

SPIRALE UNE MANŒUVRE ENGAGÉE

LORSQU'ON MAINTIENT UN VIRAGE APPUYÉ, LA VOILE PEUT RENTRER DANS UNE ROTATION QUI PRODUIT UNE FORTE AUGMENTATION DE LA VITESSE, ACCOMPAGNÉE D'UNE IMPORTANTE "FORCE CENTRIFUGE" : ON PARLE DE "360 ENGAGÉS", "360 FACE AU SOL", "SPIRALE" ...

B IEN que très simple à obtenir, il s'agit d'une manœuvre très engagée. Le plus délicat n'est pas le côté technique, mais les aspects physique et mental. On aborde la spirale à partir du niveau brevet de pilote. Auparavant, il faut impérativement maîtriser toutes les étapes de la progression située en amont (ce qu'on appelle les "pré-requis" : savoir freiner une abattée, connaître la mécanique des virages pendulaires... Si vous savez déjà faire des 360 engagés, cet article vous permettra d'affiner votre aisance dans la manœuvre. Si vous n'avez encore jamais pratiqué la spirale, je vous recommande vivement de la découvrir au cours d'un stage de pilotage.

Avant de parler pilotage, il nous faut éclaircir quelques notions théoriques. Pour cela, rendez-vous page 56. Ceux qui n'ont pas envie d'entrer dans la théorie peuvent lire directement ce qui suit...

LES EFFETS DE LA FORCE G

Sur le plan mental, être soumis à une forte accélération provoque une vive émotion. Avec l'habitude, on peut y trouver du plaisir. Mais pour le pilote qui découvre, cela peut être angoissant. *Jusqu'où cela va-t-il aller ? Vais-je tenir physiquement ?* Cette angoisse à elle seule peut nous faire perdre une partie de nos moyens : manque de lucidité, capacité de réflexion et d'adaptation de plus en plus lente... On parle de *viscosité mentale*. A cette émotion purement mentale viennent s'ajouter des effets physiques très concrets... Car avec l'augmen-

tation du "poids apparent", due à la force centrifuge, il devient difficile de bouger avec précision : à 3 G, un pilote de 70kg pèse... 210kg ! Les mouvements de la tête notamment peuvent être difficiles à contrôler... Le sang a du mal à venir alimenter le cerveau et les yeux (surtout pour les pilotes grands). Cette hypoxie du cerveau participe à l'état de viscosité mentale. A partir de 2 ou 3 G maintenus plusieurs secondes, les premiers symptômes visuels apparaissent : diminution de la vision périphérique (*voile gris*). Si l'accélération augmente encore, le pilote perd progressivement la totalité de la vision (*voile noir*).

Il reste conscient et peut momentanément poursuivre son pilotage à l'aveuglette, mais si l'accélération augmente encore, à partir de 5G il peut perdre connaissance. Si la force centrifuge diminue, il revient progressivement à lui après quelques secondes, mais il traverse souvent une période de confusion avant de retrouver la pleine possession de ses moyens. A l'inverse, si la force d'accélération augmentait encore, elle pourrait aller jusqu'à causer la mort : selon la NASA, il faudrait quand même 18 G sur 0,6 sec, ou 11 G sur plus de 6 sec, ou encore 10 minutes à 5 G... Comme on le voit, les effets de la force G dépendent de l'intensité de cette force mais aussi du temps d'exposition. Bien entendu, nous ne réagissons pas tous pareil : la tolérance aux accélé-

rations varie d'une personne à l'autre mais aussi d'une journée à l'autre. Un bon tonus musculaire (notamment de la ceinture abdominale) permet de mieux supporter les G. Une mauvaise santé, une mauvaise condition physique, la fatigue, une mauvaise circulation sanguine ou encore l'alcool, réduisent la tolérance. L'expérience et l'entraînement l'améliorent...

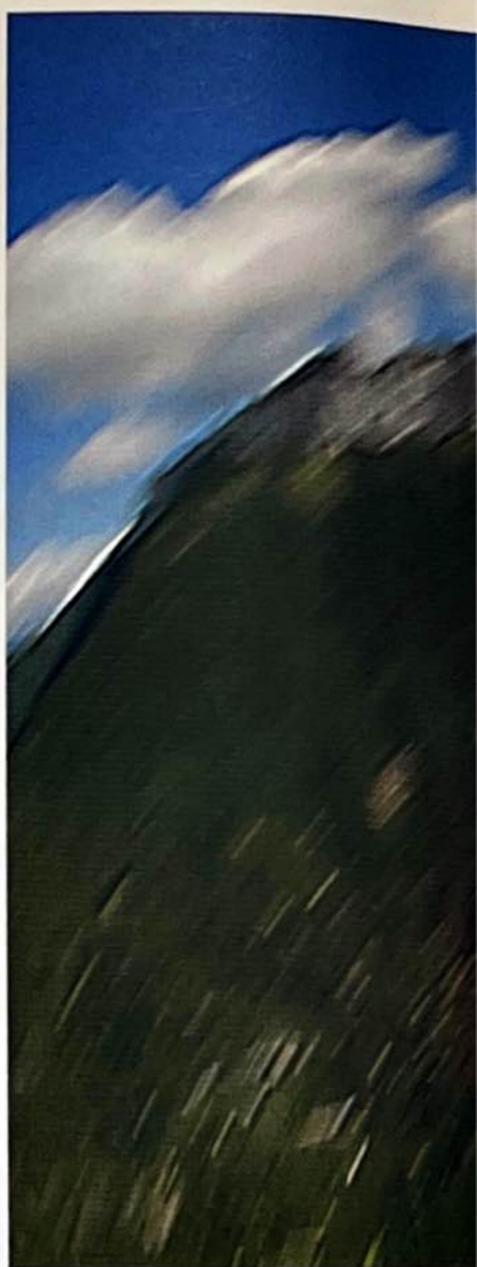
EFFETS DE LA FORCE G SUR LA CAPACITÉ À S'ORIENTER

