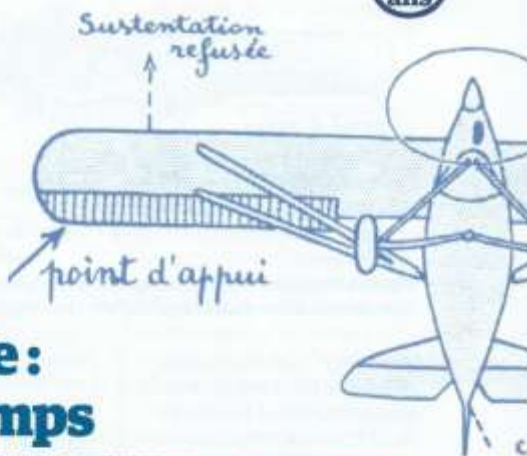




par **MICHEL BARRY**,
pilote professionnel,
ingénieur aéronautique.

90 ANS DE SÉCURITÉ Décrochage et vrille : une lutte de tout temps



OS PLUS RÉCENTS AVIONS D'AÉROCLUBS POSSÈDENT DANS LEUR GRANDE MAJORITÉ UNE ARCHITECTURE EXTERNE ET UNE ARCHITECTURE INTERNE TRÈS VOISINES DE CELLES DE LEURS ANCÊTRES DE 1930. RIEN D'ÉTONNANT QU'UNE FOIS LIVRÉS À LA SEULE ACTION DE L'AIR DANS LEQUEL ILS SE DÉPLACENT ILS Y REPRODUISENT DES COMPORTEMENTS TOUT À FAIT SEMBLABLES. **DES AMÉLIORATIONS CONSTANTES ONT ÉTÉ FAITES ANS LE BUT DE RENDRE LES APPAREILS PLUS SÛRS.** DANS LE DOMAINE DES GRANDES VITESSES, 200 À 300 KM/H, LES CALCULS DE STRUCTURE ET ÉVOLUTION DES MATÉRIAUX RENVOIENT LE BLÉRIOT ET LES POTEZ, ET MÊME LES JOLIS CAUDRON, AUX CALENDES GRECQUES.

En examinant les comportements des appareils modernes, ou même ceux de nos tous derniers fleurons, dans le voisinage des basses vitesses nous constatons que la plupart décrochent et partent en vrille tout comme les anciens. Et les accidents qui s'ensuivent prennent à la fois parmi les plus nombreux et aussi parmi les plus graves de notre « petite » aviation. A noter que la « grande » est tout aussi concernée. Débauches d'études aérodynamiques, de nouveaux concepts : mécanique du vol, d'électrique, d'informatique ne permettent toujours pas d'empêcher tous les coups un appareil de décrocher. Qu'il soit DR400 ou Airbus 330, il est toujours susceptible de subir la loi de la portance symétrique ou asymétrique, et de s'écraser si aucune action experte ne vient tirer de ce mauvais pas avant qu'il ne touche le sol. Quatre-vingt-dix ans de technique d'intérêt face au problème ? Certainement pas. Car si on ne peut éviter les phénomènes de décrochage et de vrille, une fois qu'une trop grande vitesse est involontairement approchée, l'histoire nous montre tous les efforts, toutes les

études, tous les essais entrepris pour que le pilote se tienne en permanence à une distance respectable des situations susceptibles de conduire au décrochage. Et au cas où l'appareil décroche, comment revenir à une incidence correcte, et, le cas échéant, comment arrêter la vrille si elle s'est déclenchée. Sans pouvoir être exhaustif, nous allons examiner quelques tentatives, connues ou moins connues, au cours desquelles les acteurs (ingénieurs, concepteurs, industriels, pilotes...) ont poursuivi quatre buts bien distincts :

- empêcher l'appareil de décrocher ou de se mettre en vrille ;
- trouver une solution pour arrêter le décrochage ou la vrille ;
- prévenir le pilote de l'imminence du décrochage ;
- plus récemment, grâce au parachute global, ramener au sol un appareil en vrille.

A. Décrochage et vrille

Perte de vitesse, décrochage, vrille, autorotation... autant de termes qui ont fait frémir et effrayé les quatre générations de pilotes.

