

Dis moi, comment ça tourne ?

Olivier Caldara

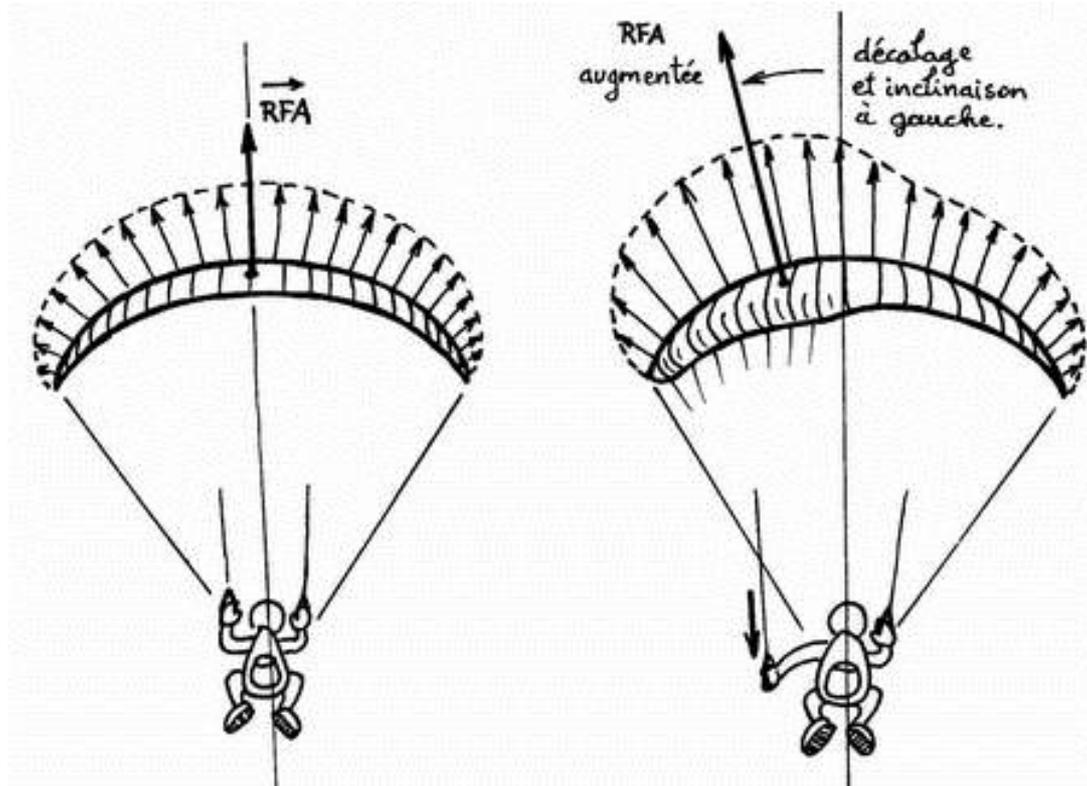
Bio Air Technologies

<http://www.bio-air-technologies.com>

oliv.calda@club-internet.fr

olivier.caldara@dassault-aviation.com

Parution Vol Libre n° 307 Février 2002



Dis moi, Comment ça tourne ?...

Pilote de parapente depuis 91, je calcule et construis mes propres voiles depuis 96. Ces quelques réflexions m'ont été nécessaires pour déterminer les paramètres de construction (ou « design drivers ») de la voile Elisa (VL 280) puis de la Bionic (VL 299). Une belle aventure!

Compromis et question

Tout aéronef est le résultat d'un compromis, que ce soit un avion de chasse ou un parapente. Il est de ce fait nécessaire, avant tout choix, de comprendre les effets et conséquences de telle ou telle caractéristique sur le produit final, afin d'éviter un résultat décevant: une voile perfo mais qui ne tourne pas, une voile maniable ou "béton" impossible à fermer mais qui vole comme un pavé etc.

L'une des questions les plus importantes à résoudre pour ne pas se planter lors du design d'une aile est la suivante :

- **Comment tourne un parapente et quels sont les paramètres qui agissent sur les caractéristiques du virage ?**

Mon propos dans la suite est de tenter de répondre simplement mais en détails à cette question tout en essayant de mettre en évidence les principes de base de la mécanique du vol qui s'appliquent à tous les types d'aéronef (avion, delta ou parapente) et démystifier l'incompréhension de la mise en virage du parapente qui n'est pas aussi mystérieuse et complexe qu'elle en a l'air. Une fois passé la formule vous allez tous comprendre!

