit pour l'aile ou le stab, cet angle est positif quand le bord d'attaque se trouve plus haut que le bord de fuite.

Volume de stab : valeur adimensionnelle qui reflète la capacité du stab à « tenir » l'aile dans les différentes configurations de vol. Le volume de stab doit être d'autant plus grand que l'appareil est susceptible d'évolutions aux grands angles, ce qui va souvent à l'encontre de la recherche de la traînée minimale. C'est aussi le cas si le Cm0 du profil est important.

Foyer du modèle complet : point de stabilité neutre d'un modèle, où s'équilibrent les variations des forces de portance (aile, stab et fuselage) lors d'une variation d'incidence (voulue, après une action à la profondeur, ou subie à cause d'une turbulence). En pratique, le centrage doit toujours se trouver devant ce point pour assurer la stabilité de vol.

3.2. Grandeurs aérodynamiques

Alpha (α) : angle d'incidence du profil par rapport à l'air.

Cx : coefficient de traînée, d'un profil, d'une aile ou d'un modèle. Le Cx caractérise la résistance à l'avancement.

Cz : coefficient de portance, d'un profil ou d'une aile. Le Cz évolue à peu près linéairement en fonction de l'angle d'incidence du profil.

Cm : coefficient de moment, d'un profil ou d'une aile. Le Cm reflète le couple de pivotement autour du foyer du profil (25% de la corde) généré par l'écoulement de l'air. Il est positif pour une aile volante (stable), et négatif pour un profil standard (instable). Dans le dernier cas, c'est le stabilisateur qui doit contrer ce couple, d'autant plus important que la valeur absolue de Cm est élevée.

Traînée (Fx) : force parallèle à l'avancement d'un objet. La traînée s'exprime en N (newton, 10N \approx 1kg), et se calcule par la relation : $F_x = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot C_x \cdot V^2$, avec $\rho = 1.292 \text{ kg/m}^3$ (densité standard de l'air), S = surface (en m²), et V la vitesse d'avancement (en m/s).

Portance (Fz) : force perpendiculaire à l'avancement d'un objet. La portance s'exprime en N et se calcule par la relation : $F_z = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot C_z \cdot V^2$

Traînée induite : traînée liée à l'allongement de l'aile. Nulle pour Cz = 0, elle augmente avec le Cz, mais d'autant moins que l'allongement est important. Physiquement, la traînée induite est générée au niveau du saumon par une circulation d'air de l'intrados (surpression) vers l'extrados (dépression). Plus l'allongement est important, moins cette circulation affecte le reste de l'aile. Se calcule par la relation : $C_{xi} = \frac{C_z^2}{\pi \lambda}$

Nombre de Reynolds (Re) : coefficient adimensionnel qui englobe la vitesse d'évolution et la dimension (corde) d'un profil. Postulat : un profil de corde X évoluant à la vitesse Y se comporte de

manière identique à ce même profil de corde $X/2$ évoluant à la vitesse Y^2 , car ils évoluent au même nombre de Reynolds. $Re = 70.Corde(m).V(m/s)$

Polaire(s) : courbe(s) caractéristique(s) des performances ou du comportement d'un profil, d'une aile ou d'un modèle. Les polaires les plus classiques sont :

- Polaires profils : C_z en fonction de C_x , C_z en fonction de α , C_m en fonction de C_z . On trace généralement ces polaires pour différents Re .
- Polaires modèle : taux de chute en fonction de la vitesse de vol, finesse en fonction de la vitesse de vol. On trace généralement ces polaires pour différentes masses.

Corde moyenne aérodynamique (CMA) : corde virtuelle, équivalente d'un point de vue aérodynamique à l'ensemble des cordes d'une aile. Elle est à la base du calcul du centrage et des bras de levier d'un aéronef.

Mathématiquement, cette corde est la moyenne des cordes pondérées par les surfaces élémentaires. Les plus mathématiques reconnaîtront la définition d'une intégrale, en l'occurrence :

$$CMA = \frac{2}{S} \int_0^{env/2} C^2(y).dy \text{ avec } S = \text{surface aile, } C(y) = \text{corde et } C(y).dy = \text{surface élémentaire.}$$

Sillage d'aile : c'est le flux d'air descendant généré par une aile. Suivant son bras de levier et sa hauteur, un stabilisateur subit plus ou moins ce flux, et son calage doit être corrigé en conséquence pour obtenir la bonne ligne de vol.

Interaction : qualifie la traînée générée par l'intersection de deux surfaces. Typiquement, on retrouve la traînée d'interaction à la jonction du fuselage avec les ailes ou le stab. Par défaut, on estime qu'elle représente 10% de la traînée totale d'un modèle.

Marge statique : pourcentage qui indique le degré de stabilité d'un modèle, défini par le rapport de la distance CG / foyer à la corde moyenne. Cette valeur est aussi valable pour les ailes volantes.

Ce qu'il faut retenir :

- Si la marge statique est négative : le modèle est divergent, la moindre perturbation de la trajectoire (action à la profondeur ou mouvement d'air) est amplifiée.
- Si la marge statique est nulle : le modèle est neutre.
- Si la marge statique est positive : le modèle reprend sa trajectoire naturelle d'autant plus vite que la marge statique est élevée.

Concrètement, cette valeur peut aller de 0 pour un appareil de vitesse ou de voltige à 10% pour un appareil calme où la stabilité est privilégiée. Attention, pour un modèle à stabilisateur, ces valeurs sont valables uniquement pour une limite de centrage arrière tenant compte de la contribution du fuselage.

3.3. Constantes profil

Cm0 : coefficient de moment du profil à portance (C_z) nulle.

Alpha0 : angle d'incidence du profil à portance (C_z) nulle.

4. Les étapes clés de la conception

Avant de démarrer, le plus important à comprendre est que la conception d'un modèle est une démarche itérative. Chaque étape peut remettre en cause les hypothèses initiales, et il faut donc les ré-adapter puis re-dérouler le processus de conception. C'est ensuite l'expérience du concepteur qui permettra d'arriver au plus vite au meilleur compromis.

Afin d'en faciliter la compréhension, toute la méthode est déroulée au travers d'un exemple, en l'occurrence la conception d'un planeur de détente 3 axes avec stab en T.

4.1. Définir son besoin

Cela revient à se poser la question : quel est le modèle que je désire concevoir, et pour quel domaine de vol ? Si la question est triviale, la réponse l'est moins car elle pose les bases de tout ce qui va suivre.

Voici les éléments minimum à définir, approximativement pour l'instant :

- quelle envergure ?
- quelle surface alaire ?
- quelle plage de masse ?
- quelle vitesse nominale (ou « moyenne ») de vol ?

A ce stade de la conception, il s'agit simplement d'ordres de grandeur très larges, que la conception va permettre d'affiner, voire de remettre en cause s'ils ne sont pas adaptés.

Pour l'exemple qui nous intéresse, voici les hypothèses de départ :

- envergure : environ 1,80 m
- surface : environ 30 dm²
- masses : de 700 à 1000 g
- vitesse moyenne : 50 km/h

4.2. Estimer le Re de référence de vol (Re_ref)

Ce Re va servir à calculer les polaires profil(s) au plus proche du domaine de vol de votre modèle. PredimRC travaillant à Re variable, les polaires calculées pour le Re_ref seront extrapolées à tous les Re de vol.

L'important ici n'est pas de trouver une valeur précise, mais simplement une base de travail à peu près logique par rapport à l'utilisation du modèle. Par exemple, un racer F3D volant à plus de 300 km/h aura de grandes chances d'avoir un Re_ref nettement plus élevé que celui d'un lancé-main optimisé pour évoluer presque 10 fois moins vite !

Les données définies a priori dans l'étape 3.1 permettent de calculer ce nombre de Reynolds de référence. Rien de bien sorcier : $Re_ref = 70 \times Vitesse(m/s) \times CordeMoyenne(mm)$

Avec : $Vitesse(m/s) = Vitesse(km/h) / 3.6$ et $CordeMoyenne(mm) \approx 10 * Surface(dm^2) / Envergure(m)$

Si cette partie vous paraît trop indigeste, il est possible de retenir un Re_ref de 200000, c'est assez passe-partout pour beaucoup de modèles.

Pour l'exemple : Re_ref = 162000, arrondi à 200000.

4.3. Choisir les profils

Cette étape est vitale pour le modèle et ses performances, même s'il faut être conscient que le profil ne fait pas tout : la géométrie des ailes et du stab, le fuselage, les calages, la traînée des commandes, jouent un rôle tout aussi important dans les performances finales.

Comment choisir un profil ? Cette question n'est pas si innocente que cela, car le nombre de profils disponibles a de quoi noyer le plus averti des modéliste. En fait, le choix d'un profil est directement lié à l'utilisation de son modèle, et à une comparaison avec d'autres profils. Et bien entendu, on compare les profils pour un Re représentatif du domaine de vol choisi, ce qui correspond au Re_{ref} défini en 4.2.

Voici quelques grandes lignes :

- Les profils de début : la traînée ne doit pas être trop faible, et le Cz_{max} doit être élevé pour améliorer le comportement à basse vitesse.
- Les profils de gratte : le principal critère est d'avoir une faible traînée à un Cz assez important, de l'ordre de 0,3 à 0,5, ainsi qu'un Cz_{max} élevé.
- Les profils de vitesse : la traînée doit être minimale à faible Cz . Pour les catégories F3F, F3B, F3I, F3D, qui demandent en plus de tourner serré, il faut avoir un Cz_{max} élevé, ce qui est souvent contradictoire avec le critère de traînée mini. Pour contourner le problème, de plus en plus de profils sont optimisés pour l'utilisation de volets qui décalent le Cz_{max} et le Cz de Cx_{mini} .
- Les profils de voltige : avec ou sans volets, ils doivent présenter une plage de Cz négatifs assez large pour bien évoluer sur le dos. Ensuite, s'il s'agit de voltige planeur, il faut aussi rechercher la finesse et la gratte, ce qui demande un compromis souvent difficile à trouver.
- Les profils d'ailes volantes : leur principale caractéristique est l'auto-stabilité, définie par un $Cm0$ positif.

