Derviche tourneur...

Texte et croquis : Olivier Caldara

FICHE TECHNIQUE n°12

DES FAITS ET DES EFFETS

Lors de la dernière chronique, nous avons constaté que le braquage d'un volet ou d'un frein sur un profil 2D procure une importante augmentation de portance et une moins importante augmentation de traînée :

• pour les faibles freinages, selon l'exemple, une augmentation du coefficient de portance Cz de 0.7 et de traînée Cx de 0.01, soit un rapport de 70 entre delta de portance et delta de traînée ;

• pour les forts freinages, une augmentation du coefficient de portance Cz de 1.2 et de trainée Cx de 0.04, soit un rapport de 30 entre delta de portance et delta de traînée.

Par ailleurs, le coefficient de moment Cm0 du profil tend à devenir d'autant plus négatif que le braquage est important, le profil devient fortement "piqueur" (de "type 2" voir chronique VL n°337), et le centre de poussée recule fortement.

Quels sont les effets de ces changements sur une aile de parapente tridimensionnelle, lorsque les freins sont actionnés, ou bien un seul d'entre eux ?

Une vision symétrique simplifiée : le frein n'est pas un frein...

Dans un premier temps et pour un braquage symétrique, supposé constant sur toute l'envergure, un raisonnement très simplifié en 2D est suffisant pour expliquer les conséquences de la forte augmentation du Cz et l'augmentation moindre du Cx. Dans l'équation de portance :

$$Poids = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot \sqrt{Cz^2 + Cx^2} \cdot V^2$$

toute augmentation du Cz et/ou du Cx provoque une diminution de vitesse pour conserver l'équilibre (on suppose en effet que ni la masse, ni la surface ne changent...). Ainsi, la conséquence d'un doublement du facteur $\sqrt{Cz^2 + Cx^2}$, principalement due au Cz, est la division par $\sqrt{2}$ de la vitesse d'équilibre, soit le passage de 36 à 25 km/h environ pour une aile habituelle. Ainsi, l'aile est "freinée", ralentie par la portance due au frein, et non par sa traînée.

En fait, sur une aile d'envergure limitée, et comme il a été présenté dans la chronique VL n°335, il existe par rapport à un simple profil 2D une traînée supplémentaire "induite" par le coefficient de portance, qui augmente la traînée résultant du freinage. Pour le profil analysé plus haut, appliquées sur une aile d'allongement 5 par exemple, les conséquences d'un freinage sont les suivantes, à partir d'un équilibre donné :

• cas 1 sans freinage :

$$Cz = 0.8,\ Cx_{profil} = 0.01,\ Cx_{induit} = Cz^2 / \pi \cdot \lambda = 0.04,\qquad Cx_{aile} = 0.05$$

• cas 2 avec freinage :

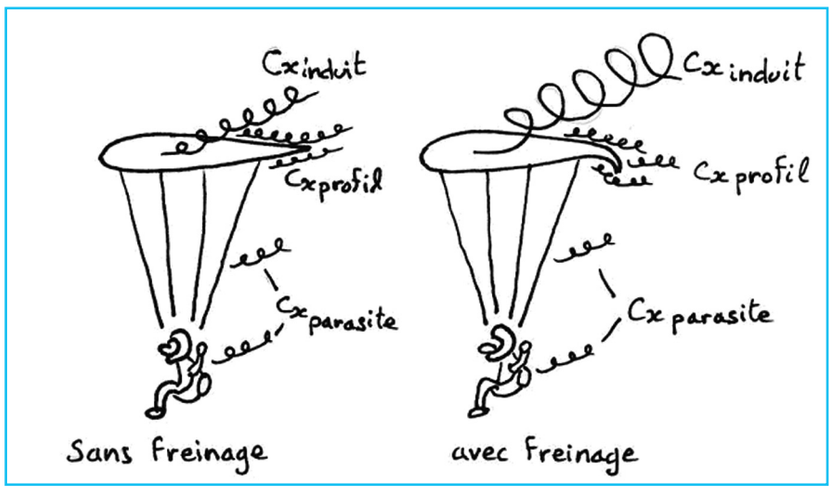
$$Cz = 2,\ Cx_{profil} = 0.06,\ Cx_{induit} = Cz^2 / \pi \cdot \lambda = 0.25,\qquad Cx_{aile} = 0.31$$