Comment le frein agit-il sur un profil de parapente ?

Je vous propose en premier lieu de "tordre le cou" à quelques idées reçues sur l'effet aérodynamique des commandes de frein, en rappelant les règles de base régissant l'aérodynamique des profils, déterminées expérimentalement par nos grands anciens depuis Otto Lilienthal et par les théories de la mécanique des fluides depuis le mathématicien russe Joukowski. Voir à ce sujet l'excellent ouvrage de fond "Theory of Wing sections" d'Abbott & Doenhoff, rassemblant les travaux du NACA dans les années 30-40, l'organisme étatique américain qui donnera naissance plus tard à la NASA.

Le frein, comme toute gouverne de bord de fuite, agit d'abord en augmentant le coefficient de portance du profil. C'est pour cette raison principale qu'un parapente ralentit lorsque les freins sont actionnés symétriquement : la diminution de vitesse V compense l'augmentation du coefficient de portance C_z dans la RFA, pour équilibrer le poids dans l'équation de portance :

$$m \cdot g = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S \cdot \sqrt{C_z^2 + C_x^2}$$

En effet, la cambrure du bord de fuite d'un profil est grosso modo équivalente au braquage d'un volet et provoque les effets suivants, toutes choses égales par ailleurs (voir figure 1):

- 1) une augmentation très importante de la portance (typiquement au moins 50% de portance supplémentaire pour 20° de braquage d'un volet de 20% de corde) par translation de la courbe $C_z = f(\alpha)$,
- 2) une augmentation de la traînée de 10 à 100 fois inférieure à l'augmentation de la portance, comme on peut le voir sur la polaire du profil avec volet comparée à la polaire du profil sans volet,
- 3) un déplacement du centre de poussée vers le bord de fuite,
- 4) une diminution de l'incidence particulière α_0 pour laquelle la portance générée par le profil est nulle,
- 5) une augmentation du moment à piquer du profil.

L'appellation "frein" est donc impropre puisqu'il s'agit en premier lieu d'une gouverne d'augmentation de portance.

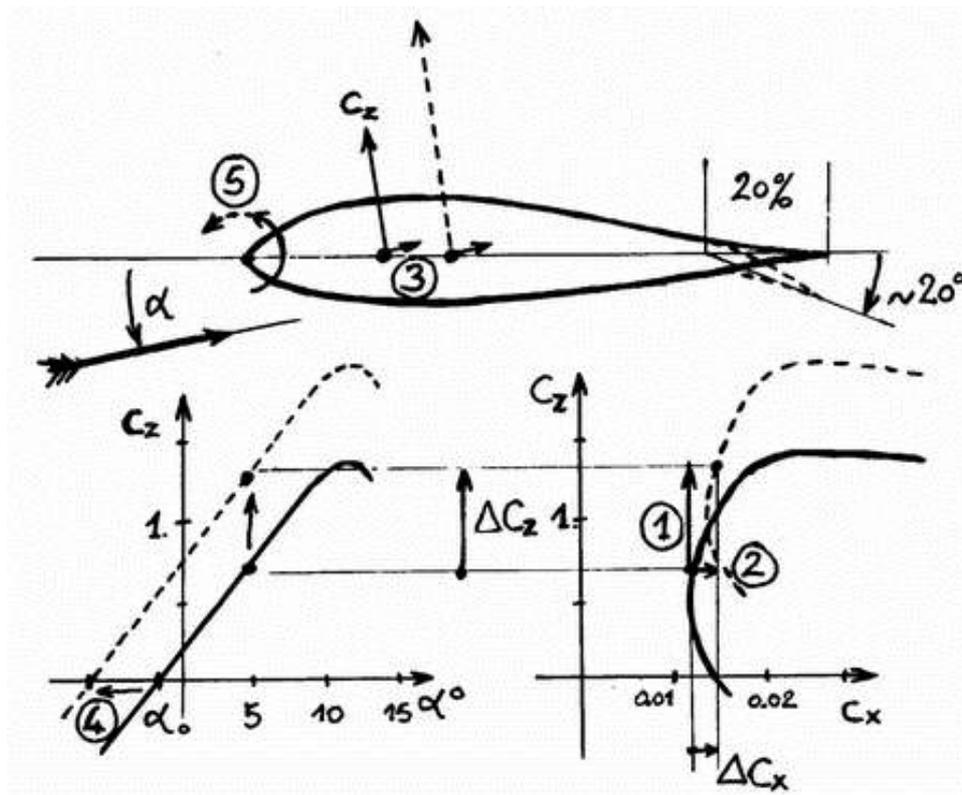


figure 1 : action du volet de frein sur les caractéristiques du profil

Pourquoi une action sur le frein gauche provoque-t-elle un virage à gauche ?

