Exemples BEA
Nouveau ! Retrouvez désormais tous les liens des exemples des rapports du BEA de cet article sur le site www.info-pilote.fr, rubrique sécurité.

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

TRIM
indispensable mais redoutable

Les histoires de la grande et aussi celles de la petite aviation sont émaillées d'incidents et d'accidents dus aux dysfonctionnements des dispositifs de compensation (trims), notamment de celui de la profondeur.

En 1954, le pilote d'essai Rozanoff se tuait sur le prototype du Mystère IV à cause d'un probable déroulement du trim de profondeur. Au cours du temps, l'aviation générale, surtout dans les forts tonnages, a connu des accidents graves consécutifs aux diverses pannes ou ruptures du trim de profondeur (voir les liens). Notre petite aviation n'échappe pas aux dangers du départ du trim vers une de ses butées, à cabrer ou à piquer, dès lors que les systèmes sont mus par un moteur électrique. En mai 2016, le déroulement d'un trim lié au pilote automatique d'un Cessna 172 a provoqué une perte de contrôle avec trois blessés et un avion détruit. Le rapport du BEA montre à quel point la connaissance du matériel par le pilote est un gage de sécurité.

La diversité des incidents imputables au trim nous incite à rappeler son utilité, voire sa nécessité.

Et, en ce qui concerne le trim électrique, l'épée de Damoclès qu'il représente en cas de panne ou lors des dysfonctionnements les plus fréquents (blocage ou déroulement intempestif). Des exemples d'accidents venus de l'aviation de transport étayent nos propos relatifs aux avions légers. Les dispositifs technologiques sont très analogues et des erreurs survenues malgré le professionnalisme des compagnies aériennes (services de maintenance, contrôles, pilotes) montrent combien notre aviation de loisir doit être vigilante.

A. Nécessité de la compensation de la profondeur

La gouverne de profondeur manœuvrable sans effort dans tout le domaine de vol est une utopie ! Trois raisons liées à la sécurité du vol l'expliquent :

1. Stabilité longitudinale liée au centrage : équilibre lié à la vitesse

Un avion de formule classique maintient le palier s'il est en équilibre (équilibre des forces et équilibre des moments de tangage) sous l'action de trois forces principales :

- la portance de son aile ;
- la portance de son empennage ;
- son poids.

De plus, il est indispensable que l'équilibre soit de nature STABLE. Autrement des actions correctives permanentes seraient nécessaires.

Comme le montre la **figure 1**, le moment résultant des deux forces (portance aile et poids de l'avion supposé sans empennage) varie avec la vitesse et l'incidence. A chaque vitesse, afin d'obtenir un moment de tangage total nul (équilibre longitudinal), il faut équilibrer en appliquant un moment à cabrer (portance « dirigée vers le bas » de l'empennage horizontal). La gouverne de profondeur permet d'ajuster cette portance. Si la vitesse diminue, il faut appliquer un moment correcteur à cabrer plus important ; si la vitesse augmente, il faut encore appliquer un moment à cabrer mais moins important. D'ailleurs, le principe même de la régulation résout la question : manche à cabrer l'avion ralentit, manche à piquer l'avion accélère. La **figure 1** montre que les actions de correction sont d'autant plus importantes que l'avion est centré plus avant. Si l'avion était centré à son « point-neutre » ou « foyer-avion », la même position de la gouverne de profondeur équilibrerait les trois forces et les trois moments de tangage dans tout le domaine de vol (vitesse ou incidence). Mais cette condition est à exclure car elle décrit un équilibre indifférent : pas de stabilité longitudinale naturelle.

2. Moment de charnière de la gouverne de profondeur

La gouverne nécessite donc en général d'être maintenue hors de sa position d'équilibre aérodynamique par une force permanente de la part du pilote. Afin de le soulager les concepteurs ont conçu un dispositif de compensation qui permet à la gouverne de profondeur de rester sans effort au braquage désiré. Technologiquement, on ajoute un moment autour de sa charnière :

- soit mécanique (ressort) ;
- soit aérodynamique (volet de trim) ;
- soit en modifiant le calage du plan fixe. Solution choisie sur le Piper PA 18 **(figure 2)** et sur la plupart des avions de transport.

