

REFLEX...IONS

■ Texte et croquis :
Olivier Caldara
Photos : Paramania,
ITV, Dudek, Philippe
Haulait ■

Les profils « reflex », la panacée ? Avantages, inconvénients ? Quels domaines d'utilisation ? En vol libre ? En paramoteur ?

THÈME À LA MODE ET HISTOIRE ANCIENNE : LE PROFIL REFLEX

Avec l'avènement récent des ailes rapides, nous assistons aujourd'hui à une nouvelle étape, une de plus... de l'éternel polémique entre les incondtionnels et les détracteurs de telle ou telle technique, « nouveauté » ou habitude dans notre domaine bouillonnant du vol libre.

Il est à noter, nous allons le voir plus loin, que cette « innovation » des profils reflex est déjà largement utilisée en parapente et n'a pas seulement ses applications dans le domaine unique du paramoteur. Comme Monsieur Jourdain qui faisait de la prose sans le savoir, de nombreux pilotes de parapente volent sous une aile à profil « reflex » sans être au courant. Une des applications les plus anciennes des profils reflex, au moins quelques millions d'années, est représentée par la zanonie, une cucurbitacée dont la technique de dissémination repose sur les exceptionnelles caractéristiques aérodynamiques de sa graine (voir figure 1) : une membrane au profil autostable en S, autre définition du « reflex ». Une graine idéalement centrée, en avant du foyer de la membrane, lui permettant un vol plané stable.



Figure 1 : la graine de zanonie.

Les caractéristiques de cette graine ont mené plusieurs inventeurs du début du 20^e siècle à imaginer des machines volantes en reprenant les principes. Le plus célèbre est sans aucun doute Igo Etrich qui, vers 1908, réalisa un appareil viable sur ce principe exact (figure 2),

puis en dérivant un appareil muni d'une queue, le « Taube » (pigeon). Entre parenthèses, cette invention est un exemple parfait de la démarche bionique :

- analyse de la nature et des solutions naturelles ;
- compréhension des principes de base ;
- adaptation à l'aide des technologies humaines.

L'appareil d'Igo Etrich, le « Taube » fut l'un des plus efficaces appareils de reconnaissance du début du 20^e siècle.

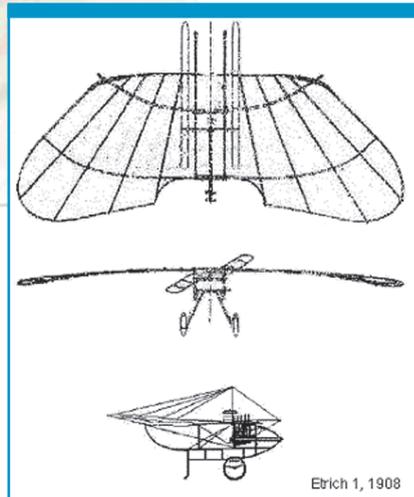
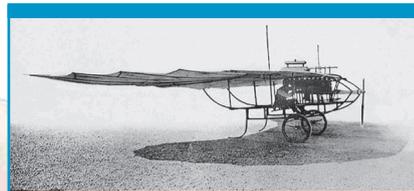


Figure 2 : le premier appareil d'Igo Etrich.

Par la suite, nombre d'ailes volantes ont utilisé ce type de profil « en S », notamment la majorité des ailes à flèche nulle ou modérée, dites « planches volantes ». Par exemple, les ailes Fauvel et une grande partie des deltas de vol libre.

Tous les utilisateurs de ces profils en ont parfaitement compris les avantages et inconvénients, que nous rappelons ci-dessous.

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES PROFILS

Préalablement à l'énumération des spécificités des profils reflex, et pour leur bonne compréhension, il semble néces-

saire de rappeler les caractéristiques générales des profils déjà présentées dans les chroniques « aéro-mécavol » des numéros précédents.

Tout profil peut être caractérisé, d'une part, du point de vue de sa portance (figure 3) :

- par une loi croissante en fonction de l'incidence, jusqu'à une incidence maximale (α_{max}) correspondant à une portance maximale C_{zmax} avant décrochage ;
- par une incidence α_0 pour laquelle sa portance est nulle.

