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

Mieux connaître l'anémomètre
Vitesse, enfoncement, décrochage...

DEPUIS 2017, ON A DÉNOMBRÉ DE NOUVEAUX ACCIDENTS LIÉS AU DÉCROCHAGE : VITESSE INSUFFISANTE, INCOMPRÉHENSION DE L'ANÉMOMÈTRE, VOL MAL STABILISÉ PRÈS DU SOL...

Exceptionnellement, au vu de la gravité de certains événements (plusieurs morts à déplorer), nous n'attendrons pas le rapport d'enquête clôturée du BEA, document qui nous permet habituellement de détailler les causes précises des accidents. Mais nous exploiterons à chaud les « événements notifiés », au stade où le BEA les diffuse sur son site, et bien avant que ne soit terminée l'enquête. Elle demande en effet souvent plusieurs années avant d'être clôturée. Malgré le manque de détails, nous considérons que les informations sont suffisamment explicites pour rédiger des mises en garde simples destinées à éviter, après avoir lu les lignes qui suivent, de nouveaux drames en 2019.

Dans les six accidents récents évoqués ci-dessous, la vitesse semble concernée. L'occasion nous est donnée de détailler une particularité des anémomètres qui, mal connue, peut conduire à une interprétation erronée de la vitesse instantanée de l'avion : leur temps de réponse.

A. Six accidents, dont cinq en 2018

Cas n°1. Anémomètre en retard, impression de perte de puissance, le pilote interrompt le décollage. (lien #1 sur notre site)

Un accident est souvent la conjonction de plusieurs causes dont les effets peuvent se cumuler. Un moteur qui peine à prendre ses tours pendant le roulement au décollage, un anémomètre qui s'active moins vite que d'habitude, il n'en faut pas plus pour conduire le pilote à douter des paramètres, interrompre tardivement le décollage et à sortir de piste. Cet exemple montre tout l'intérêt à porter à l'anémomètre. Ce dernier probablement déréglé a joué un rôle capital dans la décision d'interrompre un décollage alors que la vitesse probablement très supérieure à la vitesse indiquée aurait permis de le poursuivre. Dans ce cas, notre recommandation portera principalement sur l'attention nécessaire en permanence à la crédibilité de l'anémomètre. Car, compte tenu des défauts observés lors de son passage au banc, celui impliqué dans l'accident devait probablement donner des indications aberrantes depuis un certain temps. Un simple compte rendu sur des dysfonctionnements préalables aurait probablement permis au chargé de maintenance de trouver le défaut de réglage constaté après l'accident.

ACCIDENT	DATE	AVION	CIRCONSTANCES	DÉGÂTS
1	22/08/2017	PA 28	Probable dysfonctionnement de l'anémomètre	Avion fortement endommagé
2	08/04/2018	Yak 18	Figure de voltige, débutée sans hauteur ou sans vitesse suffisante	2 morts
3	07/07/2018	WT9	Perte d'altitude en finale	Avion fortement endommagé
4	09/07/2018	PA28	L'avion s'enfonce en finale	Avion endommagé
5	28/07/2018	DR400	Décrochage en virage après une panne moteur au décollage	2 morts, 2 blessés
6	06/10/2018	DR253	Décrochage en finale	Avion endommagé

Cas n°2. Une figure de voltige trop basse compte tenu de la vitesse (lien #2 sur notre site)

La combinaison des deux paramètres (vitesse et hauteur) trop faibles semble évidente dans cet accident qui ressemble à de nombreuses autres improvisations dans des circonstances voisines. Quelle qu'en soit son origine, il nous permet de rappeler, sous un aspect purement technique et sans toutefois préjuger des causes, le BEA n'ayant pas encore publié le rapport d'enquête :

- qu'une vitesse minimale doit être respectée pour exécuter chaque figure sans perdre d'altitude ;
- que par précaution une hauteur minimale doit également être respectée ;
- qu'une régression de la vitesse due à une prise d'altitude, comme lors d'une ressource sous facteur de charge, peut être indiquée avec retard par certains anémomètres « trop filtrés » voir explication technique ci-dessous. **Figure 1 et figure 2.**