Une première analyse pourrait laisser penser qu'une action sur le frein gauche, avec augmentation de portance à gauche, provoque un virage à droite.

Pour répondre à cette question, il faut analyser le parapente en vue arrière, et déterminer quel mouvement de rotation est entraîné par le débattement du frein.

Comme pour toute surface portante dont la courbure est augmentée, l'effet prépondérant est que la portance de l'aile gauche est fortement augmentée, un effet secondaire étant une faible augmentation de traînée. La RFA se déplace donc vers la gauche comme on peut s'y attendre mais ce n'est pas tout. **La RFA s'incline plus ou moins suivant la répartition de portance obtenue par le braquage du frein, et la forme de la voûte, comme sur la figure 2 :**

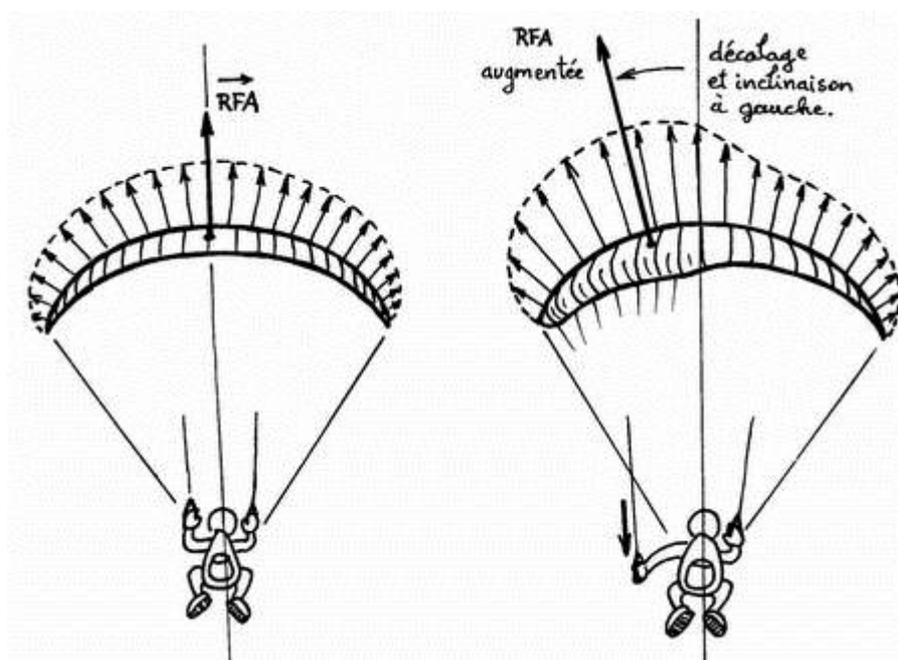


figure 2 : action du frein sur la RFA

Pour tout aéronef, les mouvements de rotation s'effectuent autour du centre de gravité (CG), et peuvent être caractérisés par le moment de rotation autour de ce point (le coefficient de moment se note C_l dans le cas du roulis). Tout dépend de la forme de la voûte et de la hauteur de suspentage. La figure 3 explique pourquoi l'action sur un frein provoque une mise en virage plus ou moins prononcée, ou un roulis inverse sur une voile dont la voûte est trop « plate ».