La loi caractéristique de la portance en fonction de l'incidence est linéaire. Plus l'incidence de portance nulle est faible, plus le C_z est élevé pour une incidence donnée :

$$C_z = k \cdot (\alpha - \alpha_0)$$

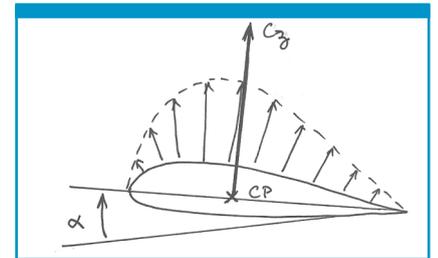


Figure 3 : répartition de portance.

et, d'autre part :

- par la position de son centre de poussée :

La position du centre de poussée CP, dépend, pour une incidence donnée, de la répartition de portance. Pour un profil (1) de type reflex, très « chargé » sur l'avant, ou un profil (2) très creux et « chargé » sur l'arrière, le CP n'est pas au même endroit (figure 4).

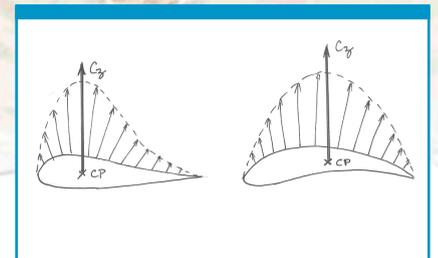


Figure 4 : position variable du CP en fonction du type de profil.

Pour cette incidence, le point de centrage où l'aile est équilibrée se situe bien

évidemment au centre de poussée CP. Tout irait bien s'il n'existait un seul problème, et de taille :

Que se passe-t-il lorsque l'incidence varie autour de cette incidence de vol sur une rafale, un thermique ?

Là tout dépend de la répartition de portance sur le profil :

Pour tout profil d'aile, il existe un point de centrage où le moment de rotation autour de ce point ne varie pas avec l'incidence. Ce point est à 1/4 (25 %) de la corde du profil. On l'appelle foyer du profil ou de l'aile. Suivant la forme du profil, ce moment de rotation particulier C_{m0} est à cabrer (profil « reflex » chargé sur l'avant) ou bien à piquer (profil creux et chargé sur l'arrière, profil à volet braqué) ou bien nul (profil symétrique, profil type planche...). La figure 5 présente une typologie de ces profils. Comme pour la portance, le moment est caractérisé par un coefficient (C_{m0}) dont le sens est choisi positif à cabrer.

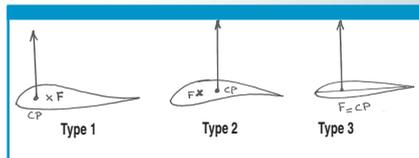


Figure 5 : position relative du CP et du foyer F en fonction du type de profil.

Ce C_{m0} est donc :

- positif pour les profils de type 1, reflex. Cela signifie que pour une portance positive, le centre de poussée est positionné en avant du foyer (l'aile a tendance à cabrer par rapport à ce point foyer) et que le centre de poussée recule lorsque la portance et l'incidence augmentent ;
- négatif pour les profils de type 2. Cela veut dire que pour une portance positive, le centre de poussée est positionné en arrière du foyer (l'aile a tendance à piquer par rapport à ce point foyer) et que le centre de poussée avance lorsque la portance et l'incidence augmentent ;
- nul pour les profils de type 3. Cela veut dire que, pour toute incidence, le centre de poussée est positionné au foyer, à 25 % du profil.

Une loi générale se dégage. Pour tout point de centrage le long de la corde du profil (X_{cg}), le moment de rotation C_m par rapport à ce point de centrage est égal à :

$$C_m = C_{m_0} + (X_{cg} - X_f) \cdot C_z$$

Plusieurs résultats intéressants peuvent être tirés de cette expression :

Par définition, l'aile est « centrée » et à l'équilibre lorsque C_m est égal à 0. dans ce cas, CG est exactement au CP et la distance entre le foyer et le CG est (C_{m0}/C_z). Le CG est en avant du foyer si C_{m0} est positif, il est en arrière du foyer si C_{m0} est négatif.