Le corps humain possède deux capteurs qui le renseignent sur sa position dans l'espace et le mouvement en cours : le regard et l'oreille interne. Celle-ci fon-

ctionne comme un niveau à bulle et un accéléromètre : les yeux fermés, nous avons la perception de l'horizontale et de la verticale et

nous sentons les accélérations. Mais ce système semble conçu pour fonctionner à 1 G, ou ne subir que des accélérations de courte durée. Lors d'une spirale, notre oreille interne envoie de fausses informations au cerveau indiquant de manière erronée où se trouve l'horizontale et la verticale : le pilote est désorienté. Prenons un exemple. Un passager dans un avion de ligne avec, devant lui sur sa tablette, un verre d'eau. Si le pilote de l'avion entame un virage sur la tranche et que ce passager a les yeux fermés, il va seulement ressentir une très légère augmentation de son poids apparent, mais ne se rendra pas forcément compte que l'avion

"Bien que très simple à obtenir, la spirale est une manœuvre très engagée."



tourne et qu'il est fortement incliné. S'il rouvre les yeux et regarde son verre d'eau, il aura même la sensation que l'avion est parfaitement horizontal ! Le verre d'eau (qui fait office de niveau à bulle) ne lui est d'aucune aide pour corriger cette sensation. En revanche, s'il regarde par le hublot, il réalise soudain que l'avion est incliné et qu'il tourne. Il en va de même en parapente, lors d'une spirale. Les yeux fermés (ou le regard mal placé), on ne perçoit pas l'inclinaison de la voile. Il faut donc ouvrir les yeux et apprendre à visualiser l'horizon pour que notre cerveau prenne conscience de son positionnement dans l'espace.

COMBIEN DE G ON ENCAISSE ?

A ma connaissance, les valeurs les plus extrêmes enregistrées en parapente (en voltige) mon-

QUI PROCURE DES G !



LE PILOTAGE DE LA SPIRALE

Maintenant que nous avons tous les ingrédients, il nous est possible de disséquer la spirale sur le plan du pilotage... La spirale est une manœuvre facile à obtenir mais qui réserve des surprises. L'approche de la spirale ne doit donc pas se faire à la légère. Des problèmes peuvent survenir à chacune de ses phases : vrille en entrée de spirale, neutralité spirale pendant la spirale, et grosse ressource asymétrique en sortie... Sans oublier l'aspect émotionnel : avec un taux de chute de plus de 10m/s, cette manœuvre engagée nécessite du sang froid... Ce n'est pas du tricot ! Analysons maintenant l'entrée, le maintien et la sortie de la spirale...

ENTRÉE EN SPIRALE

Pour entrer en spirale, il faut engager un virage progressif, avec un bon appui sellette, de manière à incliner l'aile sur le roulis tout d'abord, puis en lacet pour lui permettre de plonger vers le sol. A partir d'une position de vol stabilisé, il faut compter 3/4 de tour à 1 tour avant que ce mouvement de lacet apparaisse. Plus la voile est chargée et la ventrale ouverte, plus il est facile d'entrer dans la spirale. Avec une voile peu chargée et une action sellette insuffisante (ou incorrecte), la voile peut refuser de s'incliner... Si le pilote insiste alors en freinant progressivement de plus en plus, il risque de partir en vrille. Si votre aile est paresseuse en entrée de spirale, il faut la brutaliser un court instant : descendre franchement et rapidement la commande intérieure à près de 100 % de son débattement... mais une fraction de seconde seulement, puis relever rapidement et complètement la commande ; Ensuite, très vite revenir à une position disons

50 % du débattement (cela va provoquer une sorte d'abattée puis un virage pendulaire accélérant). Pour optimiser l'action à la sellette (qui doit favoriser le mouvement de lacet), tournez les épaules et regardez du côté de la rotation.

- Inclinaison soudaine

Certaines ailes ont du mal à s'incliner. C'est parce que tant que l'inclinaison (en lacet) est insuffisante (disons $< 10^\circ$), le pilote tend à revenir sous la voile (par effet pendulaire sur l'axe de roulis). Passé une certaine inclinaison, tout s'accélère : voile et pilote se dirigent vers le bas, le pilote ressent une forte sensation d'accélération, le vent relatif augmente, la trajectoire se met à plonger vers le sol... Cette accélération soudaine est impressionnante : un pilote non initié peut ressentir une forte émotion à ce moment !