Cas n°3. Perte d'altitude en finale (lien #3 sur notre site)

Une perte d'altitude en finale qui se termine par un contact brutal avec le sol peut être la conséquence d'une vitesse insuffisante qui ne permet plus de maintenir un vario correct sans risquer de décrocher. Des turbulences peuvent être une explication. Mais si la vitesse est maintenue autour de 1,3 VS0, le pilote dispose encore d'un potentiel de correction qui lui permet par un pilotage instinctif de combattre l'enfoncement. En revanche à trop basse vitesse, on peut se retrouver au second régime et la puissance qui était réglée pour maintenir le vario d'approche va s'avérer très vite insuffisante au-dessous de la vitesse de séparation des régimes. On peut même décrocher dans un enfoncement progressif qui conduit à une perte d'altitude incontrôlable, semblable à celle décrite par le pilote en effet de sol. Voir *IP* n°681 de décembre 2012 « L'enfoncement à basse hauteur ».

Cas n°4. L'avion s'enfonce en finale (lien #4 sur notre site)

Analyse a priori identique à celle du cas précédent n°3.

Cas n°5. Décrochage en virage après une panne-moteur au décollage (lien #5 sur notre site)

Nous avons, à maintes reprises, diffusé des recommandations, en particulier celle consistant à éviter de virer ou de faire demi-tour en cas de panne-moteur après le décollage.

Dans ce numéro consacré plus spécifiquement au décrochage, nous invitons nos lecteurs à comprendre pourquoi la vitesse indiquée (celle lue sur l'anémomètre) peut être en retard par rapport à la vitesse réelle en cas

de manœuvre brutale, comme c'est probablement le cas lors de la tentative désespérée et dangereuse de mise en virage. Sans compter bien entendu l'augmentation de VS due à l'accroissement du facteur de charge lié à l'inclinaison.

Cas n°6. Décrochage en finale

(lien #6 sur notre site)

L'enquête en cours fait état d'un décrochage en finale. Le vent de 20 à 30 kt est propice aux rafales qui provoquent à la fois des variations du facteur de charge et aussi des fluctuations de la vitesse propre de l'avion. Quand la réponse de l'anémomètre est assez vive, on perçoit bien la variation de vitesse, mais, sans excédent de précaution, on peut avoir du mal à rester au-dessus de VS0. Avec un anémomètre plus paresseux, davantage filtré, la fluctuation de vitesse indiquée est moins violente et le maintien de la vitesse semble plus facile. Mais le retard introduit par le dispositif de filtrage peut conduire le pilote à réagir trop tard face à une régression trop importante qui serait lue avec une ou deux secondes de retard. L'avertisseur de décrochage ne manquera pas de retentir car l'incidence aura augmenté.

B. Une meilleure connaissance de l'anémomètre : vitesse et décrochage

1 Principe de mesure : la pression dynamique. Pd = Pt – Ps. Figure 1

La différence de pression entre la pression totale Pt et la pression statique Ps de l'écoulement autour de l'avion représente la pression dynamique qui est un des éléments de la portance de l'aile. Au-dessous d'une certaine valeur, la portance ne peut plus équilibrer le poids de l'avion. On dit que l'aile décroche. D'où l'absolue consigne de ne pas passer au-dessous de cette valeur près du sol et de garder un pourcentage de vitesse en sécurité (1,3 VS0 en approche par exemple).

2 L'anémomètre indique la pression dynamique instantanée

Même s'il est gradué en vitesse (vitesse indiquée Vi), il est en réalité un indicateur de pression dynamique Pd instantanée. D'où son obligation d'indiquer la vitesse (ou la pression dynamique) avec le maximum de précision, mais aussi avec le moins de retard possible.
Or son principe même de fonctionnement, qu'il soit mécanique (capsule déformable) ou électronique (capteur de pression analogique), impose du retard. En effet après une variation brutale de la vitesse, il n'affiche la nouvelle vitesse qu'avec un temps de réponse qui peut nuire à la qualité du pilotage. Figure 2.