Si le dispositif de correction (trim) est indispensable au maintien du vol dans la configuration choisie, il présente en revanche le danger potentiel de pouvoir introduire intempestivement un effort permanent en cas de dysfonctionnement ou de blocage. Le montage d'automates, comme le pilote automatique ou les trims électriques asservis, peut générer de tels ennuis. La certification des avions (CS-VLA, CS 23, FAR-23...) encadre la dangerosité de ces dispositifs, en limitant entre autres l'effort permanent à appliquer en cas de défaillance. Cependant, il reste quatre éventualités à redouter, en cas de déroulement intempestif, notamment près du sol :

- l'effet de surprise dans une phase délicate du vol notamment près du sol (voir exemple BEA) ;
- le dépassement du facteur de charge ;
- l'obligation de la part du pilote de s'opposer pendant tout le reste du vol à l'effort intempestif, avec le risque de s'épuiser physiquement au cours du temps, même pour des efforts instantanés modérés comme plusieurs kilogrammes-force ;
- une difficulté à bien doser le pilotage avec une gouverne qui ne demande qu'à partir en butée.

3. L'obligation « d'efforts par g »

Nous avons abordé l'idée d'une gouverne qui serait manœuvrée sans effort. Dans le paragraphe 1,

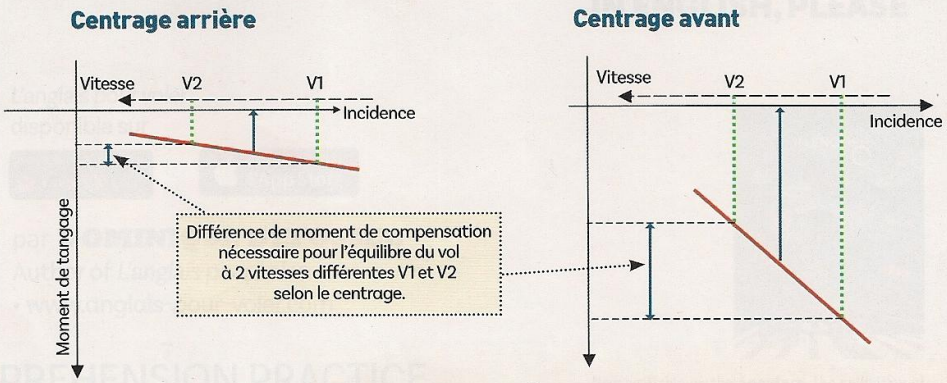

Figure 1. Moment de tangage de l'avion supposé sans empennage

- Le rôle de l'empennage horizontal est de générer un moment de tangage à cabrer positif (grosse flèche bleue) afin de lutter contre la tendance piqueuse du reste de l'avion (droite rouge) et ainsi équilibrer le vol. Tendance d'autant plus forte que l'avion est centré plus avant. D'où le braquage plus ou moins important de la gouverne de profondeur
- Le rôle du compensateur (trim) est de maintenir la gouverne de profondeur au braquage désiré sans que le pilote n'ait besoin d'exercer un effort permanent. Son action est proportionnelle au braquage de la gouverne.
- Par conséquent toute action intempestive du trim, non désirée par le pilote, produirait des efforts d'autant plus importants que la position du trim serait éloignée de la position requise pour le braquage idéal de la gouverne de profondeur

nous avons vu qu'un centrage arrière, au voisinage du foyer-avion, satisferait cette condition car tout le domaine de vitesse serait possible avec la même position de la gouverne de profondeur.

Une autre solution (aucun effort au manche) serait envisageable en choisissant un axe de la gouverne de profondeur autour duquel elle pourrait être braquée sans effort (moment de charnière nul dans tout son débattement).

Mais ces deux cas de figure doivent être exclus de la conception d'un avion léger standard. En effet, le pilote ne ressentirait aucun effort lors du braquage de la profondeur et le pilotage deviendrait impossible. De plus des braquages trop importants pourraient provoquer involontairement des facteurs de charges instantanés, préjudiciables au confort mais aussi dangereux.

Pour cette raison les constructeurs sont obligés de démontrer une relation quantifiée (« efforts par g ») et telle qu'il faut appliquer sur le manche un effort sensiblement proportionnel à l'accroissement du facteur de charge.

Voir CS-VLA 155 « Efforts sur la commande de profondeur pendant les manœuvres ».

Les efforts sur la commande de profondeur pendant les virages ou lors de la récupération après les manœuvres doivent être tels qu'une augmentation des efforts sur la commande soit nécessaire pour provoquer une augmentation du facteur de charge. On doit montrer par des mesures en vol que l'effort au manche par «g» est tel que l'effort au manche pour réaliser le facteur positif de charge de manœuvre limite n'est pas inférieur à 7 daN dans la configuration lisse.