- L'influence du poids apparent sur la maniabilité de la voile...

Une voile très chargée est plus sensible à la commande. En revanche une aile peu chargée (trop grande) ne répond pas avec précision aux sollicitations du pilote... Au moment où apparaît le mouvement à piquer en entrée de spirale (voir rappel théorique en page 56), l'accélération atteint rapidement 2 G : le pilote pèse 2 fois son poids, la voile est momentanément 2 fois plus chargée qu'en vol droit, elle est donc beaucoup plus maniable et répond plus vivement aux actions sellette et commande. Ceci participe au côté soudain de l'entrée.

- Contrôler l'inclinaison

Le virage d'entrée en spirale doit être cadencé. En freinant plus ou moins avec la commande extérieure, tout en

Suite page 54

reste stable durant 2 tours : le pilote n'est alors soumis qu'à 2G. Au moment du redressement rapide, le nombre de G augmente brutalement et atteint son maximum (4 G) à la frontière entre le redressement et la ressource (quand l'assiette est nulle). En effet, dans le cas d'un redressement très rapide, le pilote passe d'une vitesse verticale de -15m/s à 0 m/s en quelques fractions de seconde. Puis la force G diminue au cours de la ressource qui suit. Pour ma part, je n'ai connu que 2 ou 3 voiles gris dans ma carrière de pilote et c'était toujours en sortie rapide de spirale. En somme, la force d'accélération augmente durant la phase de piqué (entrée en spirale), puis diminue légèrement et se stabilise, mais elle augmente à nouveau au moment du redressement, surtout si celui-ci est rapide.

restent à 6 G (en 2006, Raúl Rodríguez en infinity tumbling). Mais il s'agit d'un pic très bref que les pilotes supportent beaucoup mieux qu'une simple spirale maintenue longtemps. La spirale est la seule manœuvre capable d'engendrer de la force G sur une longue durée. N'importe quelle spirale, à partir de 45° , provoque une force d'accélération de 2 à 3 G. Il est intéressant de voir comment varie ce nombre de G tout au long de la manœuvre... Prenons une spirale avec une entrée rapide (90° d'inclinaison en 1 tour), puis 2 tours à 90° , puis une sortie rapide avec un redressement sur 1/4 de tour et une ressource en chandelle. En entrant dans la spirale, le pilote ressent une augmentation rapide et impressionnante de son poids apparent (qui peut vite monter à 3 G). Puis la spirale

PHOTOS JEROME MAUPOINT



maintenant la commande intérieure et la position sellette. Ceci permet de limiter le mouvement de lacet responsable de l'inclinaison. Il n'est pas nécessaire de freiner beaucoup, mais pour que le contrôle soit facile, il convient de freiner l'extérieur dès le début de la rotation. Si votre aile s'incline difficilement, il faut alors rester (ou remettre) bras haut à l'extérieur et ne cadencer qu'au moment où la vitesse et le poids apparent augmentent (il peut alors se produire une petite fermeture extérieure, sans conséquence).

MAINTIEN DE LA SPIRALE

Une fois la spirale installée, le taux de chute et les trajectoires se stabilisent. Le pilote est soumis à quelques G mais cesse d'accélérer. Pour que la manœuvre soit plus confortable, il faut trouver des appuis confortables dans la sellette et penser à se repérer...

- Visualiser l'inclinaison

Notre oreille interne, désorientée par l'accélération, envoie de fausses informations au cerveau, qui perd la notion de l'horizontalité. Pour corriger cela, il faut regarder la voile (et plus précisément le stabilo intérieur). L'avantage c'est que la voile est fixe dans le paysage. Mais regarder la voile est insuffisant car le paysage qui défile en arrière plan

vous désoriente et peut même vous rendre malade. De plus, il est impossible de connaître son inclinaison et on risque d'oublier son environnement (hauteur/sol, autres aéronefs proches, dérive...). Il faut donc s'efforcer d'aller chercher l'horizon du regard. Cela demande un peu d'entraînement et

comme il y a déjà beaucoup de choses à gérer dans une spirale, je vous recommande vivement de vous entraîner au sol... Pour cela, simulez par exemple une rotation à droite en vous mettant debout et en tendant votre bras droit en avant à la hauteur de vos yeux. Tournez la paume de votre main vers votre visage : elle représente votre aile. Vous pouvez par exemple l'incliner avec une assiette de 45°. Puis tournez sur vous même vers la droite. La vitesse angulaire d'une spirale est d'environ 3 à 4 secondes pour faire un tour. Faites plusieurs tours en ne regardant que votre main : le paysage défile et on prend vite le tournis ! Maintenant essayez d'aller chercher un élément du paysage du regard, et efforcez vous de le regarder le plus longtemps possible (mouvement des yeux et de la tête). Puis tournez vivement la tête pour aller chercher du regard un autre élément du paysage, suivez le du regard... Vous avez la sensation que la rotation est plus lente : vous avez moins le tournis, vous êtes orienté ! En vol, il faudra faire ce même travail du regard. Cela donne au cerveau une vision claire de l'horizon. Si je me concentre sur mon assiette, je peux mesurer l'inclinaison de mon aile et même voir le mouvement à piquer ou le mouvement à redresser. Il faut aussi penser à sa hauteur sol. Durant

“Sur le plan mental, être soumis à une forte force d'accélération provoque une vive émotion.”

la spirale, le taux de chute peut atteindre près de 15m/s : le pilote perd 150 mètres en 10 secondes ! Il est donc primordial de surveiller sa hauteur/sol. Gardez une marge de sécurité pour avoir le temps de réaliser une sortie de spirale propre, puis de rejoindre l'atterrissage. Il faut donc jeter de temps en temps un coup d'œil vers le bas. Cela permet aussi de vérifier que le champ est libre et d'observer la dérive...