3 Au moins deux raisons peuvent expliquer le retard de l'anémomètre

• Sur la figure 1 on comprend pourquoi l'aiguille met un certain temps avant de se déplacer. En effet il faut transvaser un petit volume (en bleu clair) d'air dans la capsule avant que sa déformation n'atteigne sa valeur d'équilibre. On réduit au maximum ce retard avec des volumes de déformation de capsule les plus petits possible.
• Avec une capsule idéale (très peu de déformation), on pourrait imaginer une réponse plus précoce. Est-ce bien utile ? En effet l'avion ne rencontre jamais une atmosphère en parfait équilibre. La pression totale relevée par le Pitot et la pression statique relevée par la prise de pression statique (à côté du Pitot ou sur les flancs du fuselage) subissent des fluctuations, notamment en atmosphère agitée. Leur différence Pd = Pt – Ps est encore plus perturbée, car il n'existe aucune raison pour que leurs variations soient corrélées. Par exemple la pression totale peut subir une brève augmentation de pression alors que la pression statique subit une brève diminution. Sans dispositif de filtrage, il serait impossible d'avoir une indication de vitesse stable sur l'anémomètre, la fluctuation serait permanente et l'information illisible.

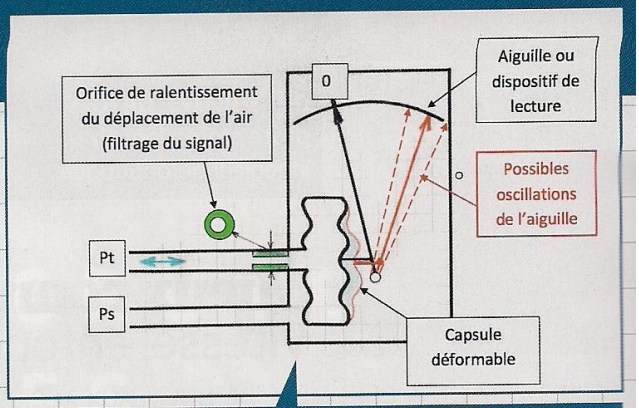

Figure 1. Schéma du fonctionnement de l'anémomètre soumis à des fluctuations de pression
Les fluctuations de la différence de pression dynamique Pd = Pt-Ps sont transmises dans la capsule déformable de l'anémomètre qui actionne le dispositif d'affichage ou de lecture de la vitesse. Selon la perte de charge des tuyaux et l'inertie mécanique les déformations de la capsule sont plus ou moins rapides et l'indication plus ou moins fluctuante.
Si l'on diminue le calibre de l'orifice en vert (orifice destiné à filtrer les fluctuations du signal de pression), l'aiguille, représentée en rouge dans la zone de fonctionnement, oscille moins, donc la lecture fluctue moins.

C. Recommandations consécutives à l'imperfection, normale ou accidentelle de l'anémomètre

1 D'un appareil à l'autre vous pouvez constater des différences de comportement de l'anémomètre : très bien amorti, voire « paresseux » très stable, ou au contraire très fébrile, instable, difficile à lire. Sur les avions certifiés l'option a été approuvée par le constructeur et les services de certification. Vous devez donc vous y accoutumer. Elle fait partie de l'apprentissage de la machine. Sur les appareils de construction-amateur le constructeur a souvent associé les composants tels qu'ils se présentaient et pour une même installation le comportement peut s'avérer très différent d'un appareil à l'autre. Parfois la capture de la pression statique a lieu dans une zone où l'écoulement est turbulent alors que sur un autre d'appareil du même type la même zone serait plus calme. Même remarque d'un tube de Pitot à l'autre. La forme de l'avant, l'état de surface, le diamètre peuvent provoquer plus ou moins de fluctuations de la pression totale.

2 Les instruments nouvelle-génération (Dynon par exemple) qui convertissent les deux pressions via des capteurs électroniques (pas de déformation de capsule) ont des temps de réponse intrinsèques très courts. Mal filtrés, ils peuvent donner des indications de vitesses très fluctuantes. Leur implantation doit être supervisée par des spécialistes (filtrage par orifice calibré, filtrage électronique, numérique...).