D'autres considérations que le Cx et le Cz peuvent aussi rentrer en ligne de compte :

- Le Cm : s'il est faible, cela permet de réduire la taille du stab, et donc la traînée associée. Sans compter la neutralité du modèle plus importante quelle que soit la vitesse.
- La réponse aux gouvernes : certains profils ont des réponses plus ou moins efficaces, ce qui peut être important pour de la voltige.
- Le Re critique : c'est le Re minimal en dessous duquel un profil fonctionne mal. Pour nos profils de modèles réduits, cela peut aller de 20000 à plus de 100000 suivant les profils.

Pour l'exemple : trois profils sont sélectionnés a priori :

- *FAD05S-9%*, un profil perso assez polyvalent et gratteur
- *Clark-Y*, réputé pour sa plage de portance élevée
- *Eppler 195*, qui a eu son heure de gloire

NOTA : on peut aussi sélectionner un seul profil, et décliner son fonctionnement avec différentes valeurs de braquage de volet. C'est typiquement le cas pour un planeur de compétition.

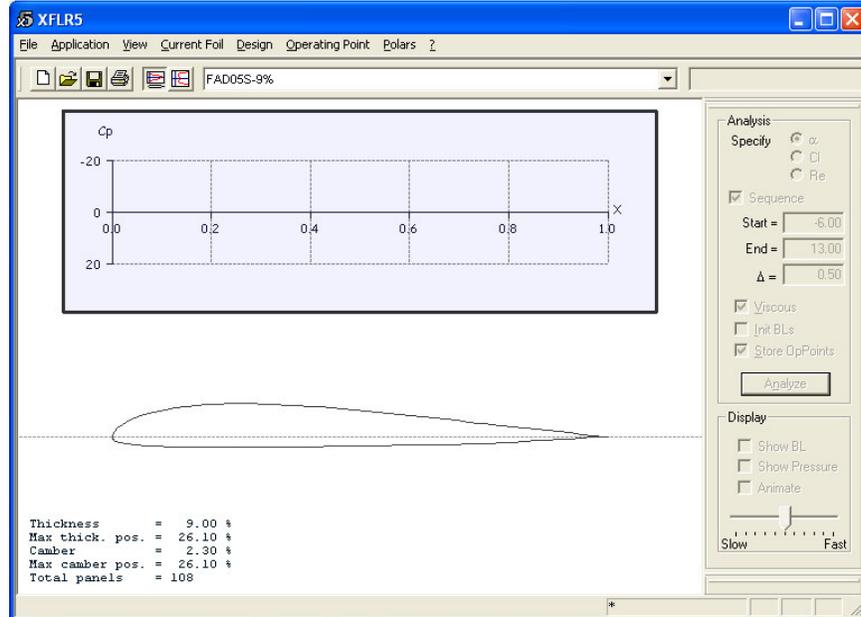
4.4. Calculer les polaires

Après avoir ainsi pré-sélectionné quelques profils, il faut les passer en soufflerie numérique pour évaluer leurs performances et retenir les plus intéressants (PredimRC en gère 3 simultanément). En l'occurrence, la référence est XFOIL, utilisé en direct (mais c'est assez peu ergonomique) ou par le biais d'interface comme XFLR5. La méthode est détaillée ci-dessous pour ce logiciel, mais la plupart des souffleries numériques fonctionnent de manière analogue. Bien sûr, un tel logiciel ne se limite pas aux quelques fonctions présentées ici, à vous d'en découvrir toute la puissance !

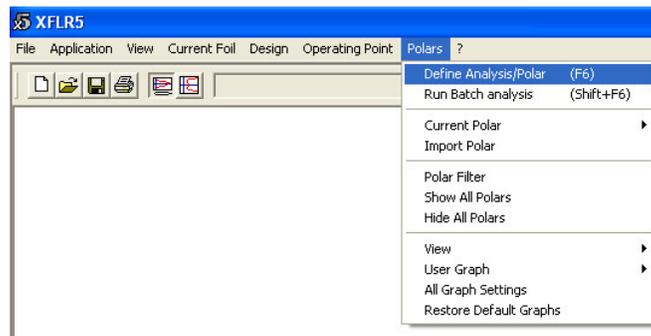
Tout d'abord, lancer XFLR5, puis choisir l'atelier d'analyse de profil :



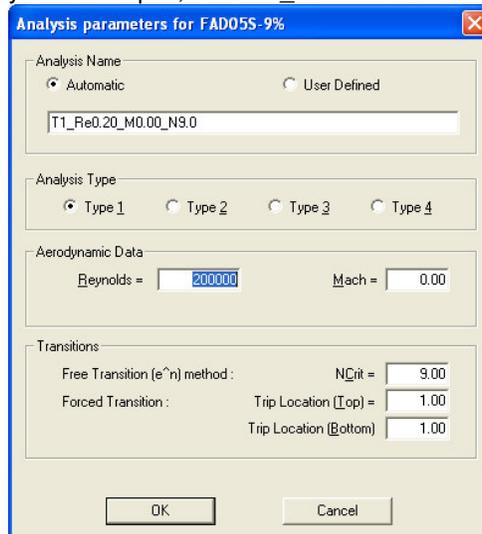
Utiliser ensuite le bouton « ouvrir » pour aller chercher un fichier de profil au format .dat. Le profil est alors dessiné par le logiciel. On peut bien sûr ouvrir autant de profils que nécessaire.



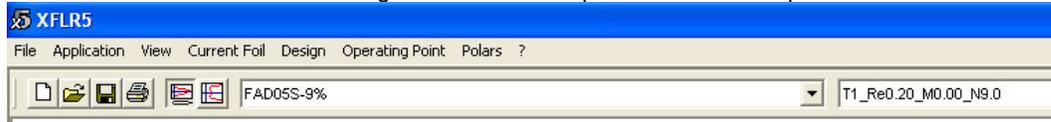
Aller ensuite dans le menu des polaires pour définir le type de polaire à calculer, qui s'appliquera au profil en cours :



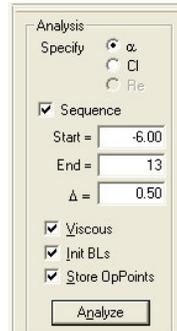
Mettre alors le nombre de Reynolds adéquat, ici le Re_{ref} calculé en 4.2 :



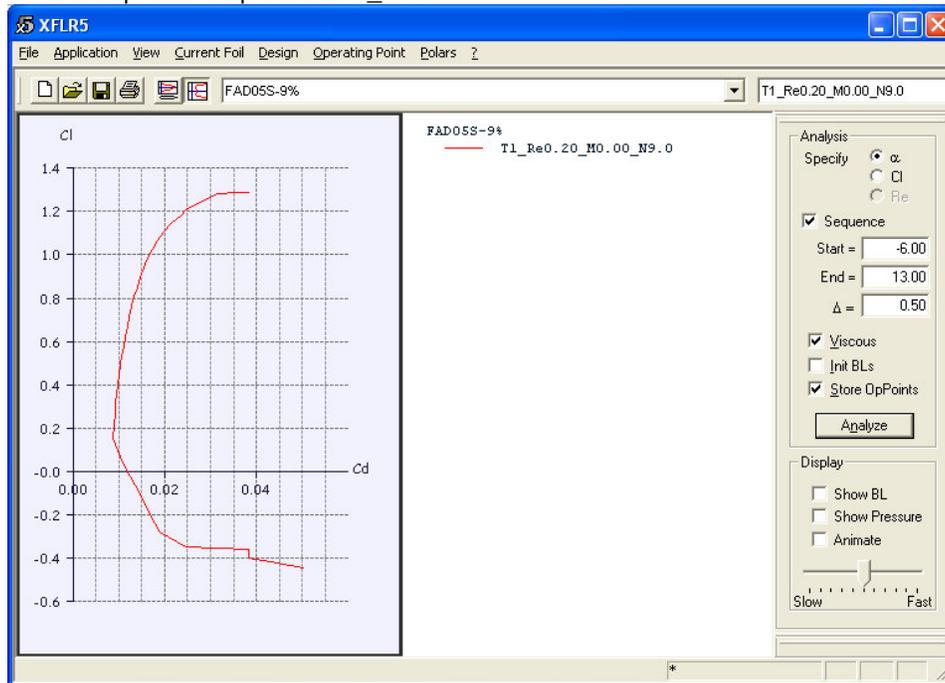
La barre de menu montre alors à gauche le nom du profil et à droite la polaire en cours :



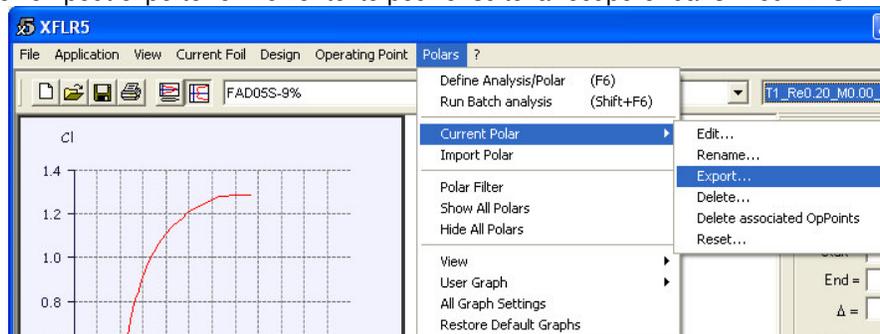
Et pour lancer le calcul de polaire, il suffit de remplir la plage d'incidence pour l'analyse (typiquement -6 à 13°), puis cliquer sur « analyse » :



