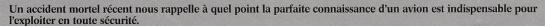
### PAR MICHEL BARRY

Pilote professionnel, ingénieur aéronautique

# Sécurité

La vrille plate ou vrille à plat

Connaître avec précision la procédure d'arrêt et de sortie





Après avoir rappelé les rudiments de la vrille à plat nous extrayons de ce rapport les informations principales et les conclusions afin que les utilisateurs du Cap 10 C prennent connaissance de ses particularités liées à sa nouvelle aile. Elle donne à l'appareil des caractéristiques, notamment de sortie de vrille, différentes de celles du Cap 10 B.

Nous espérons aussi que la pertinence du document incite tous ceux qui pratiquent la voltige avancée à s'informer au maximum sur les procédures spécifiques, notamment celles concernant les sorties de vrille si différentes d'un avion à l'autre.

### A - Les faits : Un Cap 10 C est en vrille à plat, le pilote ne peut la stopper

BEA: Déroulement du vol

Le vendredi 4 juin 2010, les deux pilotes décollent à bord d'un Cap 10 C pour réaliser un vol de réentraînement à la voltige. L'instructeur est en place gauche. Ils montent à une hauteur de 5000 ft à la verticale de l'aérodrome de Saint-Rambert d'Albon (26) pour débuter les exercices qui ont été préparés lors d'un briefing avant le décollage. Après avoir exécuté une vrille «dos», ils remontent à la même altitude pour débuter une vrille «plate». La mise en vrille plate à droite est réalisée selon la procédure décrite au briefing par l'instructeur. Après plusieurs tours de vrille, le pilote en place droite puis l'instructeur tentent sans succès d'arrêter la rotation de l'avion. L'instructeur décide de l'évacuation et largue la verrière. Le pilote en place droite s'extrait de l'avion et actionne la commande d'ouverture du parachute qui s'ouvre normalement. L'instructeur n'a pas le temps d'évacuer avant que l'avion entre en collision avec le sol.

### B - La vrille à plat

Il s'agit d'une position quasi stable du vol qui peut se produire sur la plupart des appareils d'architecture classique, avion ou planeur, et ce d'autant plus que le centrage est plus arrière.

D'où la nécessité pour un pilote de voltige de savoir comprendre qu'il est en vrille à plat et surtout de savoir appliquer sans hésiter la procédure d'arrêt et de sortie. Elle a été définie au cours de la campagne d'essais en vol du constructeur puis consignée dans le manuel de vol.

Au cours de la vrille à plat, l'avion tourne autour d'un axe vertical qui passe par son centre de gravité ou un peu à côté. Son inclinaison est faible, voire nulle, son assiette est voisine de l'assiette de croisière mais son incidence moyenne est très élevée, proche e 90°, car il descend comme glissant le long d'un fil vertical. L'extrémité d'une aile\* avance en rotation, l'autre le plus souvent recule [figure 1].

Seule l'aile qui avance (par exemple l'aile gauche dans une vrille à plat à droite) a son extrémité qui fonctionne à une incidence permettant d'alimenter presque normalement l'aileron. L'aile qui «recule» a une incidence supérieure à 90° et le bord de fuite de l'aileron fonctionne un

peu comme un bord d'attaque. En général, l'aile extérieure décrit un mouvement plus ample que l'aile intérieure. Un peu comme certaines graines qui descendent lentement en tournovant.

Pour un avion, «lentement» devient tout relatif et se traduit par des vitesses verticales suffisamment élevées (en fonction de la charge alaire, environ 100 à 180 km/h pour les avions légers). En général, l'arrivée au sol en vrille à plat détruit l'appareil et provoque des blessures mortelles pour l'équipage resté à bord.

La mécanique du vol au cours de la vrille à plat est difficile à analyser et les multiples théories qui s'affrontent sont plutôt des hypothèses que des lois explicites. En effet, les écoulements de l'air qui régissent les forces en présence sont mal connus et très difficiles à modéliser, même avec les logiciels de mécanique des fluides les plus performants.

