Stable ou instable, le pourquoi du comment...

Texte et croquis : Olivier Caldara

FICHE TECHNIQUE n°9

LA STABILITÉ EN TANGAGE, COMPOSANTE AÉRODYNAMIQUE :

Comme nous l'avons vu dans la dernière rubrique, un profil, une aile ou un aéronef en général, possèdent un point très particulier appelé "foyer" F, pour lequel le moment de tangage ne varie pas avec l'incidence. Ce moment de tangage particulier est appelé "Cm0".

Si ce "Cm0" est nul, la position de la portance (centre de poussée CP), ne varie pas avec l'incidence, ni avec le Cz.
Si ce Cm0 n'est pas nul, la position du CP est telle que le bras de levier "bl" avec le foyer est tout simplement le rapport du Cm0 divisé par le Cz :

$$\text{Bras-de-levier (bl)} = \frac{\text{Moment (Cm0)}}{\text{Force (Cz)}}$$

Comme pour la girouette de l'exemple dans VL 337, le centrage de l'aéronef par rapport au "foyer" est, on l'a vu, très important pour sa stabilité aérodynamique.

La stabilité d'un système est caractérisée par la tendance de ce système à revenir à la position d'équilibre lorsqu'on l'en écarte. Pour un aéronef, elle est caractérisée par sa tendance à diminuer l'incidence lorsque celle-ci augmente, ou l'inverse. La stabilité est indifférente lorsqu'aucun effet n'est provoqué sur l'aéronef en cas de variation d'incidence.
Par ailleurs, pour que l'aéronef soit "équilibré", sans tendance à cabrer ou piquer, il faut que l'ensemble des forces de gravité compensent le moment Cm0 par rapport au foyer, et donc que le centre de gravité soit à la verticale du CP.

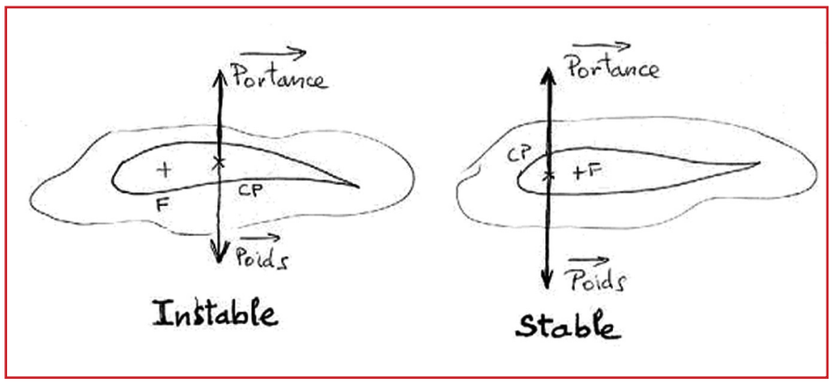
Aérodynamiquement parlant, comme la girouette, un aéronef est stable s'il est centré en avant du foyer, instable s'il est centré en arrière du foyer, et "indifférent" s'il est centré au foyer. A l'équilibre, un aéronef aérodynamiquement stable aura tendance à opposer un moment à piquer pour toute augmentation d'incidence, ce moment à piquer étant provoqué par le recul du centre de poussée. Un aéronef instable aura tendance à appliquer un moment à cabrer pour toute augmentation d'incidence, par l'avancement du centre de poussée (schéma ci-dessous).

Est-ce à dire qu'il est impossible de faire voler convenablement un aéronef instable aérodynamiquement ?

Ce n'est pas tout à fait vrai, car on peut compenser une instabilité aérodynamique par d'autres types de stabilité, par exemple pendulaire, ou bien par une stabilité dite "artificielle".
Dans le cas d'un avion de chasse moderne, cette stabilité est obtenue par un pilotage des gouvernes avec une plus grande rapidité que les variations d'incidence et les mouvements induits sur l'avion par les moments des forces aérodynamiques. L'instabilité est "pilotée" par le système de commandes de vol pour obtenir une stabilité artificielle.
Malheureusement, aucun pilote "humain" ne saurait piloter aussi rapidement, et une telle technique est hors de portée du vol libre...
Reste la stabilité dite "pendulaire", qui est plus universellement utilisée dans le vol libre.

UN "PENDULE AÉRODYNAMIQUE"...

Dans le cas de beaucoup d'aéronefs de vol libre, tels le delta et surtout le parapente, la résultante des forces aérodynamiques peut être appliquée très loin au dessus du centre de gravité.
Supposons un aéronef d'une hauteur "h" (par exemple un parapente) muni d'un profil "aérodynamiquement instable" à Cm0 négatif, et donc centré en arrière du foyer. A l'équilibre pour une incidence donnée, le centre de poussée CP et le centre de gravité CG sont alignés sur la même verticale. Que se passe-t-il lors d'une variation d'incidence (par exemple augmentation d'incidence lors de l'entrée dans un thermique) ?



FICHE TECHNIQUE n°9

Le profil étant instable, le CP aura tendance à avancer en même temps que l'augmentation de portance, induisant un moment de rotation à cabrer autour du CG du parapente, d'autant plus grand que le Cm0 sera négatif. Réaction "classique" d'une aile qui "refuse" le thermique. Le parapente va donc tourner, en gros, autour du pilote, jusqu'à trouver une nouvelle position d'équilibre grâce à la hauteur " h " du pendule. La vitesse de rotation du parapente dépend de l'inertie de l'aile, donc de sa traînée et du volume d'air emprisonné. Suivant la hauteur "h", cette position d'équilibre sera plus ou moins rapidement atteinte. Si "h" est très faible voire nulle (cas d'un delta, ou d'un avion classique), cette position d'équilibre peut ne pas être atteinte avant le décrochage de l'aile. Ensuite, comme l'incidence va de nouveau diminuer après l'entrée dans le thermique, l'aile va revenir à sa première position d'équilibre, par un nouveau mouvement, cette fois ci vers l'avant (schéma ci-dessous).