On obtient ainsi la polaire du profil au Re_{ref} :

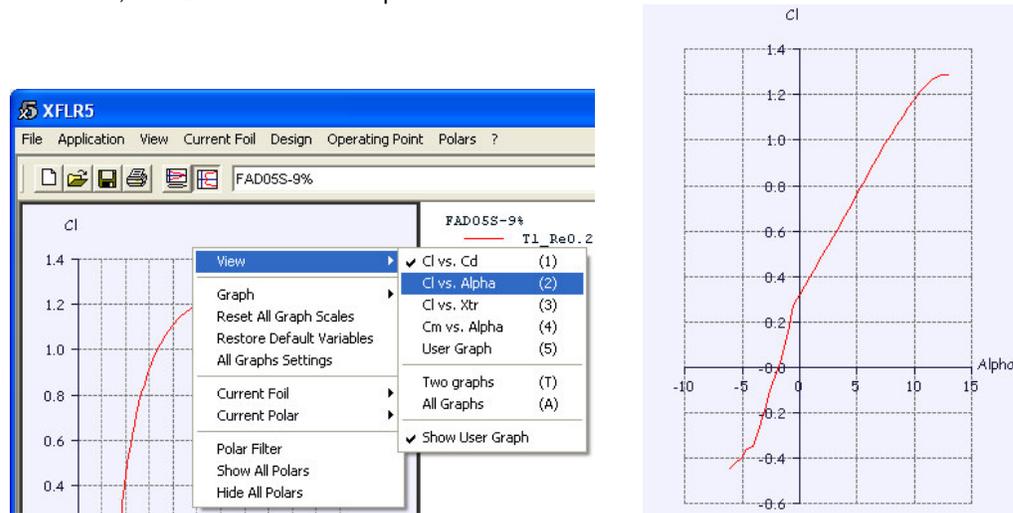


Polaires que l'on peut exporter en fichier texte pour ensuite la récupérer dans PredimRC :



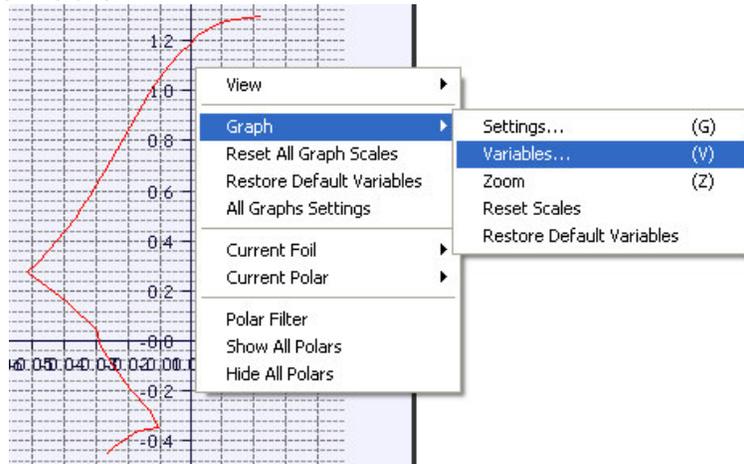
Avant de passer à un autre profil, il reste à mesurer les C_{m0} et α_{0} du profil en cours.

Pour α_{0} , un simple clic droit sur le fond d'écran permet de basculer sur l'affichage de la polaire souhaitée, ici C_z en fonction de α :



On peut ensuite mesurer graphiquement la valeur recherchée, en zoomant avec le scroll de la souris sur la zone de $C_z = 0$. Ici, $\alpha_{0} = -2^\circ$.

Pour C_{m0} , c'est un peu plus compliqué, il faut créer un graphe personnalisé ayant pour ordonnée C_z et abscisse C_m , toujours avec le clic sur le fond d'écran (menu « variables »). En zoomant, on lit dans cet exemple $C_{m0} = -0.028$.



Astuce : pour faciliter la recherche de α_{0} et C_{m0} , utiliser le menu « Settings » pour afficher un quadrillage plus précis.

NOTA : si on ne recherche que α_{0} et C_{m0} , sans se préoccuper des polaires profils, il existe d'autres manières plus simples pour obtenir ces valeurs :

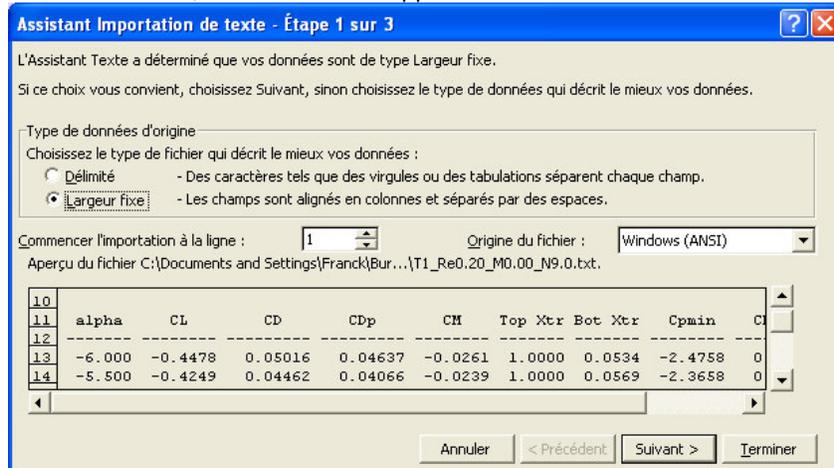
- elle peuvent être simplement données dans le fichier de certains profils.
- grâce un petit logiciel comme ProfilKonverter (<http://members.aon.at/p-51/download.html>). Les résultats sont relativement justes comparé à Xfoil : l'approximation dépasse rarement $0,2^\circ$ pour α_{0} et 0.01 pour C_{m0} , ce qui est largement suffisant pour bien dégrossir un projet.

4.5. Intégrer les polaires dans PredimRC

Après avoir lancé PredimRC, il faut se positionner sur l'onglet 1 (Profils). Pour plus de commodité, il vaut mieux supprimer les données existantes, mais ce n'est pas obligatoire.

En premier lieu, remplir le ou les noms des profils choisis, puis le Re_ref calculé en 4.2.

Ensuite, dans le menu « fichier » d'Excel, cliquer sur « ouvrir ». Dans la fenêtre qui s'ouvre, choisir le type de fichier « fichier texte », le menu suivant apparaît :



Cliquer directement sur terminer, la séparation des données étant bien faite par Excel pour les fichiers issus de XFLR5.

Toutes les données sont ainsi importées dans une feuille Excel. Il suffit ensuite de copier les données Cz (= CL) / Cx (= CD), pour la zone de Cz positif, dans la limite de 33 lignes (maximum prévu dans la zone d'importation de PredimRC) :

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
8	xtrf =	1.000 (top)	1.000 (b	ottom)				
9	Mach =	0	Re =	0.200 e	6	Ncr	it = 9	0	
10									
11	alpha	CL	CD	CDp	CM	Top Xtr	Bot Xtr	Cpmin	Chinge
12	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
13	-6	-0.4478	0.05016	0.04637	-0.0261	1	0.0534	-2.4758	0
14	-5.5	-0.4249	0.04462	0.04066	-0.0239	1	0.0569	-2.3658	0
15	-5	-0.4003	0.03847	0.03415	-0.0211	1	0.0601	-2.3379	0
16	-4.5	-0.3619	0.03827	0.03332	-0.0166	1	0.0707	-2.2185	0
17	-4	-0.3481	0.02461	0.01861	-0.01	1	0.0468	-2.6741	0
18	-3.5	-0.2805	0.01902	0.0122	-0.0129	0.9879	0.0542	-2.5053	0
19	-3	-0.1924	0.01658	0.00945	-0.019	0.9698	0.0639	-2.0884	0
20	-2.5	-0.1067	0.01467	0.00728	-0.0241	0.9457	0.0703	-1.7004	0
21	-2	-0.0281	0.01252	0.00512	-0.0282	0.9085	0.085	-1.3207	0
22	-1.5	0.0393	0.01098	0.00368	-0.0296	0.8554	0.1503	-1.06	0
23	-1				-0.0386	0.7994	0.1973	-0.7336	0
24	-0.5				-0.051	0.7394	1	-0.6104	0
25	0				-0.0477	0.6838	1	-0.6703	0
26	0.5				-0.0445	0.6336	1	-0.7331	0
27	1				-0.0416	0.5899	1	-0.7978	0
28	1.5				-0.0389	0.5507	1	-0.8728	0
29	2				-0.0363	0.5154	1	-0.9574	0
30	2.5				-0.0339	0.4829	1	-1.0482	0
31	3				-0.0316	0.454	1	-1.1453	0
32	3.5				-0.0293	0.4258	1	-1.2575	0
33	4				-0.0271	0.3985	1	-1.3725	0
34	4.5				-0.025	0.37	1	-1.4904	0
35	5				-0.023	0.3423	1	-1.6343	0
36	5.5				-0.021	0.3128	1	-1.8115	0
37	6				-0.0189	0.2845	1	-1.9948	0
38	6.5				-0.0169	0.2565	1	-2.1825	0
39	7				-0.0149	0.2281	1	-2.373	0
40	7.5				-0.0128	0.2006	1	-2.5695	0
41	8				-0.0106	0.176	1	-2.7861	0
42	8.5	1.062	0.01845	0.01074	-0.0084	0.1557	1	-3.0192	0
43	9	1.1018	0.01979	0.01218	-0.006	0.1378	1	-3.3439	0
44	9.5	1.1388	0.02146	0.01392	-0.0034	0.1222	1	-3.7192	0
45	10	1.172	0.02351	0.01605	-0.0005	0.1059	1	-4.0892	0
46	10.5	1.2066	0.02476	0.01762	0.0023	0.0948	1	-4.4872	0
47	11	1.233	0.02782	0.02076	0.0057	0.0844	1	-4.8663	0
48	11.5	1.259	0.02968	0.02299	0.0093	0.0779	1	-5.3002	0
49	12	1.2758	0.03158	0.02506	0.0137	0.0713	1	-5.7182	0
50	12.5	1.2804	0.03589	0.02959	0.0184	0.0649	1	-6.0188	0
51	13	1.2839	0.03821	0.03227	0.0222	0.061	1	-6.3521	0

Dans PredimRC, coller les données avec un collage spécial :

Importation et interpolation des polaires profils

Interpolation parabolique

Profils : FAD05S-3%

Cxmin Czopt k Cz décroch

Données de base

Cm0 Alpha0

Données importées (XFoil, JavaFoil, ...)