SORTIE DE LA SPIRALE

Si l'entrée en spirale peut être difficile à obtenir... ou intervenir soudainement, il en est de même pour la sortie : je peux avoir du mal à amorcer la sortie de la spirale et me faire éjecter soudainement en ressource. Pour sortir d'une spirale faiblement inclinée (<45°), il suffit de relever la commande intérieure et parfois de revenir au neutre dans la sellette. La voile amorce alors un redressement... puis une ressource. Mais parfois, en faisant cela, la voile continue de tourner. Elle peut mettre plusieurs tours avant d'amorcer un redressement... Ou même ne pas vouloir sortir de la spirale.

A PROPOS DE LA NEUTRALITÉ SPIRALE :

Lorsque le pilote revient bras hauts et neutre sellette, la voile est dite :

- **stable spirale** si elle redresse et sort seule de la rotation,
- **neutre spirale** si elle reste en rotation à inclinaison constante,
- **instable spirale** si elle continue à piquer davantage. Il y a heureusement très peu d'ailes instables spirale. En revanche, même si le test d'homologation indique que votre aile est stable spirale, il vaut mieux considérer qu'elle peut très bien être neutre spirale : un pilote averti en vaut deux ! Passé 45°, presque toutes les ailes peuvent se retrouver plus ou moins en neutralité spirale. Une réaction du pilote est alors nécessaire : il faut contrer !

- Contrer pour redresser

Contrer c'est avoir une action opposée au mouvement. Si en relevant la commande intérieure et en revenant au neutre dans la sellette, la voile n'amorce pas de redressement, il faut une action opposée au mouvement. Si je tourne à droite, il faut une action sellette à gauche et/ou une action commande à gauche. Cette action peut être ample mais toujours de courte durée. Car lorsque le redressement apparaît, il vaut

mieux arrêter l'action de contre et piloter la vitesse de redressement. Attention, lorsque le contre fonctionne et que la voile redresse, il y a souvent une augmentation des G ! Des pilotes se font avoir par cette information contradictoire... Car si je ne me rends pas compte que mon contre fonctionne, j'ai tendance à augmenter mon contre, au risque d'inverser le sens de la rotation et faire une sorte de looping qui, mal exécuté, a peu de chance de bien se terminer.

- Et si je ne sais plus dans quel sens je tourne ?

Ne rigolez pas, ça arrive ! Avec la viscosité mentale et la perte de repères, il peut y avoir confusion dans le sens de la rotation. Le pilote croyant contrer incline encore plus son aile (j'ai vu des pilotes entrer quasiment en SAT en croyant contrer une neutralité spirale !). Dans ce cas il faut appliquer un freinage symétrique des deux côtés. Cela va provoquer un redressement progressif. Mais il faut quand même freiner amplement (attention si vous avez une longue garde !).

- Piloter le redressement

Sortir d'une spirale avec un redressement lent et progressif est l'idéal. Mais lorsque que le redressement commence, il a tendance à se produire d'une manière rapide, ce qui complique la sortie. Il faut donc apprendre à piloter la vitesse de redressement : être capable de redresser lentement... ou rapidement. On peut même redresser petit à petit, en maintenant l'inclinaison quelques instant avant de redresser de quelques degrés supplémentaires. Pour piloter la vitesse de redressement, il faut tout d'abord percevoir ce mouvement : il faut le voir ! Je dis "voir" et non "percevoir" car il est impossible de sentir avec précision ce mouvement les yeux fermés (ou le regard mal placé).

- Si le redressement est très lent, le pilote ressent effectivement une diminution progressive de la vitesse et des G (mais il est incapable de savoir où il en

est dans son redressement sans visualiser l'horizon).

- Si le redressement est rapide (90° de redressement en 1/4 de tour ce qui est assez habituel), le pilote ressent une augmentation des G et aucune diminution du vent relatif. Il arrive pourtant à la frontière entre spirale et ressource (un moment crucial pour commencer le travail de dissipation d'énergie que nous allons aborder un peu plus loin). Pour piloter le redressement, le pilote doit jouer avec les commandes et les appuis sellette. Par exemple, on peut maintenir du frein et l'action sellette à l'intérieur et appliquer progressivement du frein à l'extérieur. En dosant ces actions, on peut redresser à la vitesse souhaitée.