Ainsi, muni d'un profil "instable", un parapente peut très bien être stabilisé par effet pendulaire. Cependant, comme on vient de le voir, toute variation d'incidence aura un effet sur la position de l'aile, et sur les mouvements de celle-ci d'avant en arrière suivant les turbulences de la masse d'air :

• Les mouvements seront d'autant plus amples que le profil sera instable (Cm0 très négatif) et que le suspentage sera court ;

• Ils seront d'autant plus rapides que le profil sera mince, et l'aile légère.

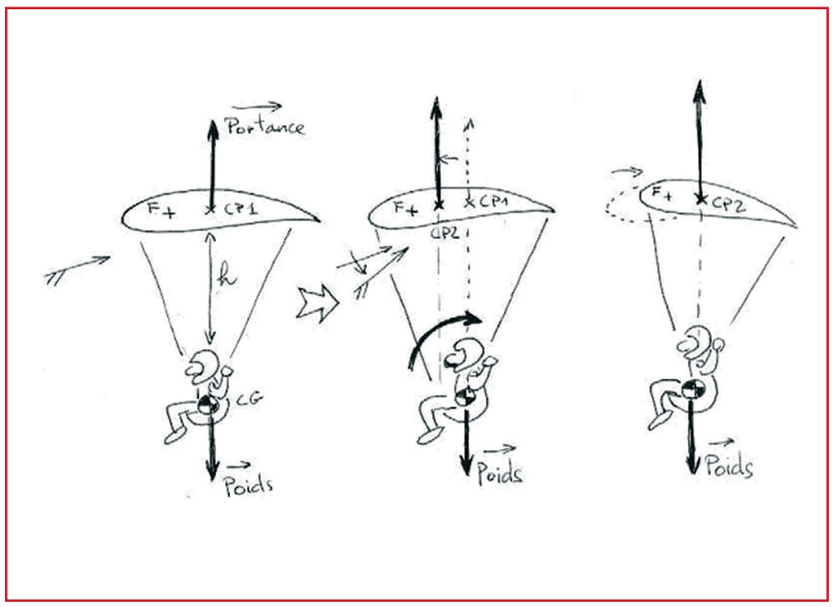
Pour compenser ces mouvements, le pilote doit utiliser la traînée additionnelle procurée par les freins, et compenser par un pilotage adapté les mouvements de l'aile :

• Sur une augmentation d'incidence (en entrée de thermique par exemple), relâcher les freins pour incliner la portance vers l'avant et compenser le moment à cabrer ;

• Sur une diminution d'incidence (en sortie de thermique), freiner pour incliner la portance vers l'arrière et compenser le moment à piquer.

Ce pilotage "réactif" est totalement similaire au pilotage "artificiel" des avions de chasse, à ceci près qu'il n'est rendu possible que par la hauteur du pendule, l'inertie et la lenteur du parapente dans ses mouvements, et d'autant moins utilisable que l'inertie de l'aile est faible (profils minces).

Ainsi, si le vol en parapente est envisageable avec des profils instables, il implique nécessairement au pilote une vigilance de tous les instants, pour compenser les mouvements dus à l'instabilité aérodynamique de l'aile. Par ailleurs, dans le cas où la turbulence n'est pas uniforme, mais différente entre l'aile gauche et l'aile droite par exemple, le pilotage s'en trouve grandement compliqué, jusqu'à n'être plus gérable pour un pilote "moyen".



Il est à noter que lorsque le profil est "stable" (Cm0 positif), les effets sont inverses :

• Tendance à "mordre" dans le thermique en entrée ;

• Tendance à "s'enfoncer" en sortie de thermique.

Les effets combinés de profils stables, instables, ou indifférents, minces ou épais, et d'un suspentage long ou court, donnent toute la palette de "sensibilité" de pilotage des ailes d'aujourd'hui, de l'aile plutôt "camion" très stable, à l'aile "vif argent" que l'on ne peut pas confier à tous les pilotes....

ET LES PERFORMANCES ? :

A proprement parler, la stabilité en tangage de l'aile de parapente n'a que peu d'influence sur les performances, et l'utilisation de profils stables ou seulement légèrement instables, aujourd'hui répandue, ne s'est pas soldée par une diminution des performances par rapport aux ailes d'il y a 10 ans, bien au contraire. En fait, il n'y a pas de corrélation entre la stabilité et les performances, et les qualités des différentes ailes présentes dans une gamme donnée, en ce qui concerne leur stabilité, résultent plus de choix de conception par rapport au "segment" de pilotes visé : ailes stables pour les pilotes débutants, ailes plus instables et "vivantes" pour les pilotes plus confirmés.

Parmi le nombre important de parapentes disponibles, chacun peut ainsi faire son choix, en fonction de ses goûts ou de ses habitudes de vol, thermique, soaring, restit, etc... et aussi en fonction de son savoir-faire.

Comme dans toute activité humaine, c'est finalement la diversité qui fait l'intérêt !

Pour notre prochaine rubrique, et après la stabilité en tangage, je vous propose d'analyser plus avant la stabilité en roulis et en lacet, avant d'aborder la stabilité spirale.