PAR **MICHEL BARRY**
Pilote professionnel, ingénieur aéronautique

Sécurité

La VFE

Respectez-la ! Vous ne casserez pas vos volets

Dépasser la limitation de vitesse volets sortis est une grave faute de pilotage dont les conséquences peuvent être dramatiques. Et si, par mégarde, cela devait vous arriver - pour avoir oublié de rentrer les volets après une remise de gaz par exemple -, signalez impérativement l'incident avant qu'un autre pilote ne risque sa vie par votre négligence.

VFE (Velocity Flap Extended ou vitesse à ne pas dépasser volets sortis), est une limitation pas toujours respectée. Si les constructeurs ont prévu solide car ils savent que la plupart des avions légers sont susceptibles de passer entre des mains de débutants, il existe pourtant des limites à la résistance mécanique de l'ensemble des volets. Outrepasser ces limites (VFE, facteur de charge) peut conduire à des endommagements graves et à l'accident. L'éventail des possibilités est large : depuis le volet un peu tordu qui rend l'avion légèrement dissymétrique jusqu'à l'accident mortel inexpliqué, en passant par le mécanisme faussé et devenu capricieux, le dépassement de VFE est une grave faute de pilotage. Et comme la plupart de celles qui peuvent détruire en vol des éléments de l'avion, c'est souvent le pilote d'un vol suivant qui en subira les conséquences alors que l'auteur anonyme n'a pas cru bon de rapporter l'incident.

A – Les charges aérodynamiques supportées par les volets hypersustentateurs

Les volets ont une double fonction :

1. Augmenter le coefficient de portance de l'aile afin de donner à l'avion la possibilité de voler plus lentement, pour l'atterrissage et le décollage par exemple.
2. Augmenter le coefficient de traînée afin de décélérer plus efficacement, notamment dans la phase de passage de la configuration « croisière » à la configuration « approche », puis ensuite dans la phase de passage d'« approche » à « atterrissage ».

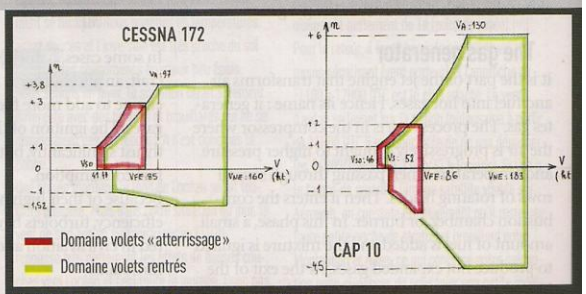

Figure 1. Deux exemples de domaines de vol restreints par la sortie des volets en configuration « atterrissage ».
Le principe d'exploitation du document : rester à l'intérieur du polygone, défini par n et V, selon le braquage des volets. Dans les deux cas, VFE est très voisine (85 et 86 kt). En revanche, le CAP 10 qui supporte un facteur de charge de + 6 (attention, certaines restrictions récentes dues au vieillissement des appareils ont un peu diminué cette valeur !) se trouve limité à n = +2, volets sortis. Cela ne signifie pas que l'appareil est plus fragile mais simplement, comme il est destiné à des pilotes plus expérimentés que le Cessna 172, le concepteur n'a pas jugé utile de surdimensionner les volets et leur mécanisme. Le Cessna, au contraire, est moins limité en facteur de charge. On voit que la principale limitation « volets atterrissage » est VFE.

On remarquera que pour tous les appareils dont la finesse train sorti est inférieure à 20 (cas de la plupart de nos avions légers), l'excédent de traînée dû aux volets n'est pas indispensable puisqu'on peut très bien se stabiliser sur le plan d'approche à 5 % sans avoir à dégrader la finesse par augmentation de la traînée. C'est la raison pour laquelle les constructeurs installent plutôt des volets hypersustentateurs (volets à fente, volets Fowler) que des « volets freins » (volets d'intrados, volets simples).

Les pilotes doivent être conscients que les volets hypersustentateurs plus volumineux et au mécanisme plus sophistiqué (Cessna 172) sont exposés à des charges aérodynamiques plus élevées que des petits volets plutôt aérofreins (DR 400) et sont, de ce fait, plus vulnérables.