Ensuite, le profil de type 3 permet de comprendre la relation entre stabilité et centrage, par le petit exemple suivant : prenons une girouette, composée d'une plaque ayant un profil symétrique (figure 6) :

- 1^{er} cas : si son axe de rotation est en avant du foyer, le centre de poussée étant sur celui-ci, cela signifie que pour toute incidence la girouette aura tendance à se mettre dans le vent et se stabiliser. Le centrage est dit « stable » ;

- 2^e cas : si son axe de rotation est sur le foyer, quelle que soit l'incidence, la

girouette n'aura aucun mouvement de rotation. Pas très efficace comme girouette... Le centrage est dit « indifférent » ;

- 3^e cas : si son axe de rotation est en arrière du foyer, pour toute incidence non nulle la girouette aura tendance à augmenter cette incidence et à se « retourner » par rapport au vent. Le centrage est dit « instable ».

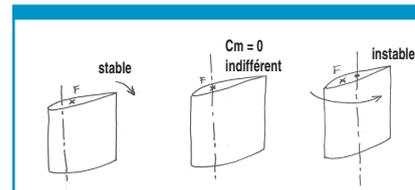


figure 6 : stabilité et instabilité de la girouette

Ce résultat simple est vérifié par la relation sur le C_m , pour tout profil :

- si $(X_{cg} - X_f)$ est supérieur à 0, donc CG en arrière du foyer, toute augmentation d'incidence, augmente le C_z et augmente



la partie arrière relevée du profil reflex est évidente sur cette Dudek.



A gauche : Avec la Synthesis, Dudek a développé une aile « reflex » plus accessible. Elle aussi offre un « Tip Steering Toggles » pour tirer le stabilisateur en virage.

le Cm, ce qui augmente l'incidence, etc, et l'aile est instable

- si $(X_{cg} - X_f)$ est inférieur à 0, donc le CG en avant du foyer, toute variation d'incidence, et donc de C_z , provoque un moment de rotation dans le sens inverse qui rattrape l'augmentation d'incidence et stabilise l'aile.

Donc nous savons maintenant comment rendre une aile stable : il suffit que le centrage soit en avant du foyer (25 % de la corde).

Il reste cependant un problème... Il faut aussi trouver un centrage tel que le moment soit nul en vol (aile à l'équilibre, avec le poids appliqué juste au même endroit que la portance). En analysant une fois de plus l'équation du moment cela signifie que l'on doit trouver une solution où $C_m = 0$ pour une portance C_z supérieure à 0. Seuls les profils ayant un C_m0 positif peuvent donner une solution à ce problème, car la condition de stabilité impose $(X_{cg} - X_f)$ inférieur à 0.

Ces profils à C_m0 positifs sont communément appelés « autostables » ou bien « reflex ». Ils sont absolument nécessaires pour une utilisation sur une aile volante sans flèche et sans stabilisateur. Il est par contre parfaitement possible de réaliser un parapente à l'aide d'un profil à C_m0 négatif car la grande stabilité pendulaire compense (au moins pour les cas de vol en air calme) l'instabilité naturelle de ces profils.

SPÉCIFICITÉS DES PROFILS REFLEX

1/ La stabilité :

Nous venons de le voir, la principale caractéristique des profils reflex, à verser à leurs avantages, est leur autostabilité. Celle-ci est plus ou moins élevée suivant la valeur de leur C_m0 , provenant de leur cambrure négative. Une autostabilité de l'aile est favorable pour atténuer les mouvements de tangage habituels en parapente (cabré en entrée de thermique, et abattée en sortie). Cette autostabilité « raisonnable » tend à gommer les irrégularités de la masse d'air et à rendre le vol plus confortable. Cependant, une autostabilité trop élevée peut s'avérer néfaste :

- en cas d'entrée dans une turbulence ascendante très forte, par la compensation trop élevée de l'aile (shoot en avant par le recul trop rapide du CP) ;
- en cas de sortie d'ascendance très forte, par une tendance à cabrer (avancée trop rapide du CP) jusqu'à approcher le décrochage (voir plus loin incidence maximale).

MORALITÉ : DU REFLEX POUR LA STABILITÉ DU VOL, OUI, MAIS PAS TROP...



Les premières ailes reflex, notamment la... « Reflex » de Mike Campbell-Jones, aux environs de 1996, utilisaient des profils à cambrure négative très prononcée :

On entend maintenant parler de « semi-reflex », dont la caractéristique serait une double courbure et

un C_m0 « modérés » destinés à compenser cet inconvénient. En ce sens, ces profils seraient très similaires à des profils de parapentes raisonnablement stables.