3 Les indications erronées de la vitesse, notamment celles par excès dues à un retard de l'anémomètre à l'affichage de la vitesse, peuvent conduire à estimer instantanément une vitesse bien plus élevée que la réalité. Quand on s'en aperçoit, il peut être trop tard pour réagir, surtout à basse hauteur.

4 Une approche par temps calme ou par temps agité doit être stabilisée : paramètres les plus stables possible, notamment la vitesse. C'est la manière la plus simple d'avoir la vitesse indiquée la plus proche de la vitesse réelle. L'écart dangereux de vitesse de la figure 2 est d'autant plus faible que la vitesse VP fluctue peu.

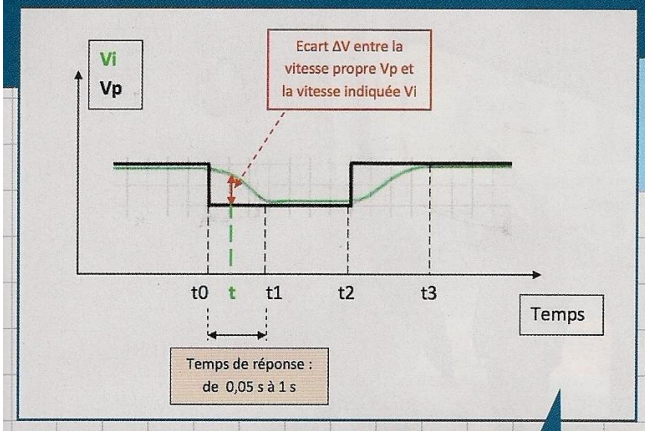

Figure 2. Réponse schématique de la vitesse Vi (courbe en vert) d'un anémomètre standard soumis à une brutale variation de la vitesse propre Vp (créneau en noir). Cas du cisaillement de vent ou windshear
• avant t0, Vi et Vp sont identiques ;
• à t = t0, la vitesse Vp chute brutalement. Vi ne varie pas instantanément
• à t = t, Vi est nettement en retard et présente un écart ΔV. Vi est dangereusement indiquée supérieure à Vp et le pilote ne sera informé qu'à l'instant t1 ;
• à t2 la vitesse Vp augmente brutalement, mais Vi ne suit pas instantanément ; le fait de sous-estimer la vitesse ne présente pas de danger à basse vitesse ;
• à t3 Vi et Vp sont de nouveau identiques.
Selon les anémomètres et leur circuit d'installation sur l'avion, le temps de réponse peut varier entre 5/100 de seconde (0,05 s) et parfois près d'une demi-seconde. Si l'anémomètre semble paresseux au point que l'indication est aberrante ou retardée de plus d'une seconde, il faut chercher une cause d'obstruction des circuits de pression statique ou de pression dynamique (encrassement, insectes-maçons, obstruction par le gel, la neige, l'eau, la boue, l'herbe...). Voir REX du mois.

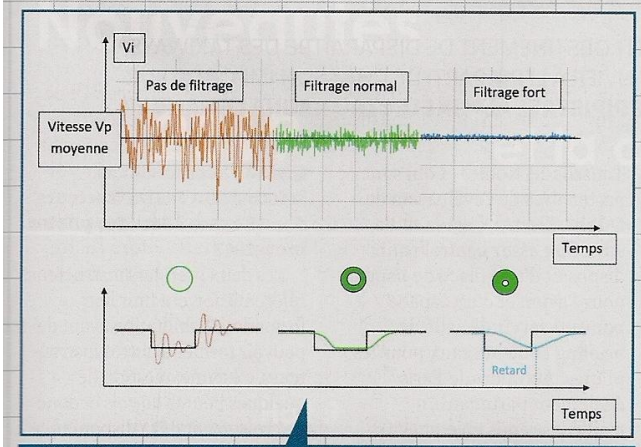

Figure 3. Trois réponses tendance de l'anémomètre selon le calibre de l'orifice de filtrage quand il a dû être installé. En haut enregistrement réel de vitesse, au-dessous réponses théoriques à un créneau de vitesse : brusque diminution suivie d'une même augmentation de Vp
• à gauche aucun dispositif de filtrage de l'information des pressions, statique ou totale (pas d'orifice calibré sur le tuyau de pression totale). Les fluctuations de la pression dynamique associées aux différentes inerties (gazeuses, mécaniques) rendent la lecture impossible à cause des oscillations de l'aiguille ou de l'affichage de la mesure (capteur de pression + EFIS) ;
• au centre l'anémomètre est correctement filtré. L'indication oscille un peu, mais elle est parfaitement exploitable ;
• à droite, un orifice trop petit atténue bien les oscillations, mais il introduit un retard trop important sur l'indication de la vitesse donc préjudiciable à la qualité du pilotage, notamment en manœuvre, et en évolution en air agité (en finale par exemple).