1. Le décrochage : sa forme la plus redoutable survient quand, la vitesse diminuant et afin d'éviter de descendre, le pilote tire le manche dans le but de

maintenir la portance égale au poids de l'avion. Soit en palier à un facteur de charge de 1, soit en virage à un facteur de charge supérieur à 1. Le pilote agit ainsi sur l'augmentation du coefficient de portance C_z de l'aile qui s'accroît quasi linéairement avec l'incidence mais jusqu'à une valeur limite liée à la nature de l'écoulement de l'air sur l'aile. Au-dessus d'une certaine incidence, variable selon le dessin des profils entre 10° et 18° , le coefficient de portance cesse d'augmenter et finit par diminuer plus ou moins brutalement. Le pilote a beau tirer sur le manche, l'aile ne porte plus le poids de l'avion. L'appareil s'enfonce en prenant des attitudes variées qui vont de l'abattée en piqué, au simple parachutage à assiette horizontale. Mais, dans tous les cas, la vitesse de chute est suffisamment élevée pour provoquer un choc dramatique au sol si aucun remède n'est trouvé.

2. La vrille : supposons que pour des raisons liées à une quelconque dissymétrie du vol (attaque oblique, différence de braquage des ailerons à ce moment, turbulence...), le décrochage décrit ci-dessus ne concerne qu'une seule demi-aile. Cette dernière s'enfonce avant l'autre et provoque à la fois un mouvement de roulis et un mouvement de lacet du même

côté. Le roulis est facile à comprendre. Le lacet un peu moins, car il est la conséquence de la différence des traînées entre la demi-aile qui vole encore et celle qui a décroché, donc qui vole à une incidence supérieure, donc traîne davantage. L'arrêt de la vrille, une fois qu'elle est engagée pose toujours des soucis aux concepteurs d'avions. A noter que le même appareil est susceptible d'avoir des vrilles très différentes, selon les paramètres qui ont déclenché la vrille (vrille normale, vrille agitée, vrille à plat, vrille-dos...), ce qui compliquera notablement à la fois le travail du concepteur, mais aussi celui du pilote d'essais chargé « d'aller voir » en vol quels sont les remèdes possibles ou le cas échéant de constater parfois qu'il n'existe pas de remède. Dans ce cas l'avion est soit interdit de poursuivre sa carrière, soit il est « interdit de vrille ».

3. Les remèdes : on cite péle-mêle ceux qui vont faire l'objet de recherches significatives dans l'historique qui suit. Les années 1930 ont été très prolifiques en matière de créativité. Peu de recherches connues sur la vrille pendant la guerre de 1939-45. Ensuite des recherches pour améliorer les qualités de vol à basse vitesse dans les années 1960 et avertir le pilote de l'imminence du

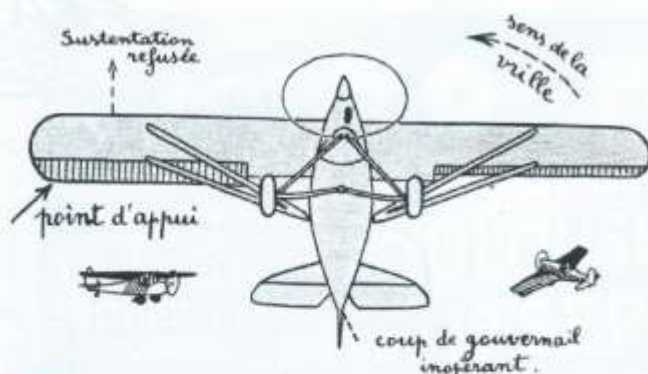


Figure 1. Selon Henri Mignet, le virage de l'avion classique finira tôt ou tard en vrille. (Extrait de l'ouvrage *Le Sport de l'air* - Henri Mignet).

