



Accident d'un ULM multiaxe Pipistrel Virus 912 SW 100
identifié **17-YO**
survenu le 7 août 2017
sur la plate-forme ULM de Saint-Estèphe (33)

⁽¹⁾Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en heure locale.

Heure	Vers 16 h 20 ⁽¹⁾
Exploitant	Privé
Nature du vol	Aviation générale, convenance personnelle, voyage
Personnes à bord	Pilote et une passagère
Conséquences et dommages	Pilote et passagère décédés, ULM détruit

**Perte de contrôle lors d'un passage à faible hauteur,
collision avec la piste, incendie**

⁽²⁾Les informations de ce paragraphe sont issues des témoignages de personnes présentes sur l'aérodrome au moment de l'accident.

⁽³⁾Piste non revêtue
450 m x 30 m.

1 - DÉROULEMENT DU VOL ⁽²⁾

Le pilote, accompagné d'une passagère, décolle à 16 h 18 de la plate-forme ULM de Saint-Estèphe en piste 30⁽³⁾ pour un vol à destination de l'aérodrome de La Rochelle – île de Ré (17), base du 17-YO.

Au cours de la montée initiale, le pilote effectue un demi-tour et revient vers la plate-forme. Il réalise un passage en palier au-dessus de la piste 12 à faible hauteur et à forte vitesse. Le pilote perd le contrôle de son ULM qui part brutalement en descente, entre en collision avec la piste puis prend feu.