Maquette en soufflerie destinée à l'étude des charges aérodynamiques sur le volet d'un prototype d'avion léger (Documentation du Centre aérospatial de Ville-d'Avray).

Dans tous les cas, le constructeur calcule et démontre la résistance mécanique des volets dans le domaine de vol « volets sortis » (arc blanc sur l'anémomètre) plus restrictif que le domaine de manœuvre (figure 1). Ensuite, comme le lui obligent les exigences de la certification, un coefficient de sécurité entre « limite » et « rupture ou extrême » de 1,5 est appliqué. Par exemple, pour un élément qui subit à la vitesse limite d'utilisation des volets (VFE) une charge dite « limite » de 1 000 N, une charge dite « extrême » de 1 500 N, qui pourrait conduire à la rupture, servira de base de calcul.

• Charges plutôt liées à la vitesse

Les charges proviennent en partie de la pression dynamique proportionnelle au carré de la vitesse. Le rapport des forces (à deux vitesses différentes) est donc proportionnel à la racine carrée du rapport des vitesses.

Ainsi (figure 2) si VFE = 85 kt alors 85 kt x$\sqrt{1,5}$ = 104 kt est, **en général**, la vitesse à laquelle l'ensemble du dispositif hypersustentateur, et peut-être aussi ses points d'ancrage sur l'avion, sont susceptibles d'être endommagés irréversiblement, voire rompus (vitesse extrême ou vitesse de rupture). Mais parfois (figure 3) on peut atteindre 1,5 fois les charges limites à une vitesse inférieure à 1,22 VFE. Ceci est pourtant parfaitement compatible avec le respect du coefficient de sécurité imposé au constructeur par les exigences de la certification.

Argument supplémentaire pour ne pas dépasser strictement VFE.

• Charges aérodynamiques plutôt liées au facteur de charge

Le volet, élément à part entière de l'aile, subit ou procure une partie de la résultante aérodynamique.

Lorsqu'il est en position « rentré », la résultante aérodynamique (traînée et portance) qui s'exerce sur lui est extrêmement faible : moins de 1 % de la portance (ou de la résultante aérodynamique de l'aile). Et ce quels que soient la vitesse de l'avion et le facteur de charge. Au contraire, en position « sorti », le volet subit une force aérodynamique qui vaut une fraction non négligeable de la résultante aérodynamique totale. Donc « sorti » et « sous facteur de charge », il est sollicité dans des proportions bien plus importantes que lorsqu'il est rentré. Ce qui pose de réels problèmes de calcul de structure, notamment si l'on devait concevoir un volet capable de résister au facteur de charge limite. Mais comme le volet n'est utilisé qu'en configuration décollage ou atterrissage, là en principe où les évolutions de l'avion ne nécessitent pas d'atteindre des facteurs de charge ou des vitesses élevés, le constructeur n'a pas à calculer la résistance du volet au-delà de n = 2 en catégorie « normale » (pour n = 3,8 volets rentrés) et n = 3,5 en catégorie « acrobatique » (pour n = 6 volets rentrés). La limitation liée au facteur de charge est donc une contrainte supplémentaire pour le pilote. Non respectée, elle pourrait conduire à un endommagement important du volet et de son mécanisme, même à une vitesse inférieure à VFE. Sur la figure 1, deux domaines de vols d'appareils différents (Cessna 172 et CAP 10) montrent comment la sortie des volets restreint l'utilisation de l'avion en manœuvre.

A - Vitesse extrême ou de rupture : 104 kt (en principe). Voir la remarque de la figure 3.

B - VFE = 85 kt : fin de l'arc blanc.
Ne jamais dépasser volets sortis.

Figure 2. Vitesse limite VFE et Vitesse extrême (cas général).
Sur l'anémomètre, on voit la marge entre la limitation VFE imposée par le constructeur et la vitesse à laquelle les volets sortis* ou leur mécanisme seront probablement endommagés irréversiblement : 19 kt.
La plage de vitesse comprise entre 85 kt et 104 kt représente une sécurité qui ne doit pas être utilisée. Si, par erreur, un pilote y pénétrait, volets sortis, il devrait impérativement le signaler.