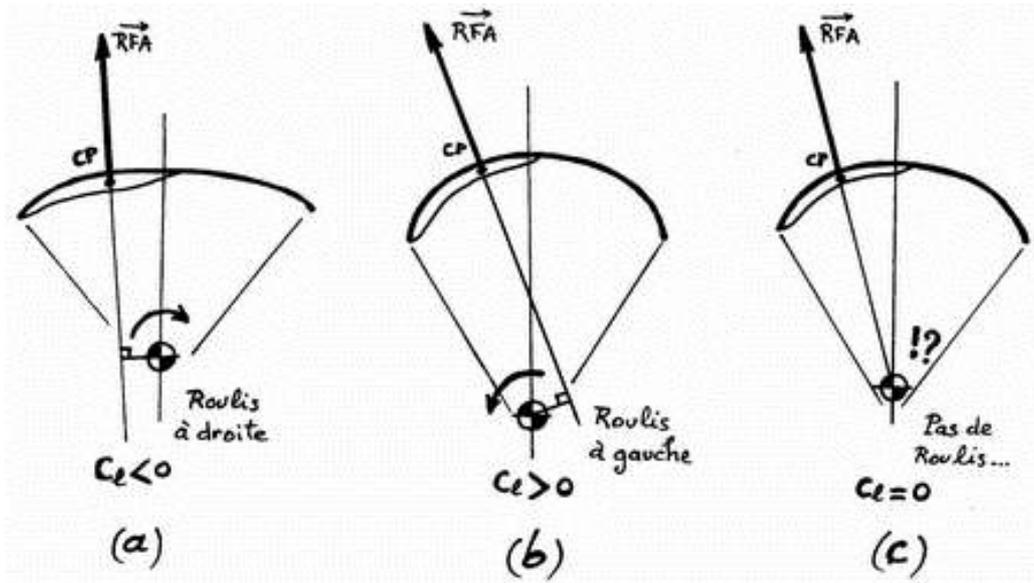


figure 3 : moment de roulis en fonction de la voûte et du suspentage

Le moment en roulis C_l peut donc être positif, négatif ou nul, suivant les paramètres fondamentaux de construction que sont :

- La forme de la voûte
- La hauteur de suspentage qui fixe la position du centre de gravité
- La répartition du freinage au bord de fuite.

Le moment de lacet est apporté par l'augmentation de traînée due au braquage du volet gauche et l'augmentation de la traînée induite de l'aile gauche. Il est toujours dans le « bon » sens car toujours du côté du volet braqué. Si le profil de l'aile est trop performant et ne traîne pas assez, certains constructeurs utilisent des dispositifs de traînée en bout d'aile (Advance sur les Sigma et Oméga).

Pourquoi une aile est-elle stable ou instable spirale ?

Dans un virage stabilisé, le parapente est l'aéronef qui détient le record du plus faible rayon de virage, comme le montre la figure 4, comparant le parapente, le delta et le planeur :

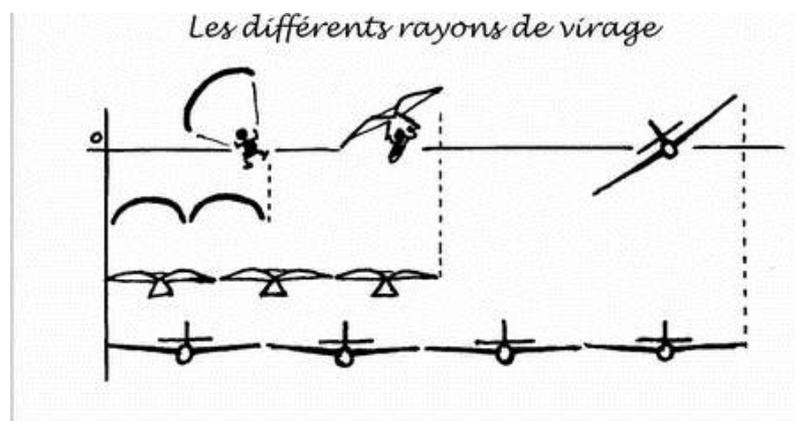


figure 4 : rayons de virage comparés

Pour fixer simplement les idées, on peut dire par exemple que le parapente tourne fréquemment sur un rayon de 2 envergures, lorsque le delta ou le planeur tournent respectivement sur 3 ou 4 envergures. Le rapport des vitesses entre les stabilos gauche et droit est, dans cet exemple ci-dessus, de 2 pour le parapente alors qu'il est de 1.5 pour le delta et de 1.3 pour le planeur.

Les rapports de portance, proportionnelle au carré de la vitesse comme on le sait, sont donc respectivement de 4 pour le parapente, 2.25 pour le delta et seulement 1.7 pour le planeur. La répartition de portance en envergure varie donc très fortement sur un parapente en virage, même avec des commandes symétriques, comme le montre la figure 5 :