La ITV Dakota, une « semi-reflex » de conception Demoury, cherche de meilleurs comportements à basse vitesse, plus de maniabilité et un meilleur virage soit un parapente « raisonnablement stable ». Le bon compromis pour voler plus vite en vol libre ?

2/ La vitesse potentielle

La vitesse en parapente (ou paramoteur) est limitée par le coefficient de portance minimal atteignable avant fermeture. Cette fermeture peut survenir initialement par le bord d'attaque (inadaptation du bord d'attaque à l'incidence de vol) ou bien massivement.

Concernant le bord d'attaque, les profils de type reflex sont avantageux au voisinage de l'incidence de portance nulle car leur entrée d'air est mieux alimentée (figure 7). Cependant, au même coefficient de portance nécessaire pour une vitesse donnée, ils sont tout aussi vulnérables à une fermeture massive (rafale verticale importante, classique en thermique en vol libre) qu'un autre profil. On peut remarquer que les systèmes d'accélération utilisés aujourd'hui sur les ailes paramoteur rapides sont identiques à certains déjà utilisés en parapente, pour les mêmes raisons : accélération franche et solidité du bord d'attaque.

MORALITÉ : UN REFLEX, ÇA VA VITE, ÇA FERME MOINS SOUVENT DU BÂ MAIS ÇA SURPREND PLUS...



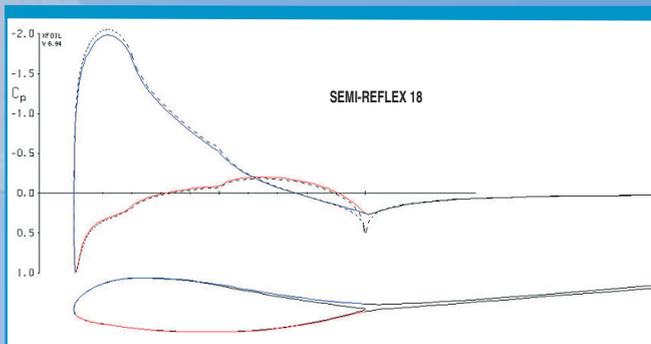
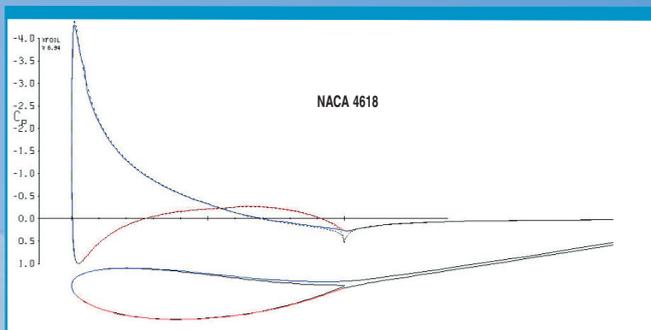
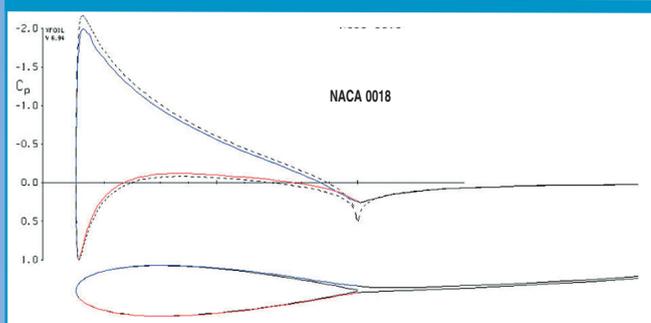
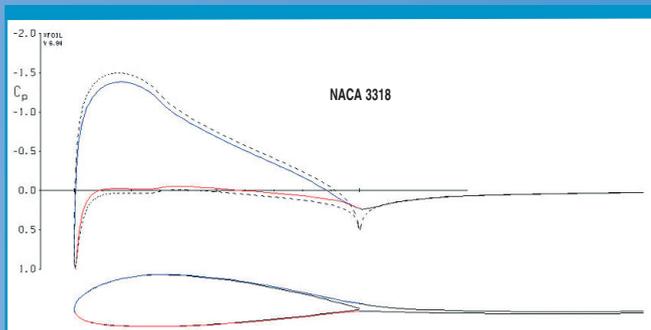
Figure 7 : alimentation du bord d'attaque à faible C_z .