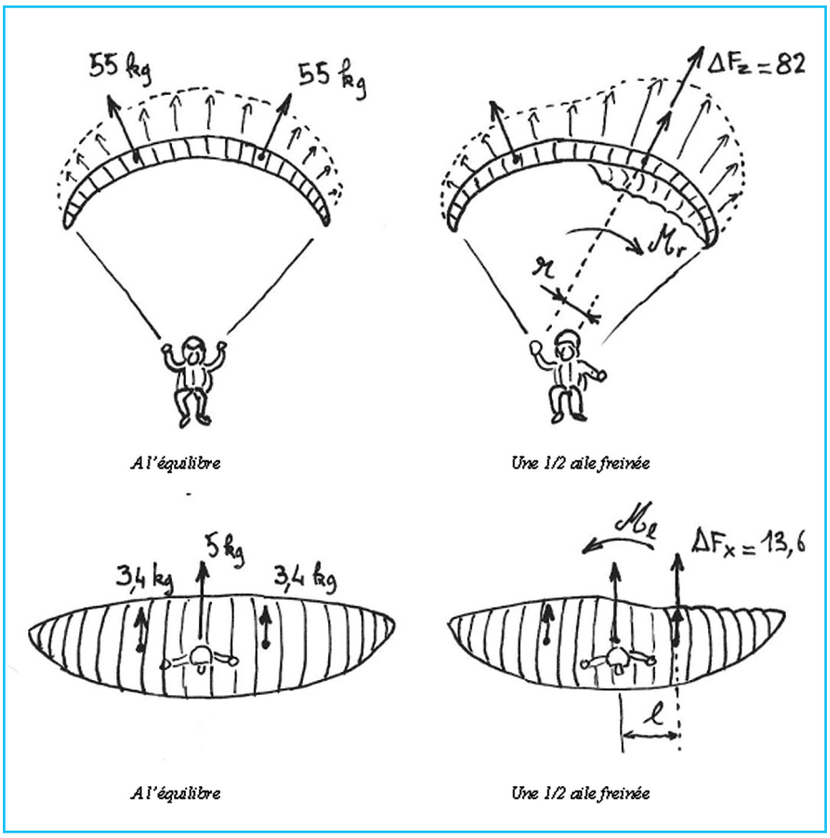
La traînée induite par la portance augmente donc très fortement avec le freinage, et ce d'autant plus que l'allongement est faible. La dernière composante de la traînée est représentée par le Cx "parasite" généré par le pilote et les suspentes, qui ne change pas avec le freinage (schéma ci-dessous).

ET LORSQU'UN SEUL FREIN EST BRAQUÉ ?

Si le frein n'est braqué que d'un côté, en supposant toujours ce braquage constant, on peut considérer pour simplifier que la 1/2 aile non freinée se trouve dans le cas 1, et la 1/2 aile freinée dans le cas 2. A l'instant du braquage, la portance et la traînée de la 1/2 aile freinée changent instantanément. Les différences des efforts de portance et de traînée entre la 1/2 aile freinée et la 1/2 aile non freinée provoquent respectivement l'apparition d'un moment de roulis (par la portance) et d'un moment de lacet (par la traînée).

Pour fixer les idées, l'application numérique suivante peut être proposée, à partir des chiffres cités précédemment. Soit un parapente de masse totale 100 kg, à l'équilibre en vol rectiligne à 36 km/h. Dans ce cas (en choisissant de représenter les efforts en kg, pour simplifier), chaque 1/2 aile génère une portance de, disons, 55 kg pour tenir compte de l'inclinaison due à l'effet de voûte, et une traînée de 3.4 kg (les efforts sont directement proportionnels aux coefficients). La traînée parasite pilote et suspentes est de l'ordre de 5 kg environ (2.5 kg pour le pilote et 2.5 kg pour les suspentes, soit 0.4 m² pour chaque). Tout compte fait, la finesse de ce parapente est de l'ordre de 8.5. (voir schéma page 40 en haut).





Le delta de portance Fz et le delta de traînée Fx instantanés, apportés par le fort freinage d'une demi-aile, sont respectivement de 82 kg et de 13.6 kg pour notre exemple, en supposant que ces efforts s'appliquent au niveau de la résultante sur la demi-aile (hypothèse de braquage uniforme du frein). L'importance relative des moments de roulis et de lacet provoqués par le freinage dépend des bras de levier.

Le bras de levier en roulis "r" dépend de la courbure de la voûte (qui incline plus ou moins la portance) et de la position du centre de gravité (donc du pilote). Suivant la voile il peut être au-dessus du CG (cas "normal"), au dessous (cas de roulis inverse) ou même nul. Une valeur typique pour "r" est de l'ordre de 400 mm.