- Gérer la ressource

On parle de ressource dès l'instant où l'assiette devient positive (quelque soit l'inclinaison en roulis). A ce moment, une mécanique d'éjection se met en place assez soudainement. Lorsque le nombre de G ne permet plus de maintenir le pilote à l'extérieur, il y a un rappel pendulaire du pilote sous sa voile : un mouvement de roulis. Mais il reste de la vitesse et le pilote a tendance à doubler sa voile. S'il ne fait rien, il se produit une forte ressource en chandelle et il faudra contrôler l'abattée (avec les commandes) et le roulis (à la sellette), ce qui réclame de l'entraînement. Mais la chandelle n'est pas une fatalité ! Quelque soit l'énergie accumulée par le pilote, il est possible de la dissiper en virage et n'avoir aucune abattée en sortie...

- La dissipation d'énergie *images 10 à 13 du schéma p56.* Faire une dissipation d'énergie en sortie de spirale, c'est poursuivre la rotation dans la ressource (c'est à dire tourner alors que l'assiette est positive). Il faut faire environ 1/2 tour... Cela n'a

rien à voir avec la vitesse du redressement (un redressement c'est une assiette qui est toujours négative). Certes un redressement très lent provoque une diminution progressive de la vitesse. Mais le pilote peut se faire éjecter quand même. C'est juste moins grave car il y a moins d'énergie. De même il est possible d'engager une spirale à son maximum (90°), de redresser ultra rapidement et, lorsque la ressource commence (le pilote est alors soumis à un fort poids apparent et conserve toute sa vitesse), effectuer une dissipation d'énergie et ne subir aucune abattée.

Attention, le virage de dissipation doit se faire du côté de la rotation. Sinon, il s'agit d'une inversion (sorte de looping à l'issue incertaine). Le virage de dissipation d'énergie doit se faire avec conviction. Il faut être plus fort que la mécanique d'éjection. Il faut donc identifier le début de la ressource et à ce moment redescendre la commande intérieure (et mettre un bon appui sellette intérieur) puis rendre la main progressivement au fur et à mesure du rappel pendulaire en roulis. Si le geste est bien fait,

Si vous restez très humble dans votre pratique, il n'est pas forcément nécessaire d'apprendre la spirale...

la sortie se fait sans abattée ni roulis. Cela nécessite un peu d'entraînement, mais lorsqu'on sait faire, il devient plus rassurant de s'exposer à la spirale...

A quel moment faire ce virage de dissipation ? Au début de la ressource ! Un timing trop tôt (assiette encore négative) risque de faire à nouveau piquer la voile. Un timing tardif (ressource déjà bien engagée) rend la manœuvre plus difficile à réaliser, nécessitant de compenser le retard par une action plus agressive (plus ample et de plus courte durée). En cas de gros retard (ressource presque terminée), il faut mieux abandonner l'idée de dissiper et se concentrer sur l'abattée qui arrive !

- Eviter sa propre traînée !

Il est possible de ressourcer en virage et de rejoindre sa propre traînée. C'est désagréable, surtout quand on ne s'y attend pas. La plupart du temps, on ressent simplement une sorte de turbulence. Mais cela peut parfois provoquer une fermeture... L'idéal est donc de dissiper son énergie sur moins d'un tour, et, lorsque le pilote est revenu sous la voile, faire un virage type quart de tour du côté opposé à la spirale afin de sortir de la zone de la turbulence de sillage...

CONCLUSION

Le travail à fournir pour maîtriser la spirale peut paraître énorme. Si vous ne volez que de manière occasionnelle, si vous restez très humble dans votre pratique, si vous ne fréquentez jamais les conditions aérologiques fortes et les sites encombrés, si pour vous le plaisir du vol se résume à se laisser planer en air calme, il n'est pas nécessaire d'apprendre la spirale.

La spirale engagée (disons de 45° à 90°) est du niveau du Brevet de Pilote Confirmé. Ce brevet permet de valider votre aptitude à voler dans des conditions aérologiques variées et parfois délicates. Il donne aussi accès à la compétition et aux qualifications fédérales. A ce niveau, le pilote doit être capable de gérer les incidents de vol. Le mouvement de spirale fait partie de cette capacité. Il peut se produire de manière involontaire, suite à une fermeture par exemple. Si cela arrive près du relief ou dans la grappe, il vaut mieux être aguerri à la manœuvre pour gérer la situation correctement.

La spirale est la technique la plus efficace pour dégrader le taux de chute. Si l'on réduit la voilure en réalisant des grandes oreilles par exemple, et que l'on rentre en spirale en pilotant à la sellette, on peut dégrader le taux de chute à plus de 20m/s sans subir beaucoup de G ! Mais c'est une autre histoire...

Suite page 56

RAPPELS THÉORIQUES

Qu'est ce que la spirale ?

On parle de spirale pour désigner un mouvement de rotation important accompagné d'une augmentation de la vitesse verticale... Ce mouvement est hélicoïdal : le pilote tourne autour d'un axe vertical tout en se déplaçant vers le bas.

Certes tout virage maintenu provoque une rotation et une dégradation du taux de chute... Mais il faut bien faire la différence entre un simple virage, même bien incliné et maintenu plusieurs tours, et une spirale... Où définir la frontière entre un virage "à plat" et une spirale ? Comment mesure-t-on l'engagement d'une spirale ?