A noter que les avions de voltige échappent aux règles de restitution d'efforts ce qui explique pourquoi leur pilotage exige une formation et un entraînement adaptés.

B. Les dysfonctionnements du trim les plus fréquents et les plus problématiques

1. Le blocage du trim

Que le dispositif soit commandé mécaniquement (câbles, bielles) ou électriquement, un blocage à une valeur fixe de la compensation est toujours envisageable. Dans ce cas, elle restera à un niveau où on l'a volontairement réglée. Selon l'intensité de la force musculaire à appliquer pour maintenir la vitesse désirée, on décidera si le vol peut se poursuivre ou non. On réduira le plus possible la durée des phases à des vitesses qui nécessiteraient un effort permanent prohibitif. Notamment en approche et en finale, en supposant qu'il faille tenir le manche à cabrer, on réduira le temps de vol effectué à la vitesse d'approche et on n'hésitera pas à prévenir le contrôle d'une réelle urgence. Le contrôleur comprendra la situation et organisera les arrivées afin de vous permettre de choisir votre vitesse, sans vous préoccuper des éventuels espacements avec les autres avions. A deux pilotes à bord, on distribuera les tâches en chargeant l'un d'eux d'appliquer l'effort de compensation tout en étant suffisamment transparent pour que le pilote en fonction ne soit pas entravé dans ses actions de pilotage. Un exercice à pratiquer à titre d'entraînement et qui révèle toutes les difficultés associées à une panne de trim.

2. Le déroulement intempestif du trim vers des valeurs extrêmes

Les causes technologiques susceptibles de provoquer un tel incident sont multiples :

- défaillance des composants de commande mécanique ou électrique (Interrupteurs, court-circuit...). Voir accident d'un CRJ 700 ; (voir lien #1 sur notre site)
- défaillance des potentiomètres de position dans le cas d'un trim avec asservissement de position ;
- défaillance ou mauvaise utilisation du pilote automatique ;
- action involontaire du pilote sur les interrupteurs. Voir accident BAe 146 (voir lien #2 sur notre site)

3. Comment sont protégés les avions certifiés, jusqu'à quel niveau d'effort ?

La logique du législateur pour rédiger la protection est la suivante : Exemple de la CS-VLA (pour les autres bases de certification (JAR 23, CS 23) la logique est identique).

a Il faut d'abord définir une plage de vitesse en palier, en centrage le plus défavorable (maxi avant), pour laquelle l'avion requiert un besoin de compensation totale. A ce titre, la CS-VLA 161 (b) « Compensation longitudinale » précise la plage :

- entre 1,4 VS1 et VC, la vitesse de croisière
- au-dessus de 1,3 VS1, avec la puissance de ralenti, le train d'atterrissage déployé et les volets d'aile en position atterrissage

b pour les réglages de trim qui satisfont la condition « a » la CS-VLA 145 (b) (1) « Contrôle longitudinal » précise : « Il doit être possible de faire décoller, monter, descendre et atterrir l'avion dans les configurations exigées sans effet défavorable et avec des efforts de commande acceptables ». Soit en se référant à CS-VLA 143 (c) « Généralités » un effort maxi instantané de 20 daN à la profondeur et 2 daN en continu.

En clair, les constructeurs doivent démontrer un trim efficace afin d'équilibrer l'avion en centrage avant, à toutes les vitesses usuelles et pour toutes les configurations. Mais pas plus qu'il n'en faut pour que le pilote conserve le contrôle, même en cas de défaillance dans la plage usuelle.

4. Exemple de dysfonctionnement grave du trim de profondeur sur un avion léger

a Accident d'un Cessna 172. Exemple BEA
(voir lien #3 sur notre site)
Voir commentaire du chef pilote de l'AC de Montpellier, M. Pascal Ridao, en particulier ses recommandations liées à l'utilisation du trim de profondeur couplé au pilote automatique ;
(voir lien #4 sur notre site)

b Accident d'un Glastar
(voir lien #5 sur notre site)
Deux morts sur un appareil en kit, probablement à cause d'un déroulement de trim vers le plein piqué, effort impossible à surpasser par le pilote.