3/ La portance et l'incidence maximale

La répartition de portance sur un profil reflex est nettement centrée sur l'avant par rapport aux autres profils. Ce qui est un avantage pour la stabilité est aussi un fort désavantage pour la portance et l'incidence maximale et toutes les caractéristiques de l'aile qui en découlent : la vitesse de décrochage, nécessairement

plus élevée avec un profil reflex, la facilité du gonflage.

La **figure 8** montre une comparaison des courbes de pressions sur 4 profils différents de 18 % d'épaisseur relative (un profil « cambré », un profil « symétrique », un profil typique des premières « reflex » et un profil à bord d'attaque adapté) pour une portance identique ($C_z = 0.7$). Ces courbes montrent qu'un profil purement reflex nécessite un « pic de dépression » très élevé à l'extrados du



La poignée en sangle rouge, non actionnée ici, permet de tirer le stabilisateur, donc de diminuer la surface portante et d'améliorer une mise en virage pas facile avec les profils reflex.

bord d'attaque pour compenser la portance négative de l'arrière du profil et obtenir une somme des forces équivalente. C'est principalement ce pic qui occasionne le décrochage prématuré et très violent du profil.

MORALITÉ :
UN REFLEX, ÇA GONFLE MAL, ÇA DÉCROCHE TRÈS VIOLEMMENT ET, À VITESSE ÉLEVÉE...

L'amélioration de la portance et de l'incidence maximales peuvent s'obtenir par une cambrure locale plus prononcée du bord d'attaque, destinée à mieux répartir la dépression d'extrados, comme le montre le dernier profil de la série présentée figure 8.

LE FREINAGE

La caractéristique principale des profils reflex est la position très en avant du C_p , mais pour le profil non freiné.

Classiquement, un pur « reflex » de la première génération est centré à 3-4 % du profil pour un C_z de vol de 0.6. Par comparaison, un profil symétrique est centré à 25 % et un profil cambré est centré à 30-35 %. Ce centrage très avant est parfaitement visible sur les voiles équipées de ces profils : tout le poids pilote est pris en compte par les avants et les arrières sont souvent détendus.

Figure 8 : pic de dépression au bord d'attaque d'un « reflex » et d'un « semi-reflex » à la même portance, comparaison avec d'autres profils.

	« cambré » NACA 3318	« cambré » avec volet	« symétrique » NACA 0018	« symétrique » avec volet	« reflex »	« reflex » avec volet
α (Cz=0.6)	2.7°	-	5.4°	-	9.8°	-
Cz (α 0.6)	0.6	1.66	0.6	1.7	0.6	1.87
Cp %	34 %	39 %	25 %	35 %	3.5 %	29 %
Delta Cp (2.5 m)	-	12.5 cm	-	25 cm	-	65 cm

Figure 9 : variation du centre de poussée par le braquage d'un volet.

Ce centrage avant, gage de stabilité en configuration « bras hauts », est cependant extrêmement variable dès que les freins sont braqués.

Prenons 3 parapentes de dimensions identiques en vol, équipés des 3 premiers profils de la figure 8 (cambré, symétrique, reflex). Au même Cz de vol (soit Cz = 0.6) et donc à la même vitesse ils volent à une incidence et avec une position de Cp différentes.

Si l'on braque un frein identique sur les 3 profils, pour chacune de leurs incidences respectives leur portance augmente et leur centre de poussée se déplace vers l'arrière. Ce déplacement est loin d'être identique pour les 3 profils. Le tableau de la figure 9 montre que le profil subissant le plus fort déplacement est le profil reflex. Dans ce tableau sont reportés les incidences, les coefficients de portance et les centres de poussée (en % de la corde) avant et après braquage du volet. Si l'on estime le déplacement réel du CP pour une corde de 2,5 m par exemple, il est de 12.5 cm sur le profil cambré (NACA 3318), de 25 cm pour le profil symétrique, et de 65 cm pour le profil reflex !