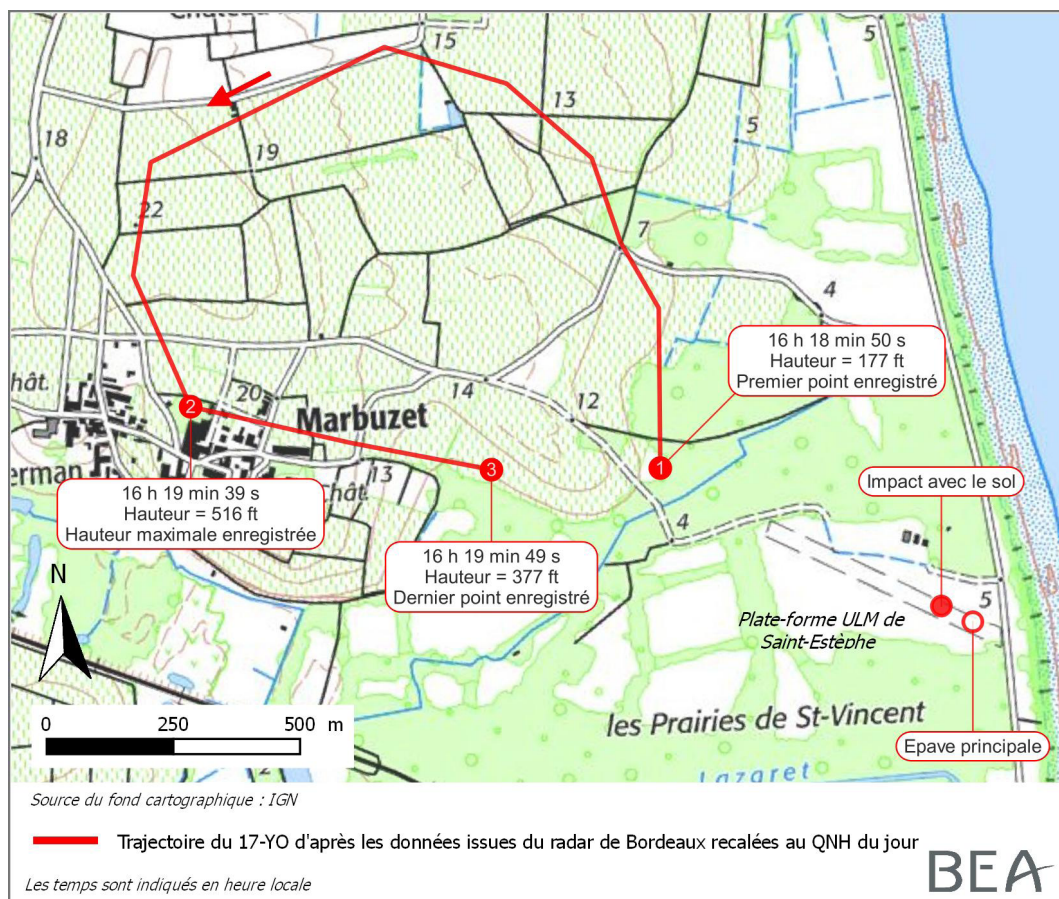


Figure 1 : trajectoire du 17-YO issue des données radar

2 - RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES

2.1 Renseignements sur le site et l'épave

L'examen du site de l'accident et de l'épave a permis de déterminer que l'ULM est entré en collision avec le sol avec une assiette à piquer comprise entre 30° et 45°. L'ampleur des dommages et la répartition des débris, dispersés sur une longueur de 130 mètres, indiquent une forte énergie à l'impact, et en particulier une vitesse horizontale importante. Les réservoirs contenaient une quantité importante de carburant.

La cabine ayant été totalement détruite par l'impact et l'incendie, il n'a pas été possible d'exploiter les calculateurs embarqués dans l'ULM. Les dommages consécutifs à l'incendie sur les autres parties de l'ULM n'ont pas permis de s'assurer de la continuité de toutes les chaînes de commande, notamment celle de profondeur. Il n'a pas non plus été possible d'écarter une éventuelle rupture de pièce préalable à la collision avec le sol.

En aval de la trace de contact du nez de l'ULM avec le sol, il a été relevé une trace correspondant au contact du bord d'attaque des demi-voilures (voir figure 2). La courbure de la trace de la demi-voilure gauche correspond à une flexion positive, tandis que celle de la trace de la demi-voilure droite correspond à une flexion négative. Ces traces sont compatibles avec la survenue d'un phénomène de *flutter*⁽⁴⁾ juste avant l'impact avec le sol. Il n'a cependant pas été possible de confirmer cette hypothèse par les observations effectuées sur les voilures.

⁽⁴⁾Ce phénomène est défini au § 2.8.1.