Re de référence : 200000

Profil :	Cz	Cx	Profil :	Cz	Cx
FAD05S-3%					

Polaires 2D profils

Graphique des polaires 2D profils. L'axe horizontal est Cx (de 0.000 à 0.030) et l'axe vertical est Cz (de 0.0 à 1.4). La légende indique : FAD05S-3% interpolé (bleu), interpolé (rouge), FAD05S-3% (vert), et FAD05S-3% (rouge).

1-Profils / 2-Allongement / 3-Geometrie / 4-Motorisation / 5-Servos

Choisir l'option « valeurs », puis OK. Les points importés apparaissent dans le graphique. Il se peut que cela ne fonctionne pas dans le cas où le séparateur décimal est la virgule. Dans ce cas, remplacer les points par des virgules dans le fichier d'origine, puis recommencer le copier/coller.

Importation et interpolation des polaires profils

Interpolation parabolique

Profils : FAD05S-3%

Cxmin Czopt k Cz décroch

Données de base

Cm0 Alpha0

Données importées (XFoil, JavaFoil, ...)

Re de référence : 200000

Profil :	Cz	Cx	Profil :	Cz	Cx
FAD05S-3%	0.2034	0.00828			
	0.2739	0.00823			
	0.3227	0.00845			
	0.3718	0.00885			
	0.4218	0.00929			
	0.4727	0.00977			
	0.5239	0.01028			
	0.5759	0.0107			
	0.6277	0.0118			
	0.6796	0.0122			
	0.7319	0.01267			
	0.7838	0.01319			
	0.8355	0.01373			
	0.8866	0.01434			
	0.9371	0.01504			
	0.9867	0.01588			
	1.0356	0.01673			
	1.0841	0.01764			
	1.1313	0.01869			
	1.177	0.01997			
	1.2209	0.02158			
	1.2623	0.02294			
	1.3034	0.02479			
	1.3413	0.02706			
	1.3733	0.0288			
	1.4047	0.03198			
	1.4253	0.03414			
	1.441	0.037			
	1.4487				

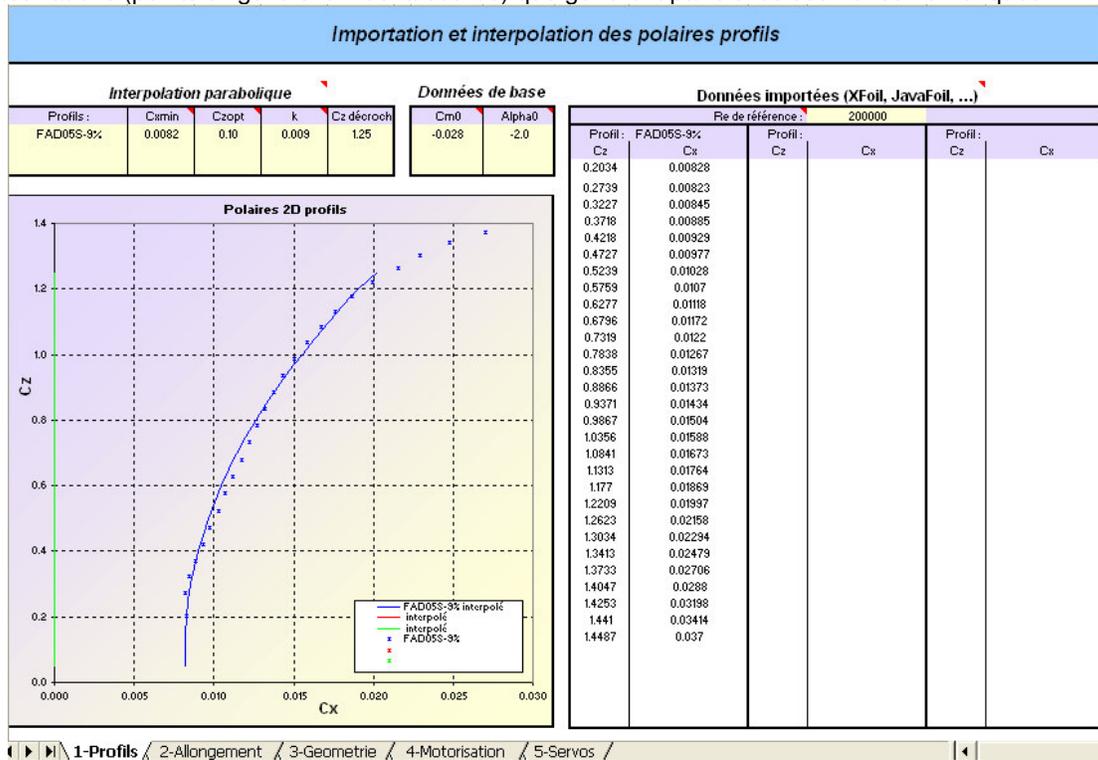
Polaires 2D profils

Graphique des polaires 2D profils. L'axe horizontal est Cx (de 0.000 à 0.030) et l'axe vertical est Cz (de 0.0 à 1.4). La légende indique : FAD05S-3% interpolé (bleu), interpolé (rouge), FAD05S-3% (vert), et FAD05S-3% (rouge).

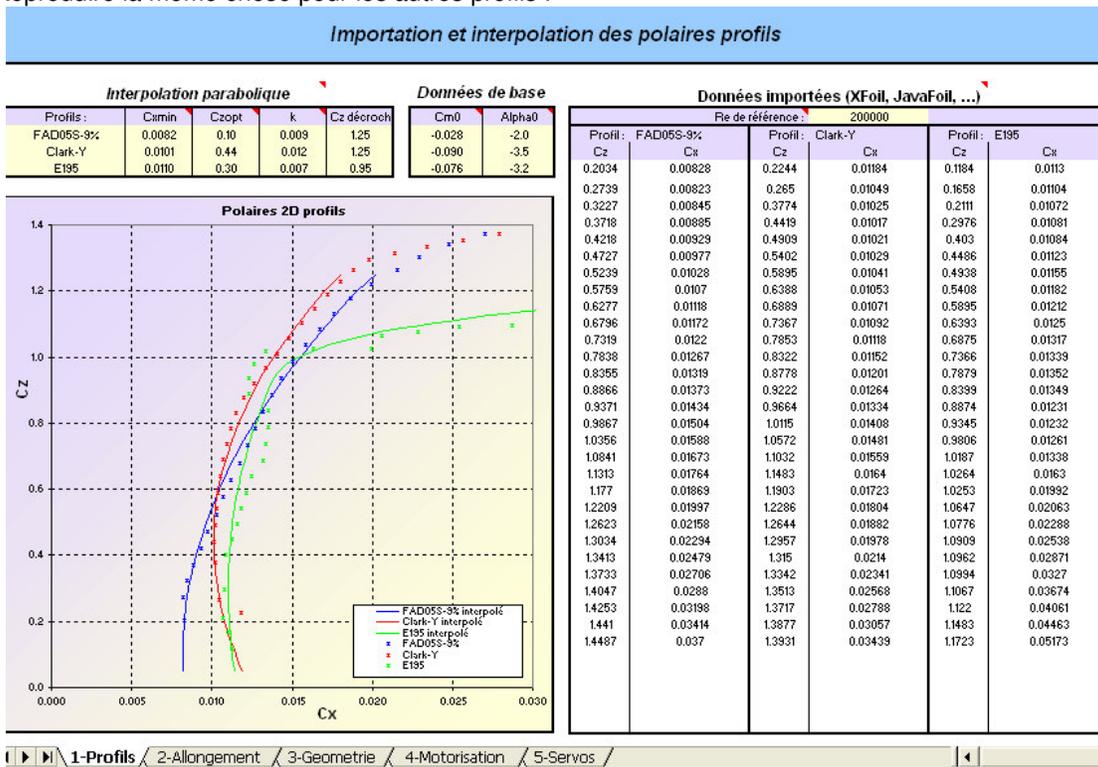
1-Profils / 2-Allongement / 3-Geometrie / 4-Motorisation / 5-Servos

Reste ensuite à régler les paramètres C_{xmin} et C_{zopt} (à lire dans les valeurs importées, à adapter au besoin), puis le coefficient k et le C_z de décrochage. Le but est de faire coller au mieux la courbe calculée sur les points importés. Ne pas oublier de reporter le C_{m0} et l' α_0 du profil.

L'avantage de cette méthode d'interpolation est que PredimRC s'affranchit ainsi des petites erreurs ou aberrations (points singuliers loin de la courbe) que génèrent parfois les souffleries numériques.