On pourrait quantifier une spirale en mesurant le taux de chute... Mais le résultat dépend de l'aile et de la charge alaire. Ce n'est donc pas un critère fiable. On pourrait aussi mesurer le vent relatif ressenti par le pilote... Mais nous verrons que ce critère n'est pas proportionnel à l'engagement de la spirale (je peux sortir de la spirale sans percevoir de diminution du vent relatif). Il en est de même pour le nombre de G subis pas le pilote...

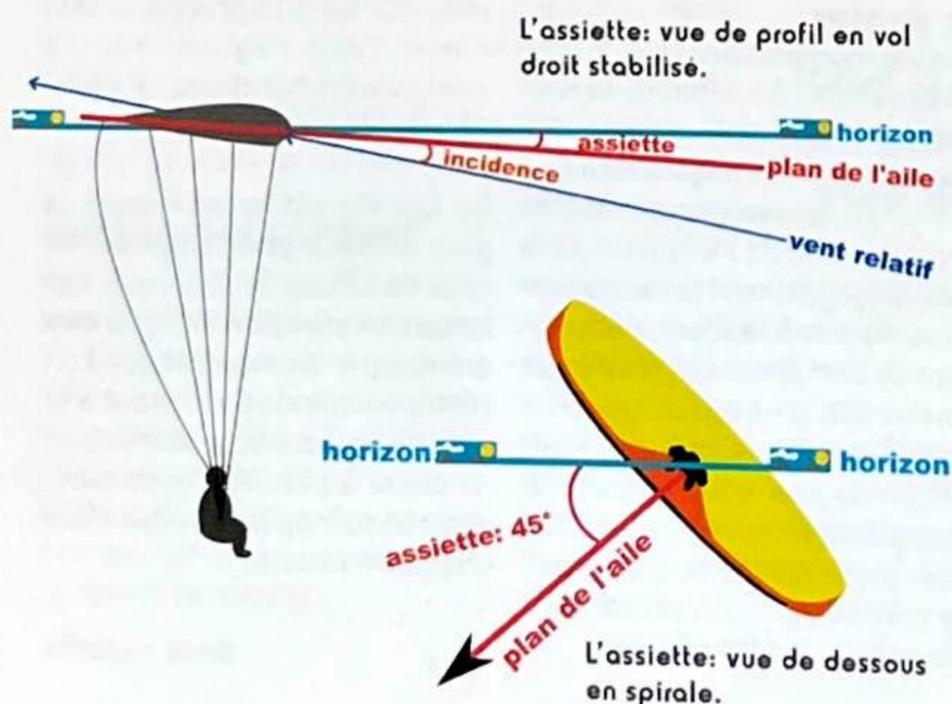
Le meilleur critère pour mesurer l'engagement d'une spirale c'est l'inclinaison de l'aile.

Et plus précisément, l'assiette (l'angle entre le plan du profil de l'aile et le plan horizontal). On a l'habitude de dessiner l'assiette vue de profil, mais il est intéressant de la dessiner vue de dessous, puisque c'est ce que nous voyons depuis la sellette.

Tout virage provoque d'abord du roulis. Puis de manière induite, un peu de lacet. L'addition du roulis et du lacet nous donne l'inclinaison de l'aile. Prenons une aile en vol droit et stabilisé, inclinons la avec 45° de roulis pur, puis rajoutons 10° de lacet... On obtient un virage qui pourrait très bien faire l'affaire pour enrôler un bon thermique avec un taux de chute très légèrement dégradé !