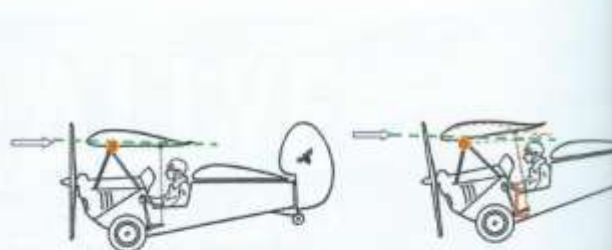


Figure 2. Principe du pilotage pendulaire ou de l'aile vivante. Le pilote manche à lui. L'aile articulée a pivoté par rapport au fuselage. Mais fin alignée dans le lit du vent son incidence aérodynamique a peu varié, assez pour générer l'excédent de portance désiré par le pilote. L'assise fuselage a diminué. Peu de chance d'atteindre l'incidence de décroch (Extrait de l'ouvrage *Le Sport de l'air* - Henri Mignet)

décrochage. Enfin, une sorte de résignation face à la vrille avec le parachute global des Cirrus : rien à faire pour l'empêcher mais on en sortira vivant...

• **Concernant la lutte contre le décrochage :**

Des dispositifs retardant le décrochage par contrôle des écroulements; des dispositifs avertisseurs; l'impossibilité de donner à l'aile une incidence trop élevée; les études en soufflerie; les techniques de pilotage.

• **Concernant la lutte contre la vrille :**

- Le design de l'arrière du fuselage; la répartition des masses et le centrage; la disposition des empennages; des études en soufflerie verticale; les techniques de pilotage; le parachute global qui sauve l'avion en vrille et son équipage.

B. Les parades anti-décrochage

1. Les ailes vivantes

Nombreuses furent les tentatives de pilotage en tangage par rotation de toute l'aile autour d'un point voisin de son centre de poussée. Elles connurent des heures plus ou moins heureuses, dans les années 1930, les accidents des inventeurs ignorant les rudiments de mécanique du vol se multipliant. En privant le pilote de la possibilité de faire

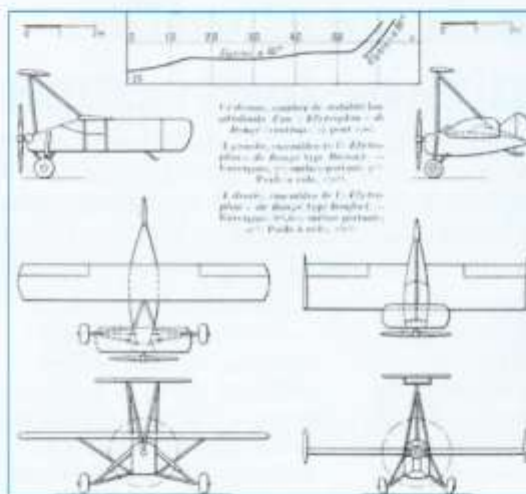


Figure 4. L'élytroplan de Charles de Rougé. La disposition inhabituelle d'une surface stabilisatrice au-dessus et en avant de l'aile produisait une régulation de l'incidence de l'aile susceptible d'empêcher le phénomène de décrochage.



décrocher l'aile, on retirait aussi à l'avion la plus grande partie de sa manœuvrabilité. Et si une situation inattendue survenait, comme un départ en piqué, le pilote était impuissant. La position du centre de gravité prenait toute son importance et agissait à l'encontre du sens attendu. Par exemple centré trop arrière, l'avion partait en piqué sans que l'action du pilote ne permette de produire un retour au vol en palier.

• **Henri Mignet et le Pou-du-ciel (1932).** **Figure 1 et 2.**

Il voyait le décrochage et la vrille de l'avion classique comme

des situations quasi inéluctables, comme des fatalités propres aux appareils de son époque. D'où ses recherches pour empêcher l'aile de décrocher (figure 1).

Il propose une formule différente censée éviter le décrochage (figure 2).

• **Leyat-Jacquemin et l'aile vivante (1934).** **Figure 3.**

S'inspirant des travaux d'Henri Mignet et de Marcel Leyat, Jacquemin propose une aile vivante en deux parties pouvant être manœuvrées indépendamment et assurer ainsi le contrôle en roulis.



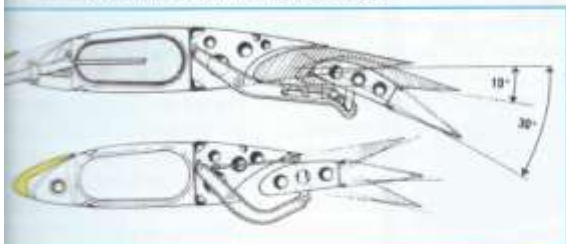
Figure 3. Monoplan Leyat-Jacquemin. On voit la demi-droite nettement braquée à plus important que l'aile gauche.