Reproduire la même chose pour les autres profils :



NOTA important : si un profil n'est pas utilisé (ou si on n'utilise que Alpha0 / Cm0 et pas sa polaire), il est nécessaire de mettre un caractère non décimal (par ex : -) dans le Cxmin correspondant pour que PredimRC ne le prenne pas en compte dans les courbes de performances et de recherche d'allongement.

Exemple :

Interpolation parabolique					Données de base	
Profils :	Cxmin	Czopt	k	Cz décroch	Cm0	Alpha0
FAD05S-9%	0.0082	0.10	0.009	1.25	-0.028	-2.0
Clark-Y	0.0101	0.44	0.012	1.25	-0.090	-3.5
-	-	-	-	-	-	-

4.6. Optimiser l'allongement

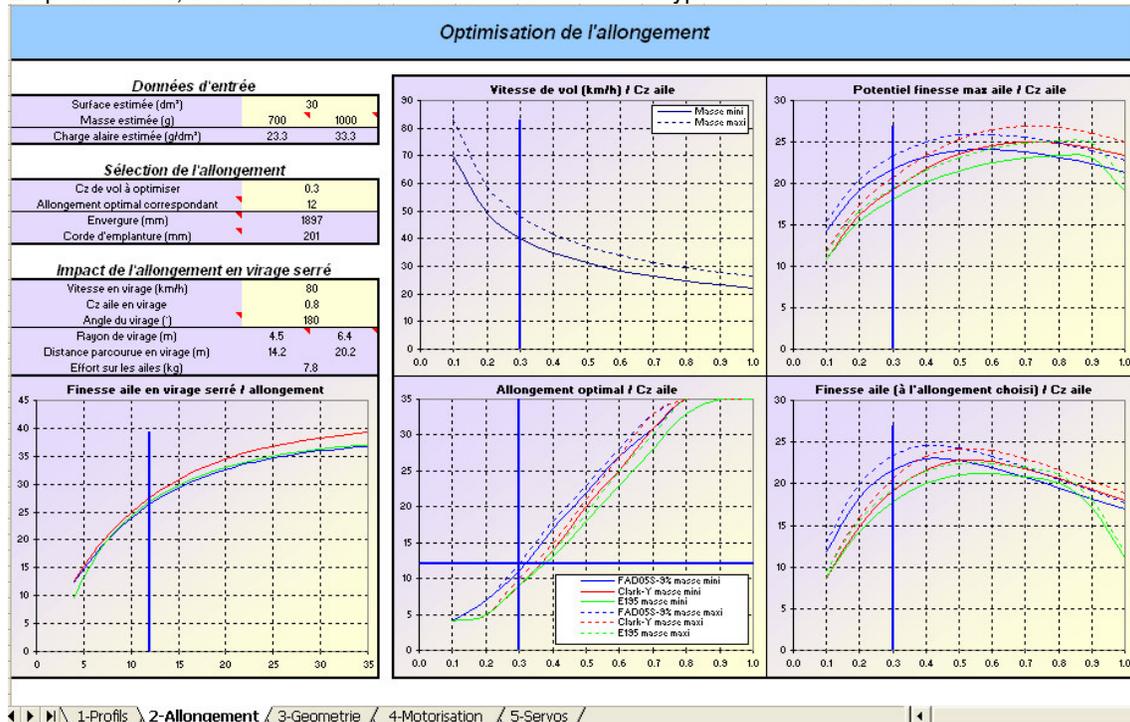
Cette étape est facultative si on ne recherche pas la performance en terme de finesse. Cette zone de PredimRC est donc volontairement indépendante du reste du logiciel (hormis les polaires profils). A noter que la finesse n'est pas l'apanage des planeurs : sur un avion, une bonne finesse se traduit par une moindre puissance nécessaire pour voler à une vitesse donnée.

La recherche de l'allongement optimal repose sur deux phénomènes antagonistes :

- Réduire l'allongement augmente la corde profil, donc son Re, et la traînée profil diminue.
- Augmenter l'allongement diminue la traînée induite.

Ce calcul ne dépend que de l'aile, les contributions du stab ou du fuseau dans les polaires ne créant qu'un offset sans influence sur l'allongement optimal.

En premier lieu, il faut saisir les données d'entrée avec les hypothèses de travail émises en 4.1 :



Ensuite, on cherche le Cz de vol (courbe en haut à gauche) correspondant à la vitesse estimée en 4.1, et l'allongement optimal correspondant (courbe en bas au milieu). En reportant ces valeurs dans les cellules appropriées, le curseur (en bleu) permet de vérifier graphiquement la valeur choisie.

La valeur d'allongement ainsi trouvée va donner les meilleures performances de finesse pour la vitesse voulue.

Pour aider au choix du Cz de vol (typiquement, 0.1 à 0.2 pour un modèle de vitesse, et 0.3 à 0.4 pour un modèle plus calme) et de l'allongement idéal correspondant, les deux courbes de finesse à droite donnent les informations suivantes :

- Potentiel finesse max (en haut) : chaque point de cette courbe donne la finesse maximale possible pour l'allongement optimal de ce point. Cette courbe est donc une courbe à allongement variable, une sorte d'idéal théorique.
- Finesse aile pour l'allongement choisi (en bas) : c'est la courbe de finesse pour l'allongement fixé par l'utilisateur (cellule : Cz de vol à optimiser). Comparée à la courbe de la finesse maxi, elle permet de visualiser la perte de finesse due à l'allongement choisi pour tous les autres Cz que celui optimisé.

Ensuite, pour faciliter le futur dessin du modèle (onglet 3), cet allongement est traduit en envergure et corde d'emplanture d'une aile elliptique (rendement optimal pour l'allongement choisi).

A l'usage des concepteurs de certains modèles de compétition (60pouce, F3F, F3B, F3D), qui doivent à la fois aller vite en ligne droite et tourner serrer sans perte de vitesse, PredimRC permet de quantifier la finesse en virage, ainsi que les distances parcourues pendant cette phase (à comparer avec la distance parcourue en ligne droite). Le graphique « finesse aile en virage serré » donne ainsi l'évolution de la finesse en fonction de l'allongement, pour les conditions de virage saisies juste au-dessus (vitesse et Cz aile). Le curseur bleu indique graphiquement la finesse retenue précédemment. Ces indications permettent au concepteur de pondérer l'allongement optimal, afin de trouver le meilleur compromis entre finesse en palier et finesse en virage.

Attention : l'optimisation de l'allongement peut conduire à vouloir utiliser des allongements importants. Il faudra alors s'assurer de la résistance mécanique des ailes avec la technique de construction appropriée. A cet effet, PredimRC indique l'effort que doivent supporter les ailes en virage serré (ou en ressource, au poids du modèle près).

Dans notre exemple, le Cz de vol de 0.3 est choisi pour l'optimisation de l'allongement. Suivant la masse (700 ou 1000 g), la finesse sera ainsi optimisée pour des vitesses de vol d'environ 40 à 50 km/h, pour le profil FADS05-9% qui présente une finesse meilleure pour ce Cz que les autres profils. L'allongement optimal correspondant sera 12, avec une corde d'emplanture d'environ 200 mm pour une envergure d'environ 1,90 m.

4.7. Dimensionner et régler le modèle

La créativité peut ici s'exprimer librement, à condition de respecter quelques règles simples :

- Si la finesse est un critère de dimensionnement, il faut que l'allongement se rapproche de l'allongement elliptique (calculé à partir de l'envergure et de la corde d'emplanture) et de l'allongement optimisé en 4.6. Voir aussi le coefficient d'Oswald en 4.8 qui donne une indication plus fine du rendement de l'aile.
- Les dimensions et la forme du fuselage ont un impact non négligeable sur les performances et le centrage.
- Pour les modèles à stabilisateur, le volume de stab est une donnée très importante, elle conditionne la capacité du modèle à évoluer aux grands angles.
- Attention aux géométries trop alambiqués. Souvent, une conception simple et élégante est un bon indice de conception correcte...

Nota : à partir de la version 1.9, PredimRC intègre la formulation de T. Platon pour la prise en compte de la contribution du fuselage dans le calcul de la limite de centrage arrière. Cette limite est plus représentative de la réalité, et on peut constater qu'elle est souvent plus avant que sans le fuselage, et ce d'autant plus que le fuselage est volumineux. Cette formulation a aussi l'énorme avantage de rendre homogène la notion de marge statique pour les ailes volantes et les appareils à stabilisateurs.