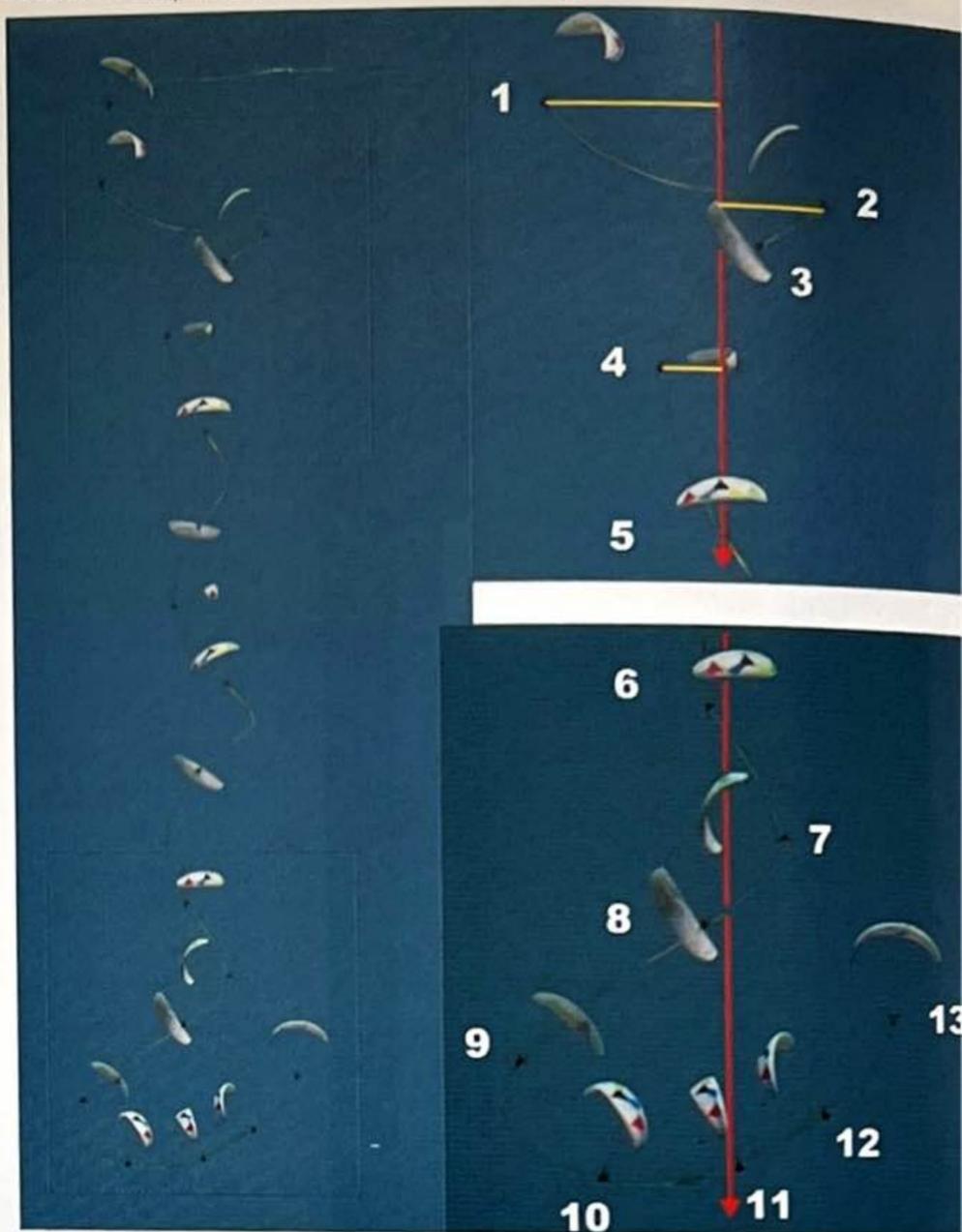
Si on l'incline à 45° de roulis mais également 45° de lacet, on obtient une spirale à 45° (avec un taux de chute d'environ -8m/s). Si on l'incline à 90° de roulis et 90° de lacet, on obtient l'inclinaison maximale d'une spirale : l'angle entre le plan du profil de l'aile et l'horizon est de 90° : on dit alors que la voile est "face planète". Le taux de chute est maximum (de -12 à -20m/s suivant l'aile et la charge alaire). Il est possible d'incliner encore plus l'assiette : on parle alors de la SAT. Une SAT n'est rien d'autre qu'une spirale inclinée à plus de 90° . Elle peut être inclinée au maximum à 180° ... c'est à dire que l'assiette est à nouveau quasiment horizontale et le taux de chute très faible (inférieur à 2m/s) !

Avec un peu d'entraînement, il est facile de quantifier une spirale vue de l'extérieur. Et avec encore un peu plus d'entraînement, il est possible de visualiser l'inclinaison vue depuis le poste de pilotage ! C'est même notre devoir de pilote que de contrôler cet angle !



Décortiquons mécaniquement le mouvement de la spirale...

Sur ce montage photo (spirale à droite sur 5 tours), le pilote traîne un long bandeau permettant de visualiser sa trajectoire. L'axe de rotation est parfaitement vertical (en rouge sur le dessin).



Observons maintenant le rayon de virage (en jaune sur le dessin), c'est à dire la distance entre l'axe de rotation (en rouge) et le pilote :

- Avec une inclinaison de 45° (image 3), le rayon est pratiquement égal à 2 cônes de suspentage (environ 10 à 15m).

- Avec une inclinaison de 90° (image 4), le rayon est égal au cône de suspentage (l'axe de rotation passe par la voile).

C'est au vu de ce constat que, lorsque deux pilotes de voltige réalisent une spirale synchronisée en miroir, ils peuvent s'éloigner en redressant, ou se rapprocher en inclinant davantage la voile (et aller jusqu'à toucher les deux extrados avec une inclinaison de 90°).

En SAT, l'axe de la rotation est situé dans le cône de suspentage.

Lors d'une SAT inclinée au maximum (180°), le rayon de virage est d'environ 1 mètre.

Les deux mouvements de la spirale

On peut être en spirale et maintenir une certaine assiette sur plusieurs tours. La spirale est alors stabilisée en rotation : le rayon de virage, le vent relatif, les G et le taux de chute sont stables.

La spirale peut s'incliner de plus en plus : nous parlerons alors de mouvement "à piquer" : le rayon de virage diminue, les G, le vent relatif et le taux de chute augmentent.

Il y a également le mouvement inverse : la voile est de moins en moins inclinée (mais l'assiette est toujours négative...) : nous parlerons alors de mouvement "à redresser". Mais attention, si le taux de chute diminue, il n'en va pas de même pour le vent relatif qui se maintient, et pour les G qui augmentent souvent ! Nous y reviendrons un peu plus loin...

La sortie de spirale

Elle se décompose en 2 phases : le redressement puis la ressource.