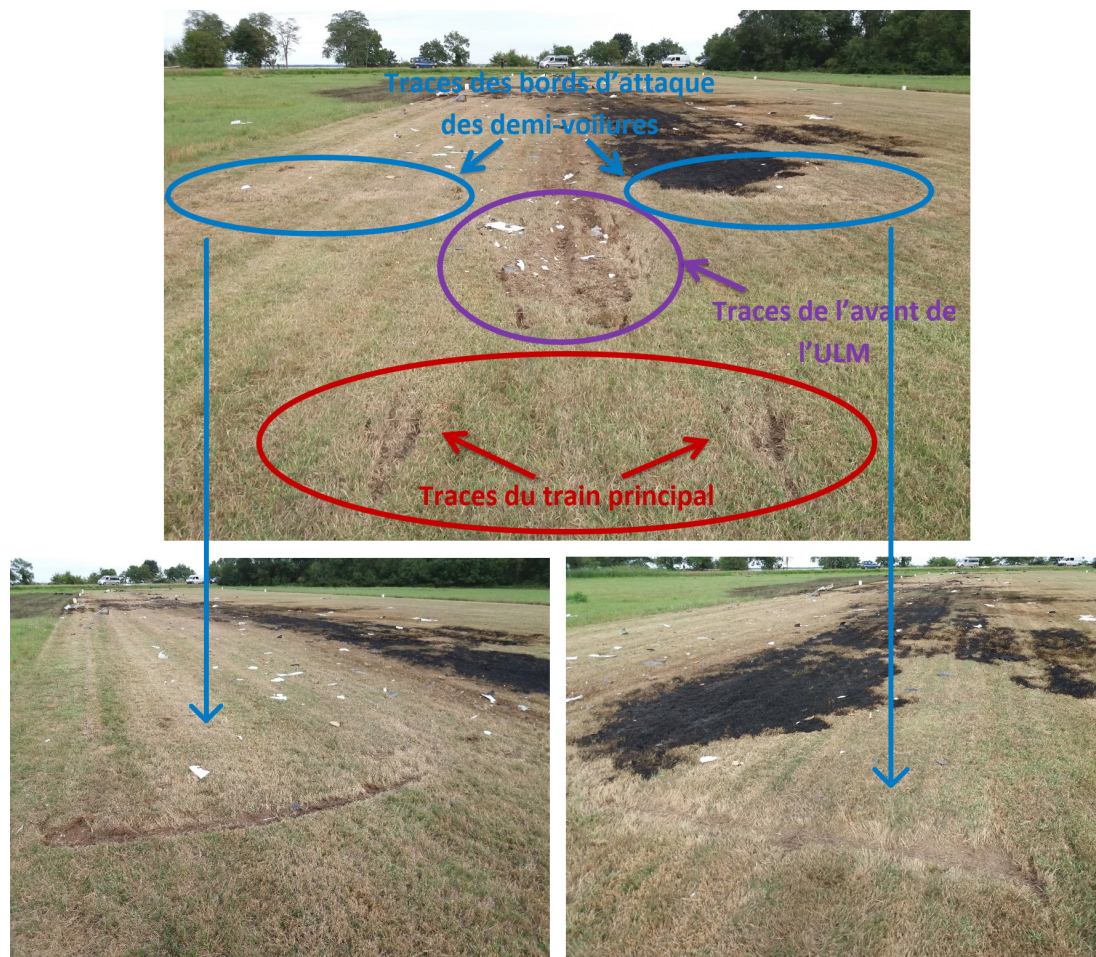


Figure 2 : zone de l'impact et détail sur les traces des demi-voilures

2.2 Renseignements sur le pilote

Le pilote, âgé de 70 ans, était titulaire depuis 2013 d'une licence de pilote d'ULM multiaxe avec autorisation d'emport de passager. Il détenait également depuis 2001 une licence PPL (A), obtenue par conversion d'une licence TT, dont la qualification SEP était valide jusqu'à juin 2019.

Il totalisait, au 2 juin 2017, 970 heures de vol, dont 900 en tant que Commandant de bord.

2.3 Renseignements sur les conditions météorologiques

Les conditions estimées par Météo-France sur la plate-forme ULM de Saint-Estèphe au moment de l'événement sont les suivantes :

- visibilité supérieure à 10 km ;
- température de 27 °C ;
- vent de secteur 030° à 080°, de 4 à 5 kt ;
- turbulence nulle.

2.4 Témoignages

2.4.1 Témoignage d'un pilote d'ULM de type « Super Coyote » en attente au parking

Au cours de la journée de l'accident, ce pilote explique avoir vu deux ULM, un Blackshape Prime d'une société de simulation de combats aériens, et un Shark-Aero Shark dont le pilote est un de ses amis réaliser chacun un survol de la piste 12 à une hauteur estimée à une cinquantaine de mètres avant de s'intégrer dans le circuit d'aérodrome et atterrir.

Le pilote du Shark, suspectant des problèmes avec son moteur, a demandé à son épouse de rentrer à la Rochelle avec le pilote du 17-YO qu'il connaissait. Lors du décollage du 17-YO les pilotes du Shark et du Super Coyote étaient en attente au sol.

Déroulement de l'événement

Après le décollage du 17-YO, le pilote du Shark a indiqué sur la fréquence de la plate-forme ULM qu'il souhaitait s'aligner sur la piste, mais le pilote du 17-YO lui a répondu qu'il voulait faire un passage en survol de la piste, et lui a demandé d'attendre ce passage avant de s'aligner. Le témoin pensait que le pilote du 17-YO voulait saluer les personnes au sol. Les deux ULM sont restés au parking en attendant son passage.

Le témoin a vu le pilote du 17-YO réaliser un premier palier à environ 50 mètres de hauteur, débuté au seuil de piste opposé. Il ajoute que le pilote a ensuite rendu la main, et effectué un second palier à environ 30 mètres de hauteur. Au cours de ce palier, le témoin a vu les ailes de l'ULM battre une première fois avant de se stabiliser, puis il a observé une seconde ondulation des ailes. Il précise que l'ULM était stable en tangage et en roulis lors de ces ondulations.