La dangerosité de la figure tient au fait que les gouvernes des empennages (profondeur et direction) ne sont pas soufflées et que le pilote dispose de peu de défense pour recouvrer une situation normale. La dérive reçoit bien l'air mais sous pratiquement une incidence de 90°. Elle est donc complètement décrochée aérodynami-

\*aile : en toute rigueur on devrait parler de demi-aile. Mais souvent on simplifie le langage et l'écriture quand il n'y a pas d'ambiguïté.

quement et la gouverne de direction n'a plus d'influence sur le lacet. La dérive produit un effet frein à la rotation en lacet. Souvent, la gouverne de direction est «aspirée» et a tendance à partir en butée ce qui donne faussement au pilote l'impression qu'elle a conservé une efficacité aérodynamique. Elle peut, de ce fait, mobiliser une partie de son attention alors qu'elle est peu opérante.

La plupart du temps, l'aileron de l'aile extérieure est déterminant pour le contrôle des assiettes de la vrille (assiette transversale et assiette longitudinale). En effet, s'il continue à être alimenté, son braquage - vers le bas ou vers le haut -, produit une portance positive ou négative et aussi un moment de tangage à piquer ou à cabrer sur la partie de l'aile encore soufflée à une incidence de fonctionnement inférieure à celle du décrochage. La variation de portance produit du roulis et la variation du moment de tangage de la partie de l'aile encore efficace transfère l'effet tangage à tout l'avion. Ce sont les seules ressources dont dispose le pilote pour sortir de la vrille à plat stabilisée en dehors d'un éventuel soufflage des empennages par application de la puissance.

Mais souvent, au cours d'une vrille à plat entretenue (plus d'un tour), le moteur s'arrête car le carburant subit une pesanteur apparente susceptible de désamorcer le réservoir par centrifugation du carburant. Le phénomène survient aussi en vrille classique. On remarque que sur la plupart des avions légers, surtout pour ceux non prévus pour la voltige, la vrille à plat produit l'arrêt moteur bien plus souvent que la vrille classique.

Cette perte de possibilité de souffler les empennages est d'autant plus gênante que parfois, en appliquant la puissance, certains appareils peuvent répondre à la profondeur sur un ordre à piquer et, en basculant sur le

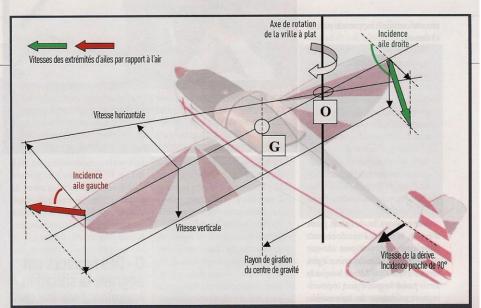


Figure 1 : Cinématique simplifiée d'une vrille à plat à droite (triangles des vitesses) La vrille à plat est une rotation dans le plan de l'aile autour d'un centre de rotation O.

Le centre O est en général décalé. Vers la droite dans une vrille à droite. Il s'ensuit une vitesse horizontale plus grande pour l'aile qui avance (ici l'aile gauche) que pour l'aile qui recule (ici l'aile droite). Si l'incidence de l'aile gauche est inférieure à l'incidence de décrochage, on conserve une alimentation de l'aileron gauche qui représente la seule possibilité de contrôle en tangage et en roulis. L'aileron droit a une vitesse relative plus faible, une incidence élevée qui dépasse 90° si l'aile recule. Son influence sur la sortie de vrille est faible.

nez, transformer instantanément la vrille à plat en vrille classique. Cette dernière procédure est rarement recommandée car on ne peut pas compter sur le fonctionnement du moteur. Elle explique pourquoi, toutefois, comme mentionné dans le rapport BEA, «...l'instructeur a tenté de modifier l'assiette en utilisant la puissance du moteur »

On se retrouve en vrille à plat, involontairement ou volontairement, après les phases de vol suivantes :

- · Au cours d'une figure de voltige, l'avion s'arrête à plat avec un léger mouvement de lacet. Pour peu qu'il soit centré plutôt arrière, il peut continuer à tourner autour de son axe de lacet et se stabiliser directement en vrille à plat au lieu de saluer dans l'axe pour reprendre de la vitesse;
- · Au cours d'une vrille normale, volontaire ou accidentelle, le gauchissement est mis à l'opposé de la vrille.