Voici l'interface de saisie de la géométrie :

Aile										
(mm)	Trapèze 1	Trapèze 2	Trapèze 3	Trapèze 4	Trapèze 5	Surface totale (dm ²)	30.52			
Corde maxi	200	170	0	0	0	Corde moyenne (mm)	167.2			
Corde mini	170	115				Envergure (mm)	1868			
Longueur	459	475				Allongement	11.43			
Flèche BA	20	65				Allongement elliptique	11.21			
Vrillage (°)	0	-0.5				Foyer aile (mm)	65.4			
Dièdre (°)	1	2								
V (km/h)	Re Emplanture	Re Saumon	Re Corde Moy.	Profil	FAD05S-9%	Cm0 profil	-0.03			
50	194444	111806	162516			Alpha 0 profil (°)	-2			
Stabilisateur										
(mm)	Trapèze 1	Trapèze 2	Trapèze 3	Trapèze 4	Trapèze 5	Surface totale (dm ²)	4.20			
Corde maxi	120	0	0	0	0	Corde moyenne (mm)	105.7			
Corde mini	90					Envergure (mm)	400			
Longueur	200					Allongement	3.81			
Flèche BA	20					Allongement elliptique	4.00			
Levier de stab	600	Hauteur (mm)	225		Profil	Biconvexe fin	Foyer stab (mm)	36.0		
Ouverture (°)	180	Dérive (dm ²)	2				Bras de levier (mm)	571		
							Volume de stab	0.47		
Fuselage										
Longueur	950	Largeur (mm)	50		Forme	Profilé	Surface mouillée (dm ²)	11.5		
Levier nez	250	Hauteur (mm)	60		Poutre	Normale	Surface projetée (dm ²)	3.3		
							Foyer fuselage	20%		

Pour les réglages, voici la logique utilisée dans PredimRC :

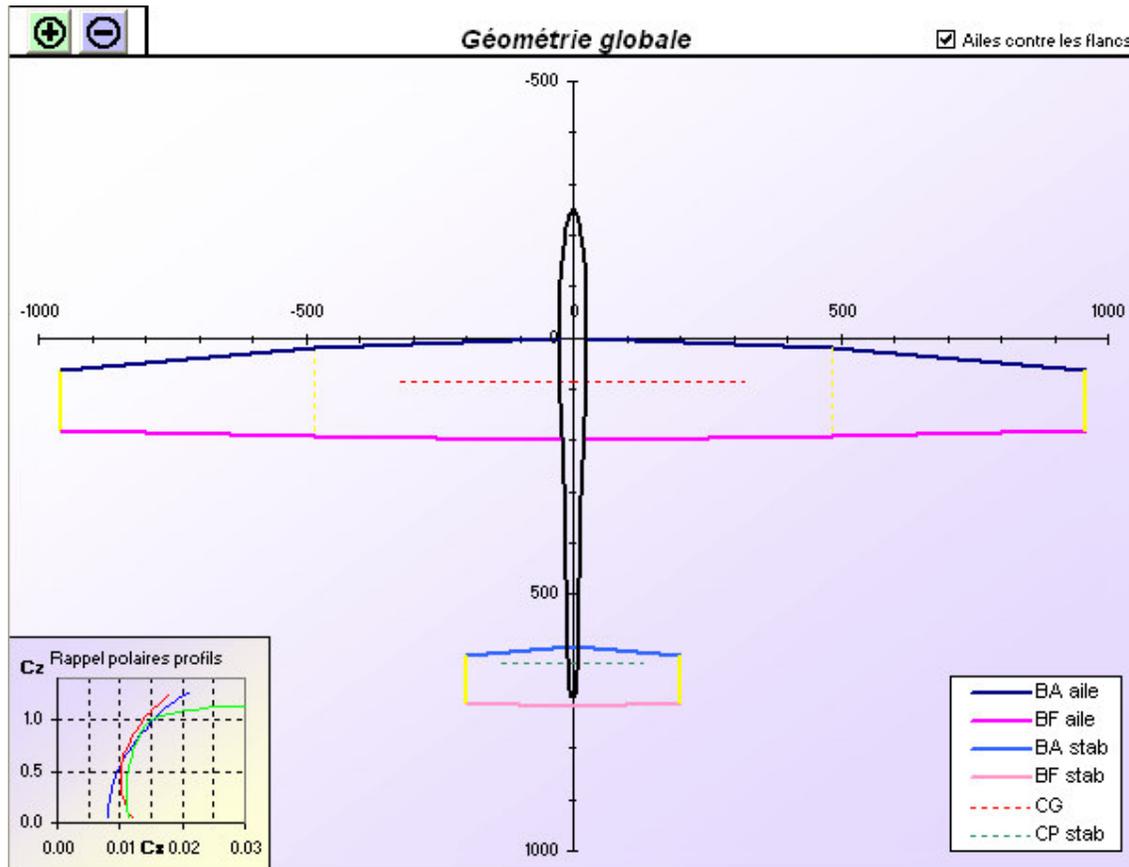
- La stabilité est fonction du choix de la marge statique, qui doit être choisie entre 0 (modèle parfaitement neutre) et 10% (modèle très stable), et qui positionne le centre de gravité par rapport à la limite de centrage arrière (= foyer du modèle complet). Généralement, quel que soit le modèle, une valeur de 5% est une bonne approche pour le premier vol.
- Le Cz aile pour trim de stab neutre : cette valeur est donnée à titre indicatif, il s'agit du Cz pour lequel le centre de portance coïncide avec le CG choisi, ce qui donne un stab neutre pour ce point de vol. Elle sert de valeur de contrôle de conception, particulièrement en soulignant (quand elle trop élevée, c'est à dire >1) un stab trop faiblement dimensionné ou un fuseau trop gros.
- Le Cz de vol : il conditionne les calages d'aile et de stab, qui seront ainsi adaptés à un type de vol en particulier. Généralement, on choisit un Cz de vol de l'ordre de 0.1 à 0.2 pour une machine de vitesse, jusqu'à 0.4 voire 0.5 pour un appareil de début ou de gratte. PredimRC alerte l'utilisateur en cas de choix incohérent (si Cz<0 ou >0.5). Attention, c'est une évidence, il faut aussi que le profil soit adapté au Cz de vol choisi.
- Le Cz de stab : pour que le stab fonctionne bien sur toute la plage de vitesse de vol, il ne doit pas dépasser 0.3 en valeur absolue, sous peine de risquer de décrocher avant l'aile.

Réglages					
Marge statique	5%		Cz aile pour trim de stab neutre	Cz aile	0.30
CG	36.4%	84.5		Vé longi. (°)	0.3
Lim AR, CG	41.4%	92.9		Calage aile (°)	1.2
Cz de stab max	0.20		0.24	Calage stab (°)	0.88
Masses (g)					
	700	1000			
Charges alaires (g/dm²)					
	22.9	32.8			

On peut donc constater que le centrage et les calages (par le biais du Cz de vol) sont découplés. Cela peut choquer, mais cette approche est pourtant très proche de la « vraie vie ». En effet, un réglage fin d'un modèle lors d'essais en vol montre que l'on peut modifier un centrage sans avoir un impact sensible sur le choix des calages, et vice-versa. Ce qui est confirmé par la théorie, qui montre que le centrage est conditionné par des considérations purement géométriques (foyer du modèle complet), alors que les calages le sont par une problématique purement aérodynamique.

Donc : on centre pour le modèle soit stable, et on le cale pour qu'il soit agréable (et performant) aux vitesses moyennes de vol (donc le Cz) auxquelles il est destiné.

Le graphique ci-après représente le modèle vue de dessus, ce qui permet de contrôler la cohérence (et l'esthétique...) de son travail :



4.8. Optimiser la géométrie d'aile

PredimRC intègre un calcul de répartition des C_z et de la portance, utilisant la méthode VLM (Vortex Lattice Method, développé sur Excel par John Hazel). Le principe consiste à segmenter l'aile en plusieurs petits morceaux (40 ici), et d'analyser les interactions entre chaque morceau. C'est assez proche du principe de calcul par éléments finis utilisé par les logiciels de calculs industriels (RDM, thermique, écoulement, ...).

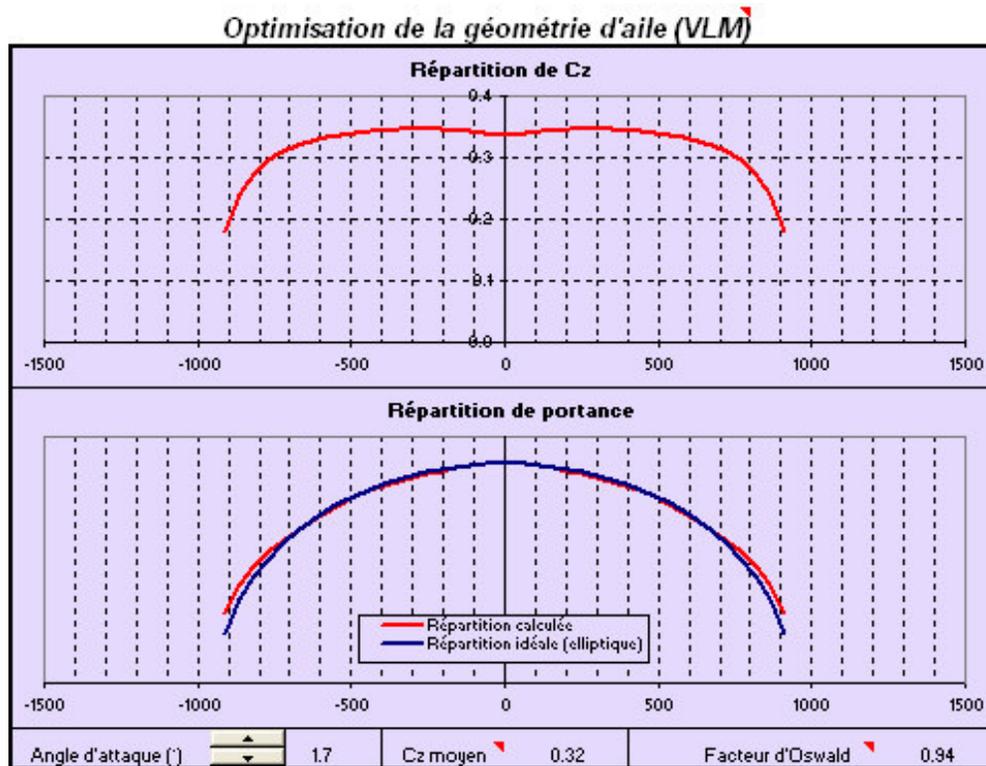
Avant de lire la suite, il faudra bien faire la distinction entre C_z et portance : le C_z est un coefficient, la portance est une force (voir paragraphe 3.2).