1. Le Peyret-Taupin conçu et réglé pour ne pas décrocher.



2. Le Potez 36 et ses bords d'attaque. Les bords fixes, en avant de l'attaque de l'aile, permettent de voler à des vitesses minimales de station très basses (50 km/h) ce qui laisse une marge plus importante de vitesse d'approche et la vitesse de décrochage.



3. Le MS 880 (ici un remorqueur MS 893) et ses bords d'attaque ouverts. Les bords coulisent automatiquement sur leurs guides. Les forces de pression les aspirent en avant, en position 1, à basse vitesse, comme sur la photo pendant un remorqué à 100 km/h. À plus haute vitesse elles les repoussent vers la position 2. Ils sont indépendants des bords de fuite, commandés eux par le pilote.

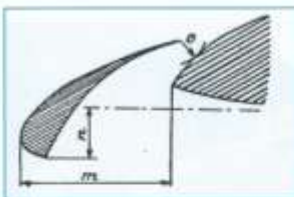


Figure 6. Les différents paramètres régissant le dessin d'un bec de bord d'attaque.

• Charles de Rougé et Pélytroplan (1930-1935).

Figure 4. De Rougé était pilote d'essais chez Caudron. Il conçut un dispositif de contrôle de l'incidence, fondé sur la variation de la traînée d'un aérofrein et ressemblant à des élytres d'insecte. D'où le nom. Mais il remarqua, au cours des vols, le pouvoir stabilisateur en incidence de la surface placée très au-dessus de l'aile. L'aérofrein fut remplacé par un plan profilé (figure 4). Des vols montrèrent que le pilotage même volontairement maladroit ne pouvait conduire au décrochage. Mais l'appareil ne connut pas de suite.

• Le Peyret-Taupin (1938).

Figure 5. Conçu par l'ingénieur Jean Lignel sur une idée de Louis Peyret, le curieux appareil à ailes en tandem vole toujours à La Ferté-Alais, religieusement restauré par la famille Caillou. Jean-Pierre Lafille rapporte l'idée d'un vol paisible et d'une impossibilité de faire décrocher l'appareil. Et quand on connaît JPL, ça en dit long sur les qualités de vol du gros Taupin!

2. Les ailes hypersustentées par des bords d'attaque

• L'aile du Potez 36 (1928).

Figure 7. La plupart des constructeurs, comme Potez, Caudron, restaient dans la formule classique (pilotage en tan-

gage assuré par un empennage horizontal arrière, monobloc ou à gouverne articulée). Les actions pour lutter contre le décrochage et la vrille se résumaient à étendre le domaine d'incidences utiles au-dessus de celles du domaine du profil de base. Dès 1931, les essais en soufflerie de la NACA confirmèrent le bien-fondé du dispositif Handley Page, constructeur d'avions américain (Figure 6). Il consiste en une surface profilée rapportée en avant du profil de l'aile ou découpée dans le profil. Elle accroît le coefficient de portance de l'aile. Le décrochage a toujours lieu mais à une vitesse plus basse et à une incidence plus élevée ce qui s'accommode mieux des fautes de pilotage. A noter que les bords équipent aujourd'hui la majorité des avions de transport et sont déployés lors de l'atterrissage.

• L'aile du Morane-Saulnier MS 880 (1960). Figure 8.

Le MS 880 répondait à un appel d'offre du ministère pour le renouvellement de la flotte déjà vieillissante des aéroclubs. Le constructeur eut l'idée d'installer des bords de bord d'attaque. Ils seront sortis à basse vitesse, et s'escamoteront automatiquement en croisière, afin de réduire la traînée propre à ce dispositif. Grâce à ses qualités de vol à basse vitesse l'avion connut un succès en permettant de former des pilotes qui, pour certains, n'auraient pu être lâchés sur des appareils plus exigeants en matière de contrôle de la symétrie du vol et de la vitesse en finale notamment.

• L'avertisseur de décrochage.

Équipement obligatoire de nos avions légers, il détecte l'incidence au-dessus de laquelle



Figure 9. Exemple de vrillage accentué de l'aile sur le Robin DR400.