Les conséquences de ce déplacement important du CP sont les suivantes :

1/ En cas de freinage symétrique

Si les arrières sont tendus, le recul du CP va tendre à faire avancer l'aile et donc pivoter celle-ci autour du pilote en diminuant son calage jusqu'au nouvel équilibre. En supposant par exemple un pilote à 6.5 m sous l'aile, le calage va diminuer d'environ 5°. Le résultat final est que l'augmentation de portance voulue lors du braquage des freins sera diminuée d'autant. En résumé, le freinage sera moins efficace.

Si les arrières ne sont pas tendus (cas des ailes « tout sur l'avant »), leur mise en tension par le recul du CP diminuera d'autant le calage. Il est vérifié que, sous certains parapentes, un braquage modéré des freins augmente la vitesse, du fait de la variation importante du CP vers l'arrière.

2/ En cas de freinage dissymétrique pour la mise en virage, le même phénomène entraîne probablement les effets suivants :

Pour un freinage à gauche par exemple (voir figure 10) le CP de l'aile gauche recule fortement. Pour se recentrer au-dessus du pilote, l'aile gauche avance et diminue son calage et son incidence. En fait, et contrairement à un virage classique, l'aile se met probablement en dérapage à droite, du côté inverse au freinage.

De plus, l'efficacité en portance du volet est moindre (diminution de calage de l'aile). Le dérapage inverse donne un contre-roulis. Certaines ailes de paramoteur rapides ont par ailleurs une voûte elliptique, assez plate, qui est susceptible d'amplifier cet effet inverse. En résumé, le braquage du frein risque d'être inefficace pour faire tourner l'aile.

MORALITÉ : UN REFLEX, ÇA VEUT PAS TOURNER AUX FREINS... PAS GLOP POUR LE VOL LIBRE !

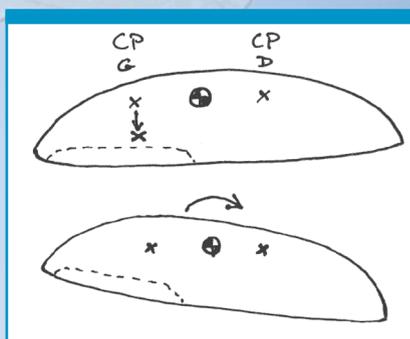


Figure 10 : freinage dissymétrique et dérapage inverse.

Les remèdes pour tourner avec fort reflex (à grande vitesse) :

- utiliser une voûte plus prononcée, par exemple de type circulaire, genre Boom ou Oméga 7...
- changer le profil au voisinage de la demi ou des 2/3 de l'aile (au maximum de la voûte), pour un profil dont la variation de CP est plus faible ;
- utiliser des dispositifs spéciaux, genre « tip steering » par exemple, qui provo-

quent un virage par traction du stabilo interne avec une commande et, par conséquent, une diminution de surface portante. L'inconvénient par rapport à un virage classique aux freins est que cette diminution de portance côté virage tend à faire glisser l'aile ce qui n'est pas bon près du sol ou en thermique le long d'un relief en vol libre !

EN RÉSUMÉ

Les profils reflex en parapente ou paramoteur ont leurs avantages notamment en stabilité, vitesse potentielle, et les inconvénients qui vont avec : portance maximale limitée, forte variation du CP, difficulté du virage.

Il reste du chemin à faire pour conserver les uns en évitant les autres. Les solutions actuelles ne sont probablement pas les seules envisageables. Quelques concepteurs, avec le « semi-reflex » par exemple, terme un peu flou, sont déjà sur la voie. Gageons que conformément à l'habitude dans notre domaine, l'expérience et la compréhension permettront l'évolution vers un vol à la fois lent et très rapide tout en restant sûr... Un sacré challenge !



La récente Action GT Paramania a une quille centrale comme la Bionic 2 bien avant la Zulu de Gin, le fabricant de Paramania.



Chez Paramania, la Revolution a un profil reflex qui a bien évolué depuis les premières « Reflex » de la marque.

VL : Depuis quand les ailes reflex en paramoteur ?

Mike Campbell Jones : « La conception d'ailes reflex pour le paramoteur a débuté en 94. Deux ans après, la première production a donné le jour à 2 ailes de 27 et 28 m². En 97, elles sont homologuées Standard par l'AFNOR. La voile participe alors aux Jeux Mondiaux de l'Air en Turquie, pilotée par son designer, Mike, où elle gagne sa réputation d'aile stable et rapide. La production est délocalisée en Pologne chez Dudek. En 3 ans, ce sont 270 machines qui ont été vendues. En 2001, Paramania lance une version plus performante, l'Action. Ses succès en compétition paramoteur démontrent clairement les avantages de la technologie du profil reflex. Aujourd'hui, nous fabriquons chez Gin Gliders et produisons entre 900 et 1 000 ailes par an, des Action GT et des Revolution. »

Pourquoi faudrait-il des ailes spécifiques paramoteur ?