Le bras de levier en lacet "l" est donné par la position de la résultante sur la demi-aile. Elle se trouve typiquement à 40 % de la demi-envergure, ce qui donne une distance de 2 m par rapport au centre de la voile, pour une envergure projetée de 10 m. Pour cet exemple, les ordres de grandeur pour les moments de roulis et de lacet sont donc les suivants :

• moment de roulis :

$$Mr = \Delta Fz \cdot r = 82 \cdot 0.4 \approx 33 m \cdot kg$$

• moment de lacet :

$$Ml = \Delta Fx \cdot l = 13.6 \cdot 2 \approx 27 m \cdot kg$$

Bien évidemment, l'exemple présenté n'est valide qu'au niveau des ordres de grandeur, et les valeurs obtenues pourraient être différentes avec d'autres hypothèses. Cependant cet exemple rend compte du fait que lors d'un braquage dissymétrique du frein à l'initiation d'un virage, les moments de roulis et de lacet sont dans ce cas similaires. Une voile moins voûtée, ou avec un pilote placé plus haut aurait par exemple un moment de roulis plus faible, ou nul. Une voile plus voûtée ou avec un pilote placé plus bas aurait un moment de roulis plus élevé.

ET ENSUITE ?

Le comportement qui vient d'être présenté au niveau des efforts et des moments induits sur l'aile, ne rend compte que de l'état statique de l'aile, à l'instant "t0" où le virage va commencer à s'engager. A partir de cette analyse, on sait maintenant que 2 mouvements vont se combiner :

• un mouvement de lacet du côté du freinage ;

• un mouvement de roulis, dont le sens et l'intensité dépendent de la géométrie de la voile et la position du pilote, et "normalement" dans le bon sens (exemple présenté).

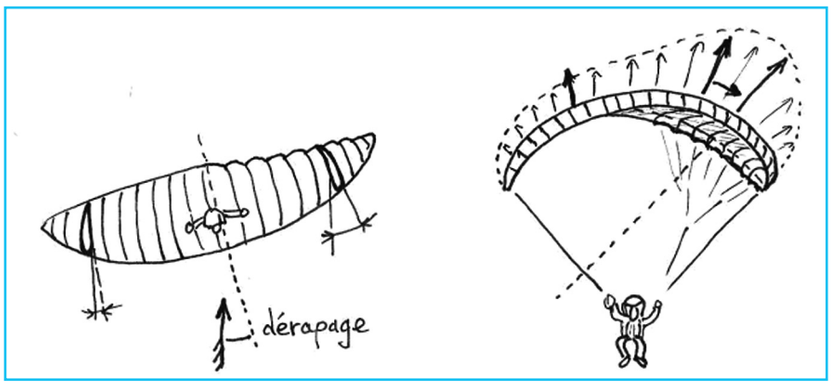
Ayant une inertie relativement faible, la voile se retrouve rapidement en dérapage, et plus ou moins inclinée (toujours suivant sa géométrie, dans le "bon" sens ou non...). Le dérapage induit sur la voile un effet très important : l'incidence de l'aile opposée au virage diminue, et celle de l'aile côté virage augmente. De plus cette variation d'incidence se produit surtout sur les parties externes de l'aile, et très faiblement pour la partie centrale, comme le montre le schéma ci-dessous. Le dérapage fait donc naître une différence importante sur la composante latérale de la portance entre les ailes interne et externe au virage. Cette différence se traduit par une augmentation importante du moment de roulis. L'aile s'incline franchement du côté du virage.

L'intensité du moment de roulis induit par le dérapage dépend là aussi de la géométrie de l'aile et surtout de sa voûte.

En conclusion provisoire, il apparaît :

• que la part la plus importante de la traînée due au freinage sur une aile tridimensionnelle est à mettre au compte de la traînée induite par la portance du frein ;

• que la mise en virage par le braquage d'un frein sur une demi-aile provoque 2 mouvements différents : un mouvement de lacet à cause de la traînée, un mouvement de roulis dû à la portance ;

• que dès l'initiation du virage apparaît un mouvement complémentaire de roulis, induit par le dérapage lié au mouvement de lacet.

Bien sûr, cet exemple ne concerne que l'analyse de la mise en virage au moyen du freinage. Un complément sur la conduite du virage une fois engagé est nécessaire. Par ailleurs, le comportement du pilote dans sa sellette, les réglages de celle-ci, etc, sont susceptibles comme on le sait d'influer fortement à la fois sur la mise en virage et sur sa conduite. Ces deux sujets seront abordés par la suite... si vous n'avez pas trop le tournis !