Figure 10. Avro G (1912), premier avion officiellement sorti de vrille sur une action de son pilote. On remarque une forme du fuselage relativement pure qui le rapproche de nos appareils modernes. Elle explique peut-être pourquoi, tout comme sur un CAP 10 l'action « pied opposé à la vrille » a été efficace pour en sortir.

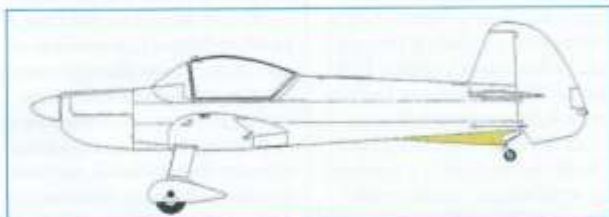


Figure 12. Une quille anti-vrille est parfois nécessaire quand les appareils sont trop réticents à sortir de vrille. Parfois une petite surface au-dessous du fuselage est suffisante (CAP10). Mais parfois aussi la quille est imposante, comme sur le Robin R2160. Difficile à savoir avant les essais en vol.



Figure 13. Le merveilleux Fournier RF9 ne sortait pas de vrille avec ses empennages cruciformes classique. Avec un empennage en T, il devint RF10 et il sortait parfaitement de vrille.

l'aile risque de décrocher. Il se manifeste par un signal sonore et/ou lumineux.

• **Le vrillage de l'aile.**

Il retarde le décrochage vers les ailerons et leur permet, après les premiers signes de décrochage du centre de l'aile, de conserver encore un peu le contrôle en roulis. Appliqué sur beaucoup d'avions légers, il est très accentué sur la famille Jodel et DR400. (Voir figure 9.)

C. Les parades anti-vrille

La préhistoire : Wilfred Parke. Un récit rapporte qu'en 1912, Wilfred Parke, un pilote de chasse anglais à bord d'un biplan Avro G (figure 10), s'est mis malencontreusement en vrille au cours d'un virage. Après avoir probablement tout essayé et peut-être dans le but de retenir le poids de son corps centrifugé d'un côté de la cabine, il aurait appuyé sur



Figure 11. Samare d'érable. Une masse excentrée associée à une aile s'engage immédiatement en vrille dès qu'elle quitte son arbre. Après un décrochage dissymétrique la plupart des avions classiques subissent la même loi (voir lien sur notre site).

le palonnier opposé au sens de la vrille. Cette dernière se serait arrêtée.

Dans les années 1930, la vrille était le cauchemar des pilotes. D'abord on n'en connaissait pas bien le mécanisme et chacun préconisait à la fois des solutions pour l'éviter, mais aussi des actions pour en sortir. Ensuite les appareils faiblement motorisés, à l'aile dotée de profils obligeant souvent à voler à une incidence proche de celle du décrochage pour trouver un peu de portance, ne facilitaient pas la tâche du jeune pilote. Les ailes vivantes décrites ci-dessus apportèrent une solution parce qu'elles ne décrochaient pas. Pas de décrochage, pas de vrille. Mais elles introduisirent d'autres problèmes qui condamnèrent définitivement leurs travaux et la sueur des pionniers...

• **La vrille dans l'art du pilotage. Apprendre aux élèves comment l'éviter et comment en sortir ? Figure 8**

La technique de sortie de vrille a fait l'objet de tentatives d'uniformisation. Malheureusement la spécificité de chaque appareil ne permet pas l'application d'une technique universelle. Des avions très semblables en architecture et en caractéristiques sortent de vrille grâce à des actions très différentes, voire parfois opposées. Les pilotes d'essais sont chargés au cours des vols de certification

de définir, à la fois la plage de centrage, qui permet de sortir de vrille, et comment procéder pour l'arrêter. En général, ils recommandent de bloquer chacune des gouvernes des 3 axes dans une certaine position déterminée et d'attendre que la vrille s'arrête. Par exemple : ailerons au neutre, manche secteur avant, pied opposé à la vrille. Si l'appareil est certifié et autorisé « vrille » la technique fonctionnera. Mais attention tous les appareils ne sont pas autorisés ! Pour des raisons multiples, même si le constructeur a dû démontrer que l'appareil sortait de vrille, rien ne l'oblige en catégorie N ou U à autoriser les pilotes à s'entraîner à la vrille. Cependant, même si la manoeuvre est interdite en école, elle doit être connue du pilote au cas où il entrerait accidentellement en vrille. Apprendre ou non la vrille aux élèves pilotes ? Une décision qui a toujours divisé les chapelles d'instructeurs... En France, on recommande plutôt de bien savoir détecter les prémices du décrochage et d'appliquer les actions de retour au vol normal. Les vrilles sont réservées aux voltigeurs !