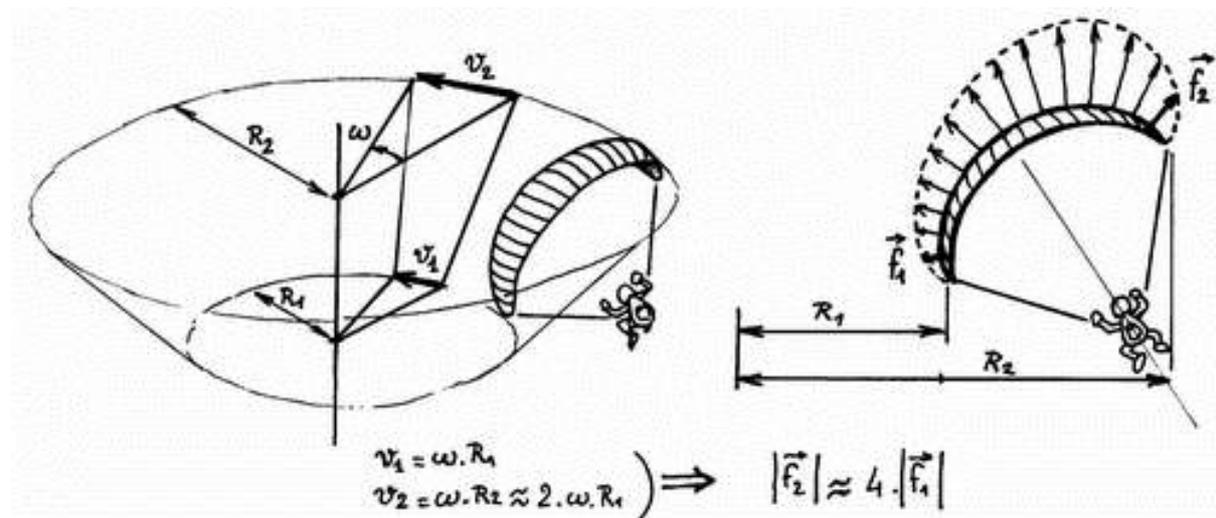


figure 5 : variation de portance le long de l'envergure en virage

La modification de la symétrie de la répartition de portance peut provoquer une stabilité ou instabilité spirale suivant toujours les mêmes "design drivers" :

- La forme de la voûte (plus ou moins plate)
- La hauteur du suspentage,
- La répartition du freinage au bord de fuite

La figure 6 montre les différents cas qui peuvent se présenter :

- **premier cas** : avec une voûte plate et/ou un suspentage court, le parapente subit un roulis induit "verse" et tend à engager le virage (instabilité spirale),
- **second cas** : avec une voûte ronde et/ou un suspentage long, le parapente subit un roulis induit "inverse" et tend à sortir du virage (stabilité spirale),
- **troisième cas** : si la voûte et le suspentage se combinent pour donner un moment nul, le parapente reste à inclinaison constante (neutralité spirale).

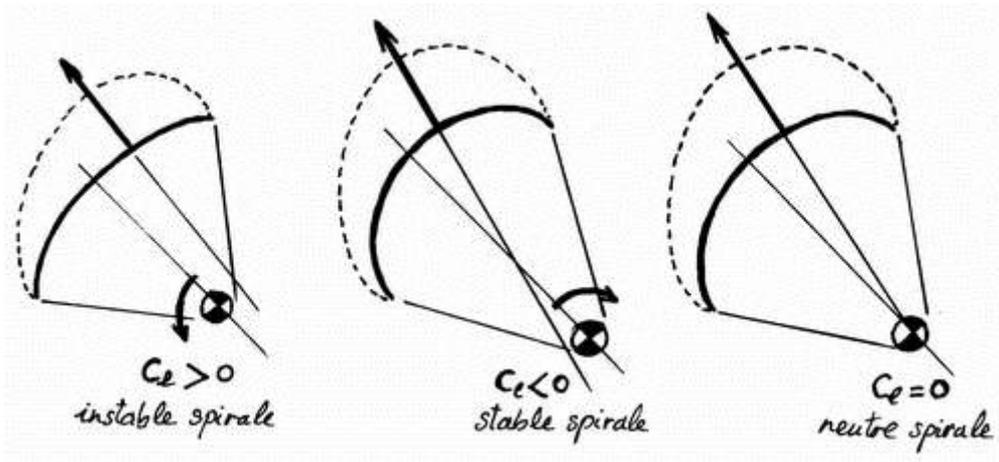


figure 6 : stabilité et instabilité spirale

Bien entendu, les résultats obtenus sur une voile pour une inclinaison donnée n'ont aucune raison d'être les mêmes pour une inclinaison différente, ce qui explique le caractère fantasque ou dangereux de certains modèles.

