

COMPRENDRE ET DOMPTER LA DESCENTE EN SPIRALE

ALORS QUE LE MONDE DU PARAPENTE EST CONFRONTÉ AU PROBLÈME DES DESCENTES RAPIDES, HERVÉ BELLOC (PROFESSEUR À L'ISAE DE TOULOUSE) ET VINCENT TEULIER (AÉROTEST) NOUS FONT PARVENIR CETTE ÉTUDE... UN PEU COMPLEXE À LIRE, MAIS TRÈS UTILE POUR L'AVENIR DU PARAPENTE.

La spirale est la manœuvre de descente la plus efficace en parapente. Mais avec deux difficultés majeures qui en limitent l'accessibilité : la neutralité spirale et l'accélération centrifuge. L'évolution des parapentes est permanente et remarquable en termes de performances et maniabilité, mais parallèlement, on constate que les difficultés liées à la descente rapide en spirale augmentent. Pourra-t-on concilier performances avec spirale efficace et tranquille ?

La FFVL y travaille à travers son laboratoire d'essai **Aérottest** dirigé par **Vincent Teulier**, en collaboration avec l'**Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace de Toulouse (ISAE)**. Des essais en vol instrumentés ont été réalisés en partenariat avec **Nervures**. Au passage, un grand merci à **Xavier Demoury**, toujours très volontaire pour faciliter ce type de projet en acceptant de communiquer ses données de conception et de partager son expérience. Réflexion théorique et application pratique se sont aussi étoffées avec **Fred Pieri (X'Ridair)** qui en a fait le sujet de son projet de fin d'étude d'ingénieur.

La **neutralité spirale** se caractérise par une stabilisation de la trajectoire en spirale face au sol, alors que le pilote est revenu dans une position de commande symétrique bras hauts. C'est un état d'équilibre en rotation à vitesse constante. Quand le parapente n'évolue pas vers la neutralité, il sort de la spirale au

relevé de la main (le comportement est alors *stable spirale*). Pour atteindre la *neutralité spirale*, le parapente passe éventuellement par une phase d'accélération qui traduit un comportement *instable spirale*. La rotation et le taux de chute ne peuvent pas s'accroître à l'infini. L'*instabilité spirale*, lorsqu'elle apparaît, n'est qu'une phase transitoire vers une *neutralité*. Elle peut s'établir au-delà de la limite acceptable pour le pilote. Chaque parapente (voile, pilote, sellette et ses réglages...), est plus ou moins sensible à ce comportement. Tous les parapentes sont stables pour une spirale peu engagée et beaucoup tendent vers la neutralité en descente très rapide. La classification d'un modèle de voile dans les catégories *stable*, *neutre* ou *instable* est variable suivant la configuration et le niveau d'engagement de la spirale. Il faudrait savoir définir objectivement un seuil à partir duquel le parapente n'est plus *stable spirale* : un taux de chute ? Une accélération ? Un facteur de charge ? Pas simple !

L'**apparition de l'accélération centrifuge** fait subir au pilote un facteur de charge, ce fameux *nombre de G* qui multiplie la sensation de pesanteur. En spirale, c'est surtout la composante qui s'applique suivant la verticale du pilote qui est nuisible. Chacun n'a pas la même limite de résistance à ce facteur de charge et la limite individuelle évolue en fonction de l'état de fatigue physique ou



Spirale instrumentée, réalisée par **Aérottest** (pilote **Vincent Teulier**).

mentale du jour. On sait moins que la capacité de résistance dépend aussi de la rapidité d'apparition de la centrifugation. Schématiquement, on distingue trois niveaux de résistance suivant la durée de surcharge :

- *L'application rapide mais brève, 1 à 2 secondes, d'un facteur de charge important* est relativement bien tolérée (c'est en quelque sorte la résistance générale aux chocs). En vol, cette configuration de passage bref par un facteur de charge élevé est improbable... sauf à être un inconditionnel du tumbling !
- *Ensuite vient une phase transitoire critique, pour des durées de 10 à 15 secondes* : la masse sanguine commence à migrer sous le facteur de charge, alors que le système cardio-vasculaire ne s'est pas encore adapté. Dans cette phase, la résistance aux G est la plus faible. Si le facteur de charge est important la baisse de pression sanguine au niveau du cerveau entraîne un risque de voile noir et de perte de connaissance. C'est dans ce cas défavorable de moindre résistance que se retrouvent les pilotes surpris par une phase d'instabilité spirale.

• *Au-delà, il s'établit durablement un niveau de résistance un petit peu plus élevé* avec l'adaptation de la régulation du système cardio-vasculaire. Quand l'application d'un facteur de charge dure jusqu'à cette adaptation, cela entraîne un nouveau délai d'adaptation pour retrouver ses esprits après disparition du facteur de charge par retour au vol normal.

Des chiffres ?

Difficile à donner en raison de la variation de résistance d'une personne à l'autre suivant l'âge, l'entraînement, le morphotype, les antécédents...

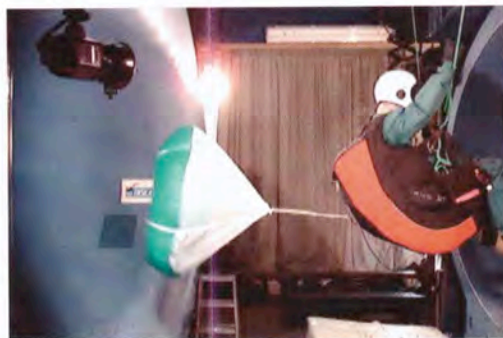
Sur les parapentes modernes, les quelques mesures connues montrent parfois une accélération très rapide vers des neutralités qui s'établissent à des valeurs pouvant aller jusqu'à 4G, et même 6G sur certains modèles de compétition. Ces valeurs sont clairement critiques pour la plupart des pilotes, c'est pourquoi la question de la maîtrise de l'instabilité spirale, par conception ou par pilotage émerge de plus en plus.