Pourtant, dans la voltige moderne, la vrille stabilisée n'est plus une star. Avec une aile décrochée, le pilote subit davantage la trajectoire qu'il ne la contrôle, et il n'a pas la possibilité d'y exprimer son talent. Certaines figures lui ressemblent pourtant mais les vrilles sont rarement stabilisées. Elles sont entièrement pilotées et l'aile décroche à peine quelques secondes, comme au cours d'un déclenché par exemple. Le rythme effréné de la voltige de compétition laisse peu de place à la figure spectaculaire des acrobates des années 1930 qui empilaient les tours de vrille, la « feuille morte », pour faire frémir les spectateurs.

• **Les souffleries verticales**

Elles sont censées apporter leur pierre à l'édifice de la lutte anti-vrille. Malheureusement, elles reproduisent imparfaite-

ment l'ensemble des paramètres rencontrés en vol !

• **Un dispositif aidant à arrêter la vrille : la quille anti-vrille**

Lorsque la vrille est déclenchée et se stabilise il faut pouvoir l'arrêter. Le salut ne viendra pas de l'aile qui se complait naturellement en « auto-rotation », comme un deuxième point de fonctionnement au même titre que le vol symétrique. La perte de hauteur produit une énergie qui entretient ou même active la vrille. Telles les graines du tilleul ou de l'érable – samares – qui tournoient en chutant dans l'air (figure 11 + vidéo), l'avion subit le mouvement stabilisé de rotation. Un avant mais mortel dosage des forces aérodynamiques, des forces d'inertie et de la gravité. Si la vrille n'est pas stoppée, la vitesse verticale atteinte, même sur avion léger, produit un impact violent avec le sol.

La seule possibilité pour ralentir puis stopper la rotation

est d'appliquer au corps tournoyant un moment antagoniste ou même simplement d'essayer de freiner le mouvement grâce à une surface aérodynamique, comme la dérive, qui se trouve quasi perpendiculaire au vent de la rotation pendant la vrille. D'où l'importance des surfaces verticales arrière et de leur alimentation. L'empennage horizontal ne doit pas empêcher les surfaces verticales de recevoir le souffle salvateur qui leur donne toute leur efficacité pendant la vrille. Parfois il est nécessaire d'augmenter la surface verticale en ajoutant une « quille anti-vrille » (figure 12).

La position relative des empennages, empennage horizontal ou empennage vertical (dérive), est un critère important pour les aptitudes à la sortie de vrille. Des concepteurs ont dû revoir leur copie en modifiant la position de l'empennage horizontal (fig. 13).

• **Le parachute :**
soit individuel, soit global,

soit anti-vrille de queue

- Tout pilote de voltige utilise un parachute individuel. Il doit être utilisé quand le pilote juge qu'il n'arrêtera pas la vrille.

- Le parachute global des Cirrus SR20 et SR22 est la parade à la vrille, unique remède choisi par le constructeur. Il a montré maintes fois son efficacité (fig. 14).

- Le parachute de queue : utilisé lors des essais en vol, il produit un frein efficace à la rotation qui stoppe quasi instantanément. Il faut ensuite le larguer. Son emploi est réservé aux prototypes au cours des essais en vol.

• **Les tuyères anti-vrille**

Elles produisent une poussée sur la queue de l'avion. Selon la nature de l'essai, on oriente la poussée vers le haut (cas d'un risque de vrille à plat) ou pour contrer une vrille à gauche (vers le haut et vers la gauche) ou une vrille à droite (vers le haut et vers la droite). La tuyère peut être



Figure 14. La solution Cirrus. Coûteuse mais efficace !

alimentée soit par une petite fusée, soit par un réservoir d'air comprimé. Dispositif mis au point et essayé par Jean-Marie Klinka lors des essais en vol du Fournier RF47. ●