On utilise ces graphiques de la manière suivante, en faisant varier le C_{z_aile} par le biais de l'angle d'attaque de l'aile (bouton à flèches) :

- Répartition de C_z : en mettant une valeur de C_{z_aile} proche du décrochage, l'idéal est d'avoir une répartition dégressive de l'emplanture vers le saumon, afin que le décrochage se produise d'abord à l'emplanture. C'est un gage de comportement sain à basse vitesse ou lors d'un déclenché.
- Répartition de portance : idéalement, elle doit suivre une répartition de portance elliptique, qui donne la plus faible traînée induite pour un allongement donné. Bien entendu, il est souhaitable d'optimiser la répartition de portance pour le C_z de vol pour lequel on a cherché le meilleur allongement.
- Facteur d'Oswald : indique le rendement de l'aile par rapport à une aile elliptique de même surface et allongement. Sa valeur maximale (à rechercher) est donc de 1.

Deux axes d'action sont possibles pour optimiser les répartitions :

- En modifiant les cordes : la seule précaution à prendre est d'éviter de choisir une corde de saumon trop petite si le profil choisi supporte mal les faibles Re .
- En modifiant les vrillages : à manipuler avec beaucoup de précautions, particulièrement dans le cas de machines pouvant aller très vite. En effet, une évolution de vrillage peut être parfaite pour un C_z de vol, mais induire une évolution de portance non homogène à d'autre C_z , ce qui peut aller jusqu'à induire des efforts trop importants pour l'aile. Un cas classique consiste à mettre trop de vrillage au saumon d'un grand planeur à fort allongement, comme c'est le cas sur certains modèles du commerce : à grande vitesse, on peut voir le bout des ailes prendre un dièdre négatif à cause des efforts de portances négatifs en bout d'aile, ce qui parfois peut aller jusqu'à une rupture des ailes.



Nota : si la feuille de calcul LiftRoll de John Hazel (feuille qui a donc servi de base à ces calculs) est limitée à strictement 4 panneaux, la méthode VLM utilisée par PredimRC fonctionne quel que soit le nombre de panneaux par demi-aile (1 à 5), ce qui est quand même nettement plus souple.

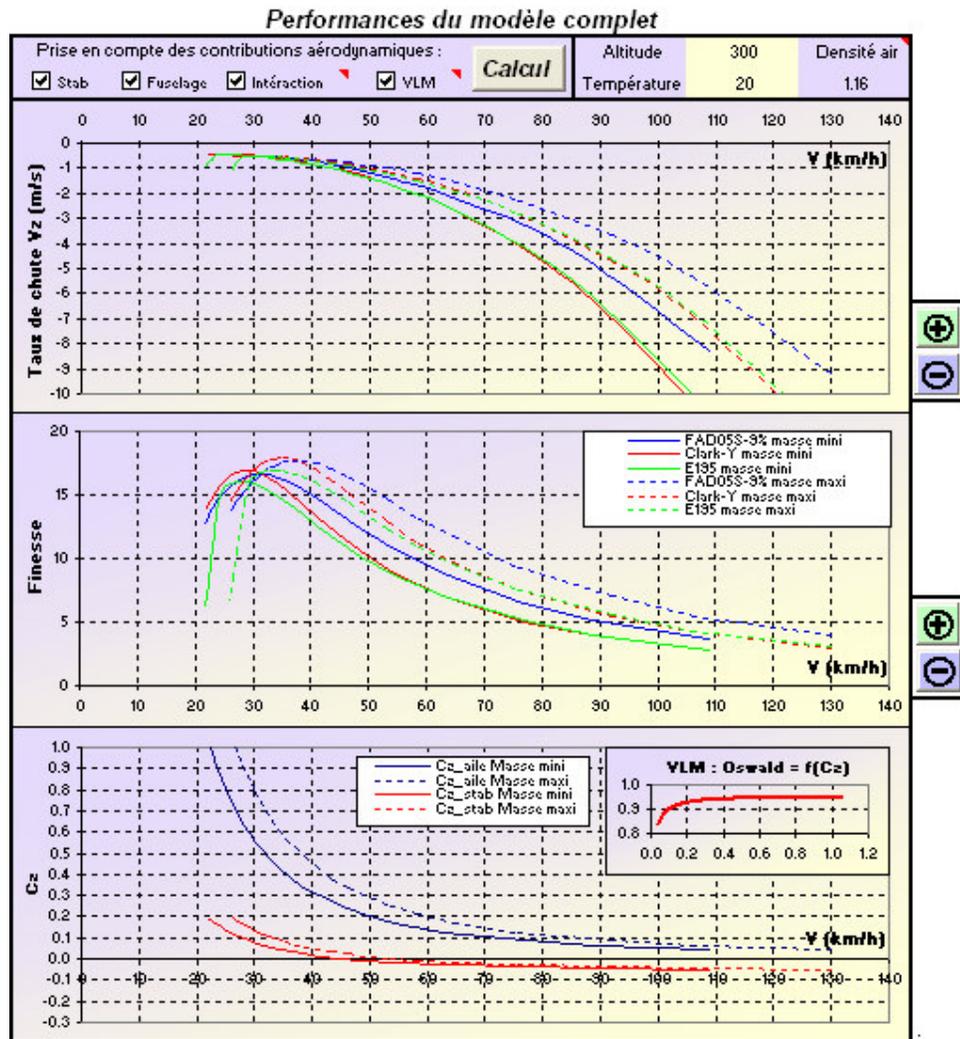
4.9. Evaluer les performances de son modèle

PredimRC permet d'afficher les courbes de performance de deux manières différentes :

- courbes de référence avec une aile elliptique « idéale » de même surface et allongement que celle en cours de conception.
- performances par la méthode VLM, qui prend en compte la géométrie complète des ailes.
Nota : ne pas oublier de cliquer que le bouton « Calculs » si la géométrie change.

Les conditions aérologiques (altitude, température) du site de vol peuvent aussi être prises en compte, ce qui montre l'impact de ces paramètres dans les performances d'un modèle.

Ces performances sont données dans les graphiques suivants :



Le premier graphique donne les polaires des vitesses du modèle complet, On y lit le taux de chute en fonction de la vitesse de vol. De manière pratique, dans le cas d'un planeur, on peut interpréter ces courbes comme donnant les meilleures vitesses (stabilisées) possibles pour une portance donnée.

Toujours en fonction de la vitesse de vol, la courbe de finesse est révélatrice des performances d'un aéronef. Cette courbe traduit le rapport distance parcourue / hauteur de départ. Ici, on voit que la finesse maxi est donnée par le Clark_Y, mais que le FAD05S-9% se montre plus performant en dehors de la finesse maxi. On y constate aussi l'effet important de la charge alaire : plus on charge, plus la finesse est obtenue à une vitesse élevée, et meilleure est la finesse maxi.

A l'opposé, plus on charge et plus de taux de chute mini est élevé...

La dernière courbe permet de retrouver le Cz de vol en fonction de la vitesse et de la masse, ainsi que le Cz de stab. On y trouve aussi l'évolution du facteur d'Oswald en fonction du Cz_aile.

Nota : grâce aux petite coches, on peut désactiver la prise en compte les contributions du stab (comprenant aussi la dérive), du fuselage, de l'interaction entre les éléments (10% de la traînée totale), ou du calcul VLM. Cela permet de mieux comprendre l'apport de chaque élément. Quant aux boutons +/-, ils agissent sur la facteur d'échelle pour améliorer la lisibilité.

Dans notre exemple, si on considère la vitesse de vol de 50 km/h, on peut lire les choses suivantes sur les courbes :

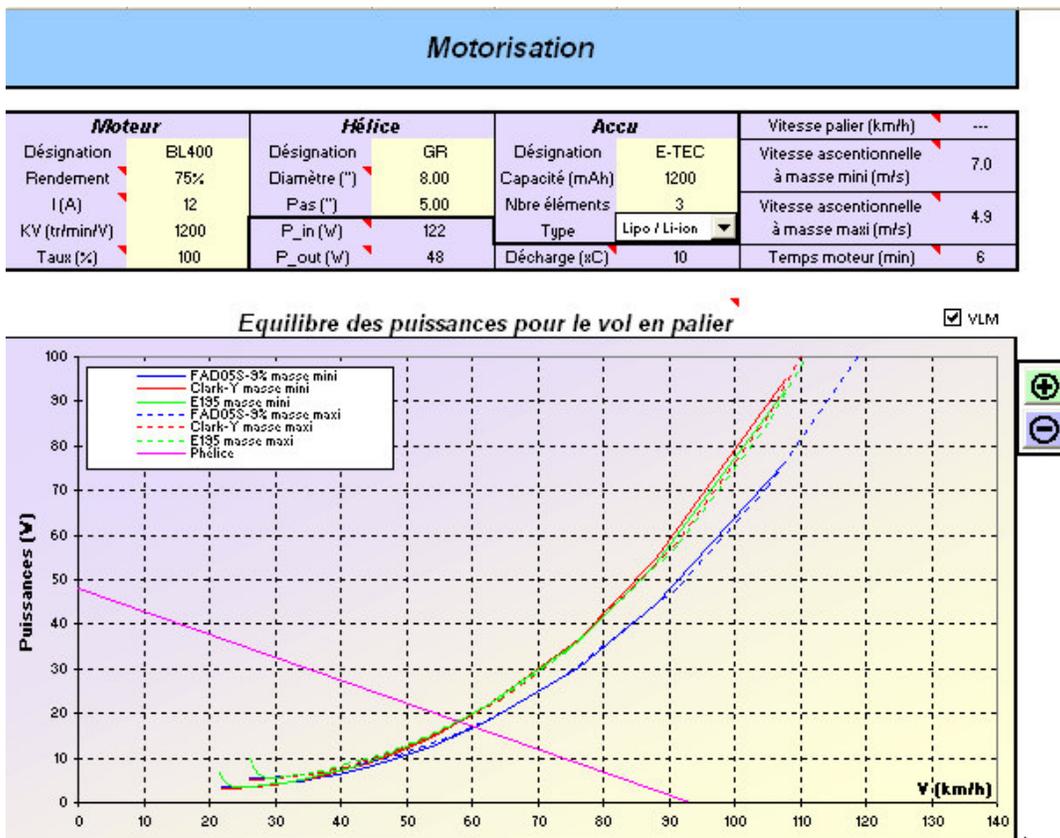
- Suivant la masse et le profil, le taux de chute va de 0.9 à 1,5 m/s. Pour voler de manière stable, le modèle doit alors voler dans une masse d'air ascendant de même taux, ou un éventuel moteur doit fournir une puissance équivalente (=masse * gravité * taux de chute).
- Toujours suivant la masse et le profil, la finesse va de 9,8 à 14,8. Cela veut dire que, en plané, le modèle avancera de 9,8 à 14,8m pour 1 m de descente dans la masse d'air.
- Suivant la masse, le Cz de vol correspondant va de 0,2 à presque 0,3