C. Recommandations liées à l'utilisation du trim électrique et du pilote automatique

1. Aux pilotes d'appareils certifiés

Le trim de votre appareil répond aux exigences de sa certification. Il faut connaître son utilisation (manuel de vol, procédures normales et procédures d'urgence) pour faire face à toutes les situations.
L'étude au sol du dispositif, parfois bien compliqué, fera gagner de précieuses secondes en cas d'urgence. Voir REX du mois (REC info n° 4/2008 §4)
https://www.bea.aero/fileadmin/documents/recinfo/pdf/recinfo.2008.04.pdf
Posez-vous les questions suivantes et répondez-y :
• Comment vérifier que l'indication en cabine de position du trim (par exemple au neutre) est cohérente avec la réalité (volet de trim à zéro, ressorts au point milieu, plan fixe réglable au neutre, temps de déplacement à cabrer et à piquer identiques...).
• Où se trouve le breaker de trim ? Comment couper l'alimentation du trim de profondeur ? **(Figure 3.)**
• Comment tester le pilote automatique au sol ? Procédure complète ?
• Comment désengager le pilote automatique en secours ou en urgence ?
• Quand suis-je autorisé à utiliser le pilote automatique ? Montée, descente, croisière exclusivement... ?
Surtout ne pas tenter de remettre en route un trim électrique qui a donné un signe de défaillance. Le «mieux » recherché pourrait devenir le « pire ».

2. Aux concepteurs et aux pilotes d'appareils de construction amateur

• Pas de trim électrique surpuissant. Ce serait dangereux ! Optez plutôt pour du matériel qui produira un déplacement lent, incapable de dépasser ses butées mécaniques.
• Installez un breaker très accessible depuis votre siège.
• Renoncez à un dispositif électrique d'asservissement de position. La panne d'un potentiomètre produirait un déroulement du trim vers une butée. Installez plutôt un système en boucle ouverte. Le moteur fonctionne seulement si vous lui en donnez l'ordre par un interrupteur.
• Vérifiez en permanence la cohérence du répétiteur de position, qu'il soit électrique ou mécanique.

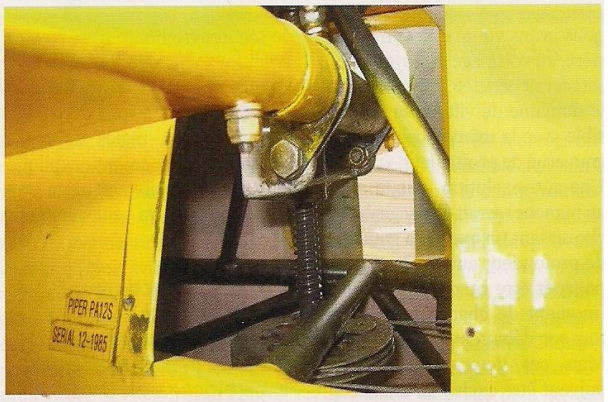

Figure 2. Ajustage du calage du plan fixe par vis sans fin du PA 18
Le bord d'attaque du plan fixe monte ou descend sous l'action de la vis sans fin, dont la rotation manuelle est commandée depuis la cabine par des câbles et des poulies. Pas de déroulement intempestif à redouter !
En revanche, l'endommagement de la vis pourrait provoquer un accident grave, du Piper Pa 18 au MD-83. Voir lien :
https://en.wikipedia.org/wiki/Alaska_Airlines_Flight_261

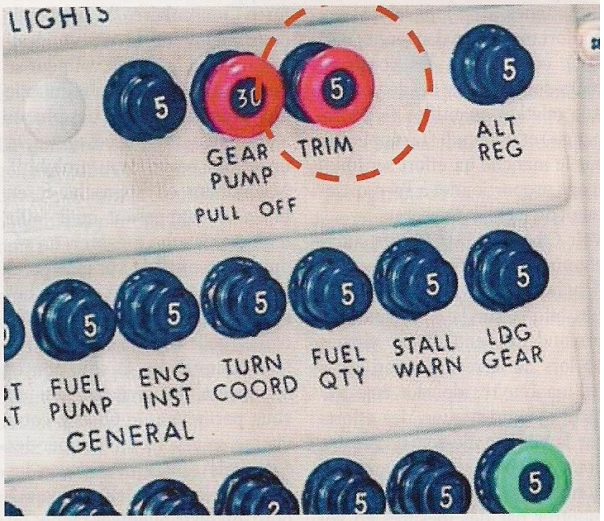

Figure 3.
Sur le tableau des disjoncteurs, il est rassurant de pouvoir localiser rapidement le breaker du trim afin par exemple d'écourter au plus tôt une séquence intempestive de déroulement de trim.