On dit que la vrille «s'aplatit». C'est la procédure généralement utilisée pour déclencher intentionnellement l'exercice de vrille à plat. Au cours d'une vrille normale, au contraire, la vrille à plat peut aussi être la conséquence d'une tentative maladroite d'annulation de l'inclinaison par une action au manche dans le sens opposé à la vrille (par exemple mettre le manche à gauche dans une vrille à droite).

### C - La manœuvre de sortie de vrille à plat

La formation des pilotes de voltige passe par la connaissance des manœuvres de sortie des positions inusuelles car elles peuvent être involontairement rencontrées au cours d'une séance d'entraînement. Parmi elles, la sortie de vrille à plat est sans doute l'une des plus délicates. En effet, à ce moment, on ne pilote plus l'avion

mais, au contraire, on positionne les commandes de vol de façon à ce que les gouvernes soient braquées et fixes dans la seule combinaison qui permette de stopper la vrille à plat et de la transformer en général en une vrille classique, nez vers le sol. La difficulté de la manœuvre consiste à bien connaître l'ergonomie du poste de pilotage, depuis la place droite ou depuis la place gauche, afin de positionner sans hésiter manche et palonnier avec précision, là où il faut.

Ensuite, on doit en général attendre quelques secondes, qui peuvent paraître très longues à un pilote non averti, pour que la rotation ralentisse et que simultanément le nez de l'avion s'abaisse. Mais si, sous l'effet du stress, on n'a pas la patience d'attendre, on peut être conduit à tenter d'autres manœuvres qui, par définition, seront moins efficaces que la procédure préconisée et compromettre sa

En place gauche, sur Cap 10 C, lorsque le manche est tiré secteur arrière... ...les ailerons ne sont pas au neutre.

réussite comme le rapporte le passage ci-dessous :

BEA: Au cours de la tentative de reprise de contrôle, l'instructeur a appliqué successivement les commandes de vol dans des positions différentes et tenté de modifier l'assiette en utilisant la puissance du moteur. Toutes ces tentatives se sont enchaînées sans attendre le bénéfice de chacune des applications. Ce changement répété de stratégie ne pouvait permettre l'effet désiré de l'application de chacune de ces actions et donc l'arrêt de la rotation.

A ce propos Claude Lelaie, pilote d'essais, écrit dans un document culte que tout voltigeur devrait connaître (les Vrilles des avions légers, février 1980 ) : « Même lorsque la sortie paraît longue, il faut impérativement maintenir les commandes dans la position préconisée par le manuel de vol et si la sortie n'est pas visible, c'est peut-être parce qu'elles ne sont pas dans la bonne position. La seule action du pilote doit donc être de vérifier qu'il n'a pas fait d'erreur, et de la corriger le cas échéant, mais il ne doit en aucun cas essaver une manœuvre autre que celle prévue dans les consignes. »

Dans l'accident, il semblerait que le pilote influencé par des procédures efficaces sur d'autres appareils n'ait jamais appliqué la seule qui fonctionnait sur le Cap 10 C.

Figure 2: Dissymétrie droite/gauche de la commande de gauchissement du Cap 10 C
On voit nettement l'aiteron gauche braqué vers le haut alors que le pilote assis en place gauche tient le
manche en secteur arrière et dans une position qu'il a tout lieu de considérer comme celle de «gauchissement au neutre». En réalité, sur cet appareil, les ailerons seraient au neutre seulement si le
manche tiré en secteur arrière était repositionné un peu à droite (documentation extraite du BEA).