Exemples BEA

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

5 Attention aux évolutions sous facteur de charge positif en montée (ressource). Elles peuvent vous infliger une double peine : accroissement de la vitesse de décrochage dû au facteur de charge, et retard de l'anémomètre qui surestime la vitesse pendant toute la montée. Vous pouvez être surpris de ressentir les signes du décrochage puis subir le décrochage à une vitesse indiquée bien supérieure à VS. Dans ce cas l'avertisseur de décrochage qui retentit alors que la vitesse semble suffisante doit être pris sérieusement en considération.

6 En atmosphère turbulente, à basse vitesse comme au décollage ou en finale, un anémomètre selon son degré de filtrage atténue plus ou moins les variations de vitesse Vi et vous aide à tenir une vitesse moyenne suffisante. Cependant, alors que la vitesse indiquée est correcte vous pouvez percevoir des indications sonores de l'avertisseur de décrochage qui réagit instantanément aux dépassements de l'incidence critique. Brefs coups de klaxon rien de grave. Mais si les temps de fonctionnement s'allongent, il faut absolument corréler l'information avec celle de l'anémomètre.

7 Le dysfonctionnement de l'anémomètre peut être détecté dès les premiers mètres de l'accélération au décollage. Ce qui conduit normalement à l'interruption du décollage. Votre analyse sera d'autant plus précoce, donc efficace, que lors de chaque décollage précédent vous aurez acquis mentalement la représentation de la variation de vitesse : l'anémomètre devient actif au bout de combien de secondes ? A quel rythme l'aiguille parcourt les graduations de l'écran ? Autant de conseils que votre instructeur vous a enseignés en école (« Badin actif ») et qui peuvent faire la différence en cas de défaillance de l'anémomètre. Voir cas n°1 où même une indication par défaut, mal perçue, de l'anémomètre (cas théoriquement le moins critique) a provoqué un cafouillage au décollage. Certes l'interruption même tardive était la bonne alors que la panne provenait probablement de l'anémomètre et aussi du moteur. Mais une analyse plus précoce aurait peut-être évité la sortie de piste ?

REX du mois

Perte indicateur de vitesse après décollage

• **But du vol :** Navigation avec atterrissage sur aérodrome situé à 78 Nm avec déjeuner sur place et retour.
• **Description de l'événement :** Lors du vol aller pas de problème particulier, le moteur a été arrêté à 10h55. Après avoir déjeuné sur place, je remets le moteur en marche à 13h45. Lors du roulage au décollage, l'aiguille de l'anémomètre monte normalement et progressivement, et juste après que les roues quittent le sol, je constate que l'aiguille de l'anémomètre tombe brusquement à zéro. Arrivé à 1200 pieds, je vire à gauche, conformément aux instructions de la carte VAC, pour réaliser un tour de piste et décider de l'action à réaliser suite à cet incident. Après réflexions et en accord avec mon copilote (FI), je décide de poursuivre le voyage de retour à notre base pour réaliser l'atterrissage. L'analyse technique du tube pitot sous l'aile gauche a révélé que la canalisation était bouchée, juste après le coude, soit environ 5 centimètres après l'orifice.
• **Commentaire du déclarant :** Nous n'avons pas mis le cache pitot pendant le déjeuner, et un insecte a vraisemblablement eu le temps d'effectuer une construction à l'intérieur du tube.
• **Propositions :** Mettre les flammes après atterrissage si l'avion ne vole pas dans la demi-heure qui suit l'arrêt. Maintenir un entraînement des pilotes permettant de réaliser un atterrissage avec l'indicateur de vitesse en panne.