** Pour les volets partiellement sortis, VFE peut parfois être plus élevée. Par exemple, pour le Cessna 172, VFE = 85 kt, volets sortis au maximum et 110 kt pour les volets sortis à 10°.*

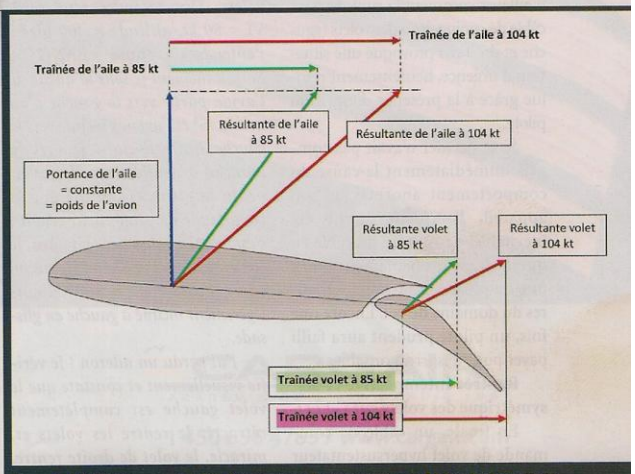

Figure 3. A 1,22 VFE, on peut parfois dépasser une charge supérieure à 1,5 fois la charge limite.
Résultats quantitatifs extraits d'une étude en soufflerie : évolution des forces aérodynamiques entre 85 kt (VFE) et 104 kt (vitesse considérée comme vitesse extrême ou vitesse de rupture) sur des volets à fente classiques.
Sur ce schéma d'un profil d'aile, on remarque comment, entre 85 et 104 kt, les forces qui s'exercent sur un élément de volet s'accroissent spectaculairement. En effet, **en général**, si la vitesse est multipliée par 1,22 les forces aérodynamiques sont multipliées par 1,22 au carré soit 1,5. Mais ici, **pour le cas particulier du volet**, une orientation spécifique de la résultante peut même produire un accroissement de sa traînée supérieur à 1,5. Ici environ 1,8.
Rapportée à une tranche d'aile d'un mètre de corde et d'un mètre d'envergure, profondeur des volets 0,32 m, la traînée de volet par exemple vaudrait :
• A 85 kt : 270 N (environ 27 kilogrammes-force).
• A 104 kt : 485 N (environ 41 kilogrammes-force).
Soit, pour un appareil de la catégorie du Cessna 172 (environ 4 m d'envergure concernée par les volets):
• A 85 kt : 1080 N.
• A 104 kt : 1940 N.
Ainsi, la marge de calcul de 50 % (coefficient de sécurité de 1,5) serait atteinte à une vitesse plus basse que 1,22 VFE. Tous les organes mécaniques s'opposant à la traînée des volets (potences, mécanismes...) seraient ici sollicités à leur limite de rupture dès une vitesse de l'ordre de 1,15 VFE (98 kt) !

B – Retour d'expérience et recommandations propres à l'utilisation des volets

• Accidents dus à une rupture des volets ou de leur mécanisme. Retour d'expérience.

Même si aucun rapport d'accident lié à une rupture des volets hypersustentateurs ou de leur mécanisme n'est actuellement disponible, il est notoire que de tels problèmes

surviennent régulièrement. Un rapport interne à un aéroclub montre d'ailleurs comment la rupture d'un câble de conjugaison des volets (gauche et droite) a provoqué une situation d'urgence, heureusement résolue grâce à la présence d'esprit du pilote.

Si ce dernier n'avait pas compris immédiatement la cause du comportement anormal de son appareil, l'accident aurait été inévitable. La rupture du câble en question est probablement due à une ou plusieurs sorties antérieures du domaine de vol. Encore une fois, un pilote prudent aura failli payer pour des irresponsables.