BEA: L'exécution de la vrille plate à droite a été débutée comme prévue. Le pilote en place droite a appliqué la procédure de sortie préconisée par l'instructeur mais sans effet après un tour et demi de rotation. Quand l'instructeur a repris les commandes, il a vérifié l'application des commandes de vol puis sollicité de nouveau l'avion avec les palonniers, au gauchissement et avec la puissance du moteur à plusieurs reprises, sans vraiment attendre à chaque fois l'effet de ces applications successives.

A aucun moment, il semble qu'il n'ait placé franchement le gauchissement dans le sens de rotation comme le précise la procédure validée du manuel de vol.

Les habitudes prises par l'instructeur sur CR100 ou sur Cap 10 B l'ont conforté dans la certitude de l'efficacité de la procédure de sortie qu'il a voulu appliquer...

Les effets de l'aileron décrits plus haut ont une influence plus ou moins forte sur la sortie de vrille à plat. Pour le Cap 10 C accidenté, le manche dans le sens de la rotation aurait dû produire à la fois une inclinaison dans le sens de la vrille et aussi une tendance à piquer transformant ainsi la vrille plate en vrille standard.

## D - Des facteurs ont aggravé la situation

Application d'une procédure inadaptée à l'avion, différence de géométrie des commandes entre la place gauche et la place droite

L'instructeur avait répété mentalement sa procédure d'arrêt de la vrille à plat et il a cherché à l'appliquer depuis la place gauche alors qu'habituellement il est assis en place droite. Si sa procédure «ailerons au neutre» avait déjà fonctionné de la place droite, bien que ce ne soit pas la procédure recommandée pour le Cap 10 C (Direction : à fond «contre» - Profondeur : secteur à cabrer – Gauchis-

sement : « pour » dans le manuel de vol), l'analyse de la cinématique de la commande de gauchissement a fait apparaître une autre piste :

BEA:... De plus, la commande de profondeur/gauchissement du Cap 10 a la particularité de ne pas être placée au milieu du siège pilote que ce soit à droite ou à gauche. L'instructeur en place gauche, lorsqu'il a mis la profondeur secteur arrière, a probablement mis du roulis à gauche (figure 2), De ce fait, il a entretenu l'aplatissement de la vrille à droite. Habituellement, lorsqu'il volait en place droite, appliquant la même procédure, le gauchissement se trouvait dans une position «légèrement pour \*\*» venant faciliter la sortie de vrille plate.

Ainsi, sans le savoir, lorsque l'instructeur était en place droite, il pensait avoir les ailerons au neutre mais la particularité des commandes de vol du Cap 10 C donnait un gauchissement légèrement à droite (légèrement «pour», aileron gauche braqué vers le bas), manche au ventre et favorisait la sortie de vrille à droite sans qu'il ne soit conscient de la réelle raison du succès de la manœuvre. Depuis la place gauche (figure 2-1), le légèrement «pour» est malheureusement devenu légèrement «contre» (aileron gauche braqué vers le haut, figure 2-2) et a probablement entretenu la vrille à plat.

# E-Recommandations faisant suite à cet accident

1 - BEA

### Causes de l'accident (extraits) :

L'accident est dù à la perte de contrôle de l'avion par l'équipage lors de l'exécution d'un exercice de vrille aplatie, en raison de l'application erronée de la procédure de sortie de vrille.

Ont contribué à l'accident :

- les changements de stratégie répétés au cours de la tentative d'arrêt de la figure.
- une hauteur de début de figure insuffisante et l'absence d'une hauteur de sécurité définie.
- l'application d'une procédure de sortie de vrille correspondant à un autre type d'avion...

#### Recommandations

#### de sécurité (extraits) :

...L'enquête a mis en évidence que l'exécution de la vrille aplatie (ou plate) n'était pas pratiquée de manière régulière et spontanée par tous les instructeurs voltige qui ont en charge l'application des programmes de formation.

En conséquence, le BEA recommande que :

• La DGAC étudie la mise en place d'un complément de formation périodique des instructeurs voltige pour parfaire et pérenniser la connaissance et l'enseignement de tous les types de vrilles.