En règle générale, les voiles homologuées proposées sur le marché (pas toutes ...) sont plutôt stables spirale ou neutres spirale pour des inclinaisons "normales". Cela explique, toujours en règle générale, que le maintien en virage à inclinaison constante nécessite pour ces voiles le maintien de la commande du côté interne au virage, pour compenser la répartition de vitesses et annuler le moment de roulis induit inverse, comme le montre la figure 7 :

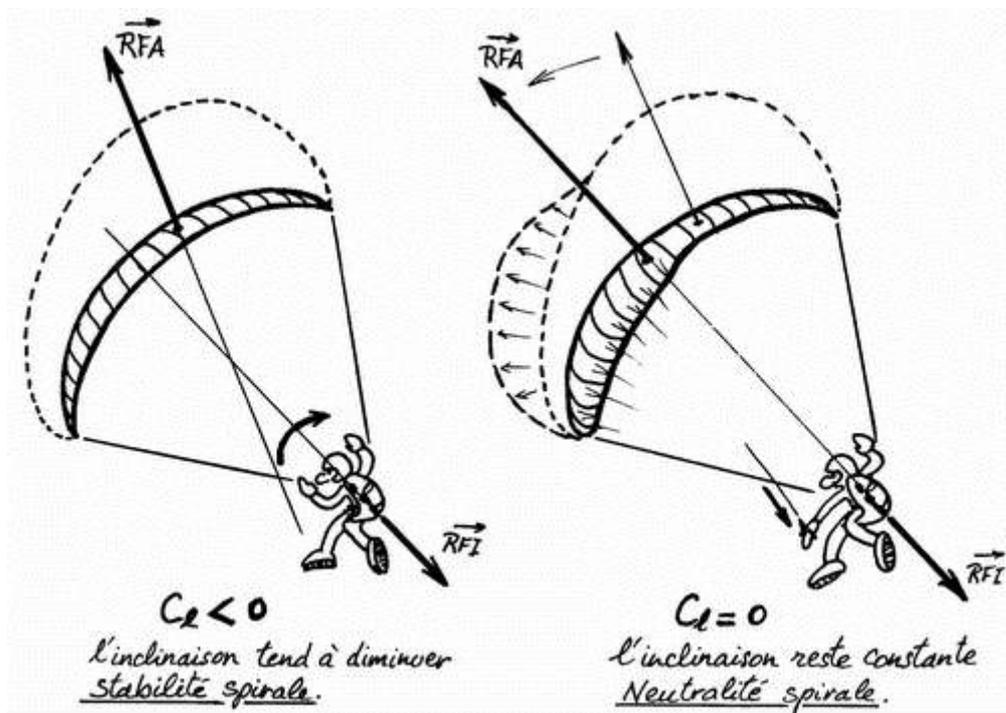


figure 7 : virage stabilisé

Est-ce que ces quelques réflexions servent à quelque chose ?

Elles sont probablement fondamentales pour le concepteur de parapente puisqu'elles permettent, avec des moyens de calcul adaptés, de déterminer la voûte, la hauteur de suspentage et la répartition de freinage d'un nouveau projet. Certes, ensuite il reste toujours à effectuer des tests et réglages, longs, nombreux, minutieux, pour affiner les comportements en virage. C'est là, qu'avec de gros moyens, leurs multiples prototypes et pilotes, des constructeurs professionnels font la différence avec les petits amateurs. Mais, de nos jours, un concepteur peut pratiquement garantir que le parapente vole "correctement" en sortant de l'ordinateur!

Pour le pilote lambda, elles lui permettront peut-être de mieux connaître sa voile et les autres ailes, de les comprendre et d'apprécier leur pilotage avec l'impression d'en savoir un peu plus sur nos si extraordinaires machines volantes.

Enfin, je serais déjà satisfait si ma modeste contribution pouvait permettre d'éviter d'entendre à la terrasse de Planfait ou d'ailleurs, voire de lire dans la presse "spécialisée", le sempiternel discours sur le caractère complètement mystérieux et incroyablement compliqué du virage et du pilotage des parapentes, tellement compliqué d'ailleurs que les grandes industries aérospatiales se casseraient les dents dessus!



Olivier Caldara

Bio Air Technologies

3 résidence de la source

78440 Issou

France

Tél: 01 30 93 59 12 ou 01 47 11 38 52 ou
06 12 21 47 23

Fax : 01 47 11 57 42

E-mail: oliv.calda@club-internet.fr

olivier.caldara@dassault-aviation.com