Des essais en vols instrumentés ont été réalisés avec un prototype, qui présente une tendance au comportement instable spirale relativement tôt dans la manœuvre. Les mesures sont réalisées avec un alti-vario équipé de sa sonde de vitesse, avec des boîtiers accélérométriques *BTSmemo* disposés sur le pilote et sous la voilure et avec la chaîne de mesure *FFVL AéroData* qui donne les efforts dans chaque élévateur et dans les commandes. Le tout était complété par un dispositif vidéo : vues de côté et de dessous. La fenêtre d'observation reste assez étroite entre l'engagement nécessaire pour obtenir le comportement instable et la limite acceptable pour le pilote d'essai. Dans ces conditions on ne peut pas laisser évoluer librement la spirale et l'intervention du pilote s'avère nécessaire pour stopper la manœuvre sans confirmer longuement l'atteinte de la neutralité. Quelques chiffres obtenus au plus fort de la manœuvre :

- Rayon de rotation du pilote 8,3 m.
- Durée de révolution sur 360° 2,8 s.
- Vitesse sur trajectoire 98,4 km/h.
- Taux de chute 20 m/s.
- Facteur de charge en neutralité 4,3 g.
- Facteur de charge en sortie 5 g.

La mesure des efforts dans les élévateurs montre un déplacement latéral de la résultante des efforts aérodynamiques (RFA). On enregistre environ 100 daN de surcharge de la demi-aile intérieure.

Les outils théoriques existants (élaborés pour l'aéronautique) trouvent rapidement des limites qui ne permettent pas de les transposer directement au parapente et à la spirale. Par exemple, ils n'intègrent pas l'aéro-déformation de la structure, les mobilités voulues ou subies du pilote dans sa sellette, l'influence du réglage de la ventrale, l'aérodynamique du profil à bord d'attaque ouvert, un possible écoulement interne à la



Simulation dans la soufflerie ISAE de l'interaction avec le sillage du pilote.

voilure lors des rotations, ou encore l'inertie non négligeable de la masse d'air incluse dans la voilure. Aujourd'hui il y a plus de questions que de réponses, et l'étude détaillée de la spirale butte sur beaucoup de ces inconnues. Mais on commence quand-même à percevoir le mécanisme général du comportement instable spirale. Il y a, à l'origine, un vrillage aérodynamique induit par la rotation. En effet, dans la descente en rotation, lorsque le bord d'attaque s'est orienté face au sol, l'aile interne qui s'abaisse voit son incidence augmenter alors que l'aile externe qui se soulève voit son incidence diminuer. Ainsi, la résultante aérodynamique se déplace latéralement vers l'aile interne comme constaté sur les mesures. C'est un mécanisme de mise en mouvement de roulis très similaire à celui de la mise en virage à la commande. Mais en instabilité spirale, bras hauts, c'est l'effet de la rotation qui vient remplacer l'effet de la commande. Pour aller plus loin, il faudrait pouvoir s'appuyer sur plus de données expérimentales, avec des modèles de parapentes variés et sur plus de configurations de réglages (sellette, PTV, ventrale, trims). C'est du temps, de l'argent et des moyens. La FFVL l'a bien compris en investissant dans la mise à niveau de sa chaîne de mesure Aérodata et en se dotant de nouveaux capteurs accéléro-gyro-mètres qui donnent les G et les vitesses de rotation sur les trois axes. De nouveaux essais sont prévus avec l'ISAE.

Une piste concrète pour tenter de dompter la spirale s'obtient en raisonnant sur l'approche énergétique. Sur une spirale établie, par exemple à un taux de chute de 10 m/s pour un PTV



Etude ISAE de validation de l'aptitude du dragchute à diminuer la finesse à l'atterrissage.

de 100 kg, la puissance à dissiper pour l'énergie potentielle consommée dans la chute d'altitude est importante : 10 kw. Ce sont principalement les traînées aérodynamiques qui absorbent cette dépense. Mais la quête perpétuelle de meilleures performances n'a de cesse de diminuer cette traînée par l'allongement de la voilure, le profilage du pilote et la clarification du suspentage. Cela explique pourquoi la neutralité spirale s'établit à des vitesses de rotation et de taux de chute de plus en plus élevées. D'où l'idée de rajouter de la traînée au parapente pendant la spirale ! Dans un premier temps, juste pour évaluer le principe, le plus simple consiste à utiliser un drag-

chute. Il y a une dizaine d'années, Aérotest avait déjà réalisé des essais avec dragchute. Ils avaient montré l'intérêt de cette solution pour endiguer une autorotation. Selon Fred Pieri, en spirale très engagée, pour un taux de chute identique de 15 m/s, le facteur de charge passe de 5G sans dragchute à 3,5G avec dragchute. Pratiquement, ce n'est pas si évident parce que le dragchute bouge beaucoup dans le sillage du pilote, jusqu'à venir taper régulièrement dans les suspentes ! Mais cette piste de l'augmentation de la traînée est intéressante et pas seulement en spirale. En d'autres termes le parapente du futur a-t-il intérêt à se doter d'une forme de commande d'aérofreins ?