L'examen du manuel de vol du Cap 10 (B et C) a montré que la procédure de sortie de vrille positive pouvait être précisée, en particulier en ce qui concerne l'application du gauchissement, le terme «pour» ne donnant pas de notion d'amplitude. En ce qui concerne les vrilles accidentelles, la notion de réduction immédiate de la puissance du moteur n'est pas précisée.

Aussi, le BEA recommande que :

- L'AESA étudie l'obligation de traiter de manière exhaustive dans le manuel de vol du Cap 10 les procédures de sortie de vrille. L'évacuation ordonnée par le commandant de bord a été efficace seulement pour un seul des deux pilotes. Un pilote évacuant un avion non contrôlé pourrait se solder par un contact violent avec l'avion. Le pilote blessé ou inconscient ne pourrait plus assurer l'ouverture manuelle de son parachute.
- L'AESA étudie l'obligation d'équiper les avions de voltige avec une sangle d'ouverture automatique qui permette l'ouverture du parachute quel que soit l'état de conscience du pilote qui a évacué.

La décision d'abandon de bord a été prise tardivement et sans relation avec des éléments permettant une prise de décision réaliste pour en assurer la réussite.

· La DGAC définisse une hauteur

de sécurité liée aux performances des avions et des parachutes pour permettre une évacuation complète d'un aéronef dont l'équipage a perdu le contrôle.

### 2 - Info-Pilote : s'informer à la source

Plus que jamais on découvre combien chaque type d'avion ou même chaque exemplaire peut présenter des particularités qu'il faut connaître avant d'en exploiter toutes les possibilités.

Le manuel de vol donne les procédures adaptées à la sortie de chaque situation inusuelle prévue. Mais une meilleure transmission des informations entre le pilote d'essais du constructeur et les instructeurs, surtout pour des appareils produits en petite série, lèverait le doute quand un pilote n'est pas convaincu par ce qu'il lit.

Nous conseillons, surtout lorsqu'un appareil a été modifié (remplacement de l'aile en bois du Cap 10 B par l'aile en carbone qui le transforme en Cap 10 C) de communiquer avec celui ou ceux qui ont eu la charge des essais notamment pour les vrilles. Vous trouverez alors des interlocuteurs compétents, passionnés et disponibles qui ont eu la mission de déterminer les procédures les mieux adaptées au cours des nombreuses vrilles imposées lors de la campagne d'essais en vol. Les subtilités qui en découlent, et qui ne peuvent être

mentionnées et détaillées dans un manuel de vol, échappent rarement à une séance entre pilotes et à un vol de démonstration.

Il semble que dans le cas analysé cidessus l'instructeur, très expérimenté et consciencieux, qui avait effectué un briefing sérieux avant le décollage, aurait su appliquer la bonne procédure si elle lui avait été montrée et expliquée.

On lit, à propos de la sortie de vrille, dans l'excellent ouvrage Essais en vol du regretté Pierre Bonnaud et de Christian Briand : « ... Le pilote d'essais est seul qualifié pour déterminer la thérapeutique qui figure ensuite dans le manuel de vol et doit être respectée comme l'ordonnance du toubib. Ce n'est qu'en désespoir de cause que l'on se tourne vers les rebouteux. Et ils ne font pas que des miracles! ».

Bien s'informer sera le principal conseil découlant du retour d'expérience lié à cet accident.

Deux mois après cet accident, la FFA a pris l'initiative de réunir à Carcassonne le BEA et le SEFA pour l'analyser et envisager une action de sécurité afin d'éviter qu'il se reproduise. Cette réunion a débouché sur l'organisation d'un stage de deux jours encadré par Claude Bessières (entraîneur et sélectionneur de l'équipe de France de voltige), à destination des instructeurs voltige volontaires. 9 stagiaires l'ont suivi en mars, 11 autres le feront à l'automne. L'objectif étant de permettre aux 130 instructeurs voltige des clubs FFA de suivre ce stage de recyclage.