Dans un premier temps, la voile redresse (images 6 à 10). Elle est de moins en moins inclinée vers le bas et la vitesse verticale diminue.

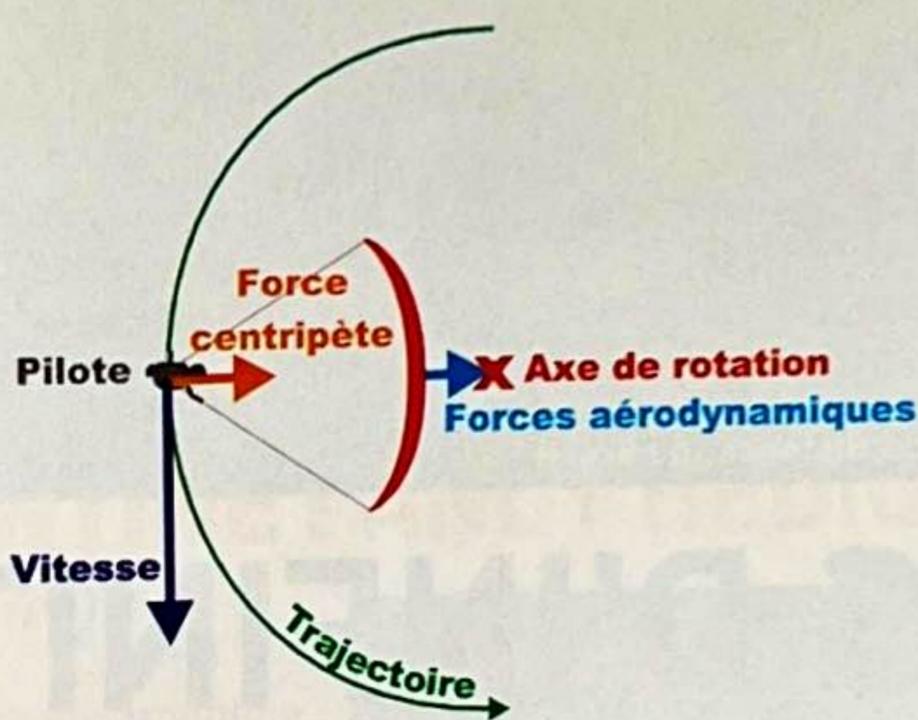
A un moment, l'assiette devient nulle (image 10, voire un peu avant) : le plan du profil de l'aile est horizontal. C'est la frontière entre la spirale et la ressource. Il reste du roulis, du vent relatif et un fort poids apparent, mais le taux de chute est de 0 m/s (c'est ainsi que les pilotes de voltige peuvent réaliser des posés en spirale en faisant toucher le stabilo au sol, avec de la vitesse, mais un taux de chute égal à zéro).

Puis l'assiette devient positive : il s'agit de la ressource (image 10, 11 et presque 12) avec un vent relatif et des G qui diminuent progressivement... Le vario peut se mettre à biper... La ressource peut se faire en rotation comme c'est le cas ici, ou bien en chandelle (dans ce cas, il faut s'apprêter à contrôler l'abattée).

de G négatifs en parapente, à moins de faire une spirale en position "cochon pendu" ce qu'il vaut mieux éviter !

En parapente, l'accélération (G) provient de la modification de la direction d'un corps en mouvement.

On peut exprimer la vitesse de 2 manières : en unité de distance par unité de temps (km/h ou m/s), ou bien en une quantité vectorielle (une flèche) qui représente aussi bien la vitesse que la direction. L'accélération qui nous concerne est un changement de direction de la vitesse vectorielle. Tout corps en mouvement tend à maintenir une trajectoire rectiligne (c'est l'inertie). Or, lors d'une spirale, le cône de sustentage et les forces aérodynamiques empêchent le pilote d'aller droit : c'est la force centripète.



Spirale à gauche vue de dessus

La centrifugeuse

Bien que le terme de force centrifuge est assez évocateur pour la plupart d'entre nous, la communauté scientifique ne l'apprécie pas du tout. Il convient mieux de parler de forces d'accélération ou de poids apparent. On l'exprime en nombre de G. Normalement, notre corps est soumis à 1G (accélération de la pesanteur à la surface de la Terre). A 2 G, le pilote pèse 2 fois son poids. A 3G, 3 fois son poids etc...

Les G s'expriment suivant l'axe et la direction où ils s'exercent : celui qui nous concerne en parapente est l'axe de la colonne vertébrale : on parle de Gz. Ces G peuvent être positifs (le sang va vers les pieds), ou négatifs (le sang va vers la tête). Il n'y a pas

Quels sont les critères qui jouent sur le nombre de G ressentis par le pilote au cours d'une spirale ?

- **La vitesse et le changement de direction** : plus le pilote va vite et plus il change de direction, plus il ressent de G.
- **Le rayon de virage** joue un rôle très important : les voiles à long cône de sustentage procurent plus de G que les voiles à cône de sustentage court.
- **La variation de l'inclinaison** : que le mouvement soit à piquer ou à redresser, il provoque un changement de trajectoire et donc une augmentation de la force G. Surtout si ce mouvement est rapide : entrée avec inclinaison soudaine et rapide, ou sortie avec redressement très rapide. ■