Une autre manière d'aborder les choses : dans l'exemple, le Cz de vol choisi pour les réglages est de 0,3. En se référant au graphique Cz/V, on en déduit une vitesse de vol d'environ 41 km/h à la masse minimale (700 g), et de 49 km/h à la masse maximale (1000 g). Ces vitesses sont celles vers lequel le planeur tendra naturellement une fois les manches lâchés, on peut donc les assimiler à des vitesses de meilleur confort de pilotage.

Cela est très intéressant pour un planeur de performance que l'on ballaste suivant les conditions météo : en ballastant, la finesse augmente ainsi que la vitesse de vol, sans qu'il y ait besoin de changer les réglages.

4.10. Dimensionner la propulsion

Ce dimensionnement ne nécessite que des valeurs d'entrées classiques, à saisir dans l'interface ci-dessous :



Par contre, la recherche de la vitesse de vol au moteur (en palier stabilisé) est plus originale : PredimRC met en regard (voir graphique ci-dessus) la puissance absorbée par le modèle avec la puissance transmise à la masse d'air par la motorisation, le tout en fonction de la vitesse. Cette dernière est maximale au sol (vitesse nulle) et est nulle quand le vitesse du modèle correspond au

régime à vide du moteur. Le point d'intersection des courbes donne cette vitesse de vol en palier. Cette méthode est particulièrement pertinente, à la condition de bien connaître le KV de son moteur. A noter, que, comme pour les autres courbes de performances, on peut afficher les puissances dans le cas d'un aile de référence elliptique ou avec le calcul VLM (plus juste).

Dans l'exemple, la vitesse de vol en palier est d'environ 60 km/h. On peut remarquer que, à ce niveau de puissance assez modeste, le profil a assez peu d'importance dans le résultat.

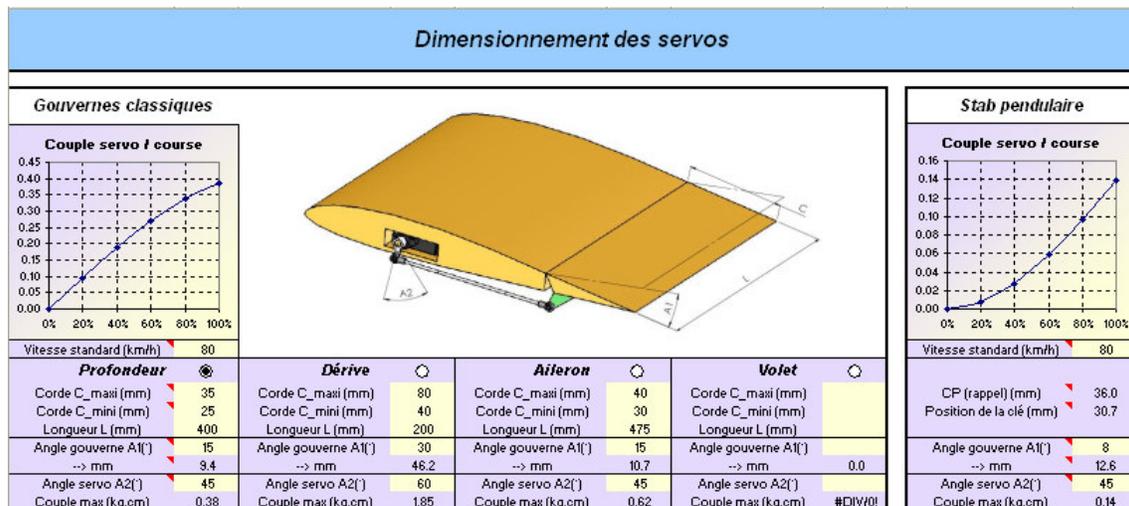
4.11. Dimensionner les gouvernes

PredimRC ne gère pas cet aspect de la conception d'un modèle, mais il est bon de rappeler quelques principes de bases :

- La corde d'une gouverne dépend du profil pour obtenir le meilleur rapport efficacité/trainée. En règle générale, il s'agit de 25% de la corde du profil, mais cela peut varier de 20 à 30%. Ce choix est particulièrement sensible sur les planeurs de performance dont les volets et ailerons sont utilisés en volets de courbure, avec souvent un couplage à la profondeur pour améliorer les performances en virage serré.
- Pour les ailerons non full-span (cas très classique) : leur longueur doit être proche de la moitié de celle de l'aile, et l'aileron doit se situer au plus proche du saumon.

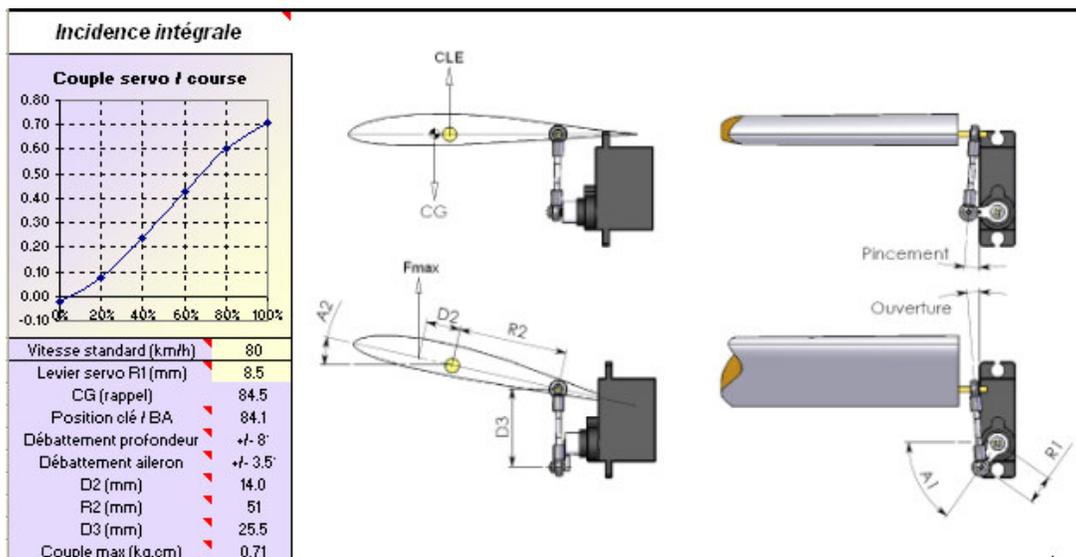
4.12. Dimensionner les servos

L'interface a été voulue ultra-simple, mais complète. Si en apparence les leviers de palonnier ou de guignol semblent manquer, il n'en est rien car ces bras de leviers sont englobés dans les débattements servo et gouverne.



A noter que l'on peut aussi calculer le couple nécessaire pour piloter un stab pendulaire, avec l'hypothèse standard que l'axe de rotation se trouve 5% devant le foyer du stab (situé à 25% de la corde moyenne).

Le cas d'un système de pilotage par incidence intégrale a aussi été pris en compte, sur la base de la formalisation développée par l'auteur. Là aussi, peu de valeurs à saisir, avec une grande fiabilité de résultat. Les bras de levier sont à respecter au mieux...



Pour les deux type de gouverne, un graphique donne la courbe d'évolution du couple en fonction de la course du servo, de 0 jusqu'au débattement maxi (100%). Dans le cas des gouvernes classique, un ensemble de boutons à cocher permet de choisir pour quelle gouverne le graphique doit s'afficher. A noter que, pour les système à incidence intégrale, la position neutre des gouverne ne correspond pas forcément à un couple nul sur les servos.

Nota : la vitesse saisie pour le calcul du couple demande quelques pincettes : il s'agit d'estimer une vitesse facilement atteinte par le modèle, notée ici « vitesse standard », et non de prendre une valeur trop élevée qui va sur-dimensionner inutilement les servos. A ce titre, quelques valeurs usuelles sont données dans le commentaire d'aide de PredimRC. De même, les valeurs de couple sont calculées au débattement le plus important, ce qui donne une certaine marge de sécurité. En effet, particulièrement à haute vitesse, les gouvernes sont très rarement utilisées à leur plein débattement. Raison de plus pour ne pas sur-évaluer la vitesse standard de son modèle.

Pour le modèle de l'exemple, la vitesse standard retenue est de 80km/h. Les couples calculés sont assez classiques pour ce type de modèle : ils correspondent à des micro-servos classiques de 5g à 9g pour les ailerons et profondeur, et à un servo de 15g pour la dérive.

5. Conclusion

Voilà, c'est terminé ! Pour ceux qui auront parcouru ce document de long en large, vous l'aurez compris : au-delà de l'outil, c'est une véritable méthode de conception de modèle que je vous propose ici, complète et performante. A vous de jouer...

F.A.