Rentrée intempestive et dissymétrique des volets sur C 172 :

En finale, un câble de commande de volet hypersustentateur du F-X… a cassé, provoquant la rentrée immédiate du volet concerné. Heureusement, cet incident rarissime n'a pas débouché sur un accident. Le pilote aux commandes, très expérimenté, a su se tirer d'affaire. Il nous raconte lui-même sa mésaventure :

« Il est 18 h, après accord de la tour je pars pour faire trois tours de piste sur le C 172 F-X… Les deux premiers atterrissages se déroulent normalement.

Lors du troisième, j'arrive en base à 80 kt, 10 degrés de volets.

Je m'annonce en dernier virage. En fin de virage je sors tous les volets. Dix secondes plus tard, Vi = 80 kt, altitude = 400 pieds, j'entends un grand « BANG !». Simultanément je sens la queue de l'avion partir vers la gauche d'au moins 45° et l'avion s'incline vers la gauche. Instinctivement je mets du manche à droite. Je pense avoir perdu la queue. Je vérifie que la commande de profondeur réagit : c'est bon. Le palonnier agit aussi. Je constate alors que j'ai le volant en butée à droite et l'avion toujours légèrement incliné à gauche en glissade.

J'ai perdu un aileron ! Je vérifie visuellement et constate que le volet gauche est complètement rétracté. Je rentre les volets et, miracle, le volet de droite rentre. L'avion redevient normal. Pensant que le volet avait sauté un cran je tente de le(s) ressortir, la dissymétrie revient immédiatement. J'avise la tour qui veut m'envoyer les secours mais je lui dis qu'il n'y a plus de problème car je me pose en lisse. Lors du roulage je ressors les volets. Ils sortent normalement.

La réponse viendra à l'arrêt : le volet gauche sort par gravité et, lors du vol, il est rentré par le vent relatif. Le mécanicien m'apprendra que le câble de sortie de volet s'est arraché au sertissage du côté du pignon moteur.

A la question que tout le monde me pose : l'avion est-il pilotable dans ce cas ? Ma réponse est oui sur un plan de descente puisque la trajectoire de l'avion a été stable à peu près. Mais de là à le poser avec un grand coup de pied… »

Chacun pourra s'interroger sur sa capacité à réagir à un tel incident. Mais surtout, il faut réaliser que la rupture de ce câble est le résultat de dépassements répétés de VFE. En effet, l'examen de la cassure a permis d'exclure un défaut d'origine et montré une rupture due à la fatigue du métal. Chaque sortie prématurée des volets (Vi en dehors de l'arc blanc) et chaque dépassement de VFE après leur sortie contribuent à soumettre les câbles de commande ainsi que le reste de la structure des volets à des efforts **en dehors du domaine normal d'utilisation**. L'accumulation de ces contraintes « hors normes » peut aboutir à cette sorte de rupture… Et le pilote qui en sera victime n'en sera pas directement responsable.

Mais, pourra-t-il maîtriser la situation ? (*Note du chef pilote*)

• Recommandations liées à l'utilisation des volets

- D'abord bien connaître (encore une fois !) son appareil et l'ensemble de ses limitations.

- Vérifier avec un instructeur (pour les pilotes débutants) que les opérations d'arrivée sont exécutées sans précipitation, cas favorisant souvent le dépassement de VFE.

- Vérifier qu'en finale on tient sa vitesse avec suffisamment de précision pour rester entre 1,3 VS0 et VFE surtout avec un nouvel avion.

- Effectuer systématiquement les check-lists notamment « après décollage » ou « après remise de gaz ». VFE est souvent dépassée parce qu'on a oublié de rentrer les volets.

- Sur certains appareils, forcer les « volets électriques » à sortir au-dessus de VFE peut produire un déclenchement du breaker de volets. Il provient alors du surcouple dû à la charge aérodynamique excessive. En cas de non-fonctionnement du servomoteur des volets, vérifier le breaker. S'il est déclenché après être revenu à une vitesse correcte, le réenclencher (une fois seulement). En cas d'insuccès, se poser avec le braquage obtenu et surtout ne plus rien tenter.

- Signaler tout dépassement de VFE. Le constructeur a prévu le cas et tout le mécanisme n'est probablement pas endommagé. Une pièce préférentielle joue souvent le rôle de fusible. La facture sera moindre qu'en cas de perte d'un volet ou de sortie dissymétrique. ●