« Le type de vol est si différent qu'il ne peut pas y avoir de compromis. Regardez l'exemple concret des différences qu'il y a entre une aile delta de vol libre avec celle qui est montée sur un ULM pendulaire. »

Quelles différences entre parapente et paramoteur ?

« Une aile de vol libre doit être fine pour enrôler les thermiques. Elle nécessite donc moins de stabilité pour pouvoir bien ressentir la masse d'air. Elle doit pouvoir tourner sans pertes de performances, avec le taux de chute le plus faible possible et neutre spirale pour être efficace en thermique. Elle est construite le plus simplement et le plus légèrement possible, avec des suspentes fines car la traînée des suspentes est importante et parce qu'il faut la porter sur le dos ! Une aile de paramoteur nécessite plus de stabilité. Elle doit absorber des effets variables de puissance et des effets

Mike Campbel Jones

Mike Campbell Jones de Paramania a été un des premiers à développer des ailes résolument « reflex », spécifiques pour le paramoteur. Il ne produit pas à ce jour d'ailes parapente de vol libre.

de couple moteur induits au niveau du pilote, bien en dessous de l'aile. Le type de vol est différent. On se déplace entre 2 points A et B pendant que l'on contrôle sa nav sur la carte, que l'on prend des photos, etc. Les pilotes volent souvent les mains hors des commandes. Plus de stabilité à haute vitesse signifie que l'aile peut traverser plus facilement les turbulences même si le vent se renforce ou que les conditions se dégradent. Le taux de chute et la finesse sont considérés comme moins importants que la vitesse et la stabilité. La construction est plus solide car elle doit souvent supporter plus de charge, les ailes ont des capacités de fourchette de poids plus larges. Mais il y a quand même la majorité des développements qui sont communs aux deux activités. De nouvelles évolutions technologiques apparaissent tout le temps. Nous voyons maintenant des ailes paramoteur qui ont de bonnes performances en finesse et taux de chute de même que les ailes de vol libre deviennent de plus en plus stables accélérées. Le procédé reflex est une des clefs de ces nouvelles et excitantes évolutions. »

Qu'est-ce qu'un profil reflex selon toi ?

« C'est une partie surélevée dans la construction au bord de fuite du profil qui le rend autostable. L'avantage est l'accroissement de la sta-

bilité avec la vitesse mais au détriment du taux de chute et cela nécessite une technique de décollage différente. »

Est-ce qu'on pourrait voler un jour à 80 km/h en décollant à pieds et, si oui, comment ?

« Pourquoi pas ! A l'inverse des ailes rigides des aéronefs trois axes, une aile souple a un potentiel de plage de vitesse plus élevé parce qu'elle peut modifier son profil plus facilement, comme le font les oiseaux. Nous avons déjà des ailes qui peuvent voler à plus de quatre fois et demie leur vitesse de décrochage alors que seuls certains avions militaires en sont capables. Il faut tenir compte également du développement de moteurs plus légers et plus puissants qui pèsent moins lourds et font décoller plus vite. Quoi qu'il en soit, il y aura toujours une limite maxi et seules les roues permettront d'atteindre ces vitesses. Ceci dit, tout est possible s'il y a une nécessité ou une demande. C'est juste une question de concordance de technologies et la croyance que tout est possible. »

Des projets en cours ?

« En plus de nouvelles ailes destinées à de nouvelles applications, je développe en ce moment un système TEC (Total Energy Construction) pour faire des ailes et aussi un nouvel ULM à voilure souple et un drone. Ces 2 recherches explorent les possibilités d'embarquer beaucoup plus de charge que ne le font les appareils qui utilisent la technologie des voilures souples. Le reste est top secret ! Pendant que le taux de chute diminue (indépendamment du moteur), la finesse et l'efficacité à haute vitesse augmentent parce que la surface portante a un allongement proportionnel plus important, ce qui confère une courbe de polaire plus plate. »