Masqué ensuite par l'aile haute de son ULM, il a retrouvé le contact visuel avec le 17-YO au moment de l'impact avec le sol, qui s'est produit avec une assiette comprise entre 30° et 45° à piquer selon son estimation.

Le témoin ajoute qu'il n'avait jamais vu le pilote du 17-YO effectuer ce type de manœuvre lors de leurs précédentes rencontres.

2.4.2 Témoignage du pilote de l'ULM de type Shark

Après avoir effectué quelques réparations sur son ULM Shark et réalisé un vol de test, le pilote a demandé à sa compagne, par précaution, de prendre place dans le 17-YO pour effectuer le voyage retour vers La Rochelle.

Le pilote avait prévu de décoller juste après le 17-YO et se situait à l'entrée du taxiway. Il indique avoir vu le pilote du 17-YO effectuer un virage par la gauche, pour reprendre l'axe de la piste, à une hauteur estimée entre 350 et 400 ft. Au cours de ce virage, réalisé en fin de montée initiale, le pilote du 17-YO a annoncé qu'il repassait pour dire au revoir. Ce dernier n'avait pas indiqué, avant son départ, qu'il effectuerait cette manœuvre.

Le pilote a quitté des yeux le 17-YO pour continuer sa préparation avant décollage. Il a de nouveau vu le 17-YO au moment où il se situait au seuil de piste 30. Le pilote décrit la descente de l'ULM en deux étapes. Il indique que l'ULM est descendu, jusqu'en-dessous du niveau des arbres, à une hauteur estimée à environ 10 mètres. L'ULM a ensuite effectué un palier, puis est descendu à nouveau.

Juste avant la collision du 17-YO avec le sol, il a observé, à deux reprises, la survenue de vibrations entre les ailes et l'empennage, comme si une partie de l'ULM était entré en résonance. Il précise que des oscillations étaient visibles autour de l'axe de roulis : l'ULM s'est vrillé autour de cet axe, les ailes partant vers la droite et l'empennage vers la gauche.

Il indique que le pilote du 17-YO a ensuite réalisé un début de ressource, puis a perdu le contrôle de son ULM. Il ajoute que le 17-YO volait très vite au-dessus de la piste, à une vitesse qu'il estime proche de 300 km/h.

Le pilote se souvient d'avoir vu voler le Blackshape Prime le jour de l'événement. De manière générale, les passages au-dessus de la piste sont généralement réalisés pour effectuer des circuits d'aérodrome « courts ». Ceux-ci consistent, pour un atterrissage en piste 12, à survoler la piste en sens inverse à une altitude estimée à 400 ft environ, puis à effectuer un virage au-dessus de la rivière bordant la piste et atterrir. Le pilote indique que la manœuvre effectuée par le pilote du 17-YO le jour de l'accident n'avait rien à voir avec la réalisation d'un « circuit court ».

Au cours de son vol de test, il a effectué un passage au-dessus de la piste dans le cadre d'un « circuit court », de sorte à pouvoir se positionner à 500 ft pour effectuer l'atterrissage.

Il connaissait le pilote du 17-YO et ne l'avait jamais vu effectuer une manœuvre de ce type. Il précise que le pilote du 17-YO était propriétaire d'un avion de type Yak 52 sur lequel il effectuait des vols de voltige. Ce dernier avait arrêté de voler sur son Yak 52 depuis plusieurs années.

2.4.3 Témoignage d'un visiteur de la plate-forme ULM

Le témoin indique qu'il est pilote de chasse et qu'il était venu visiter la société de simulation de combat aérien en ULM.

Il a vu le 17-YO décoller et effectuer un virage à droite avec un taux de montée important. Pensant que l'ULM partait directement vers La Rochelle, il s'est interrogé sur le fait que le Shark et le Super Coyote ne se soient pas mis à rouler vers la piste après le décollage du 17-YO.

Le témoin a ensuite aperçu le 17-YO revenir vers la plate-forme ULM, pour le QFU 12. Il indique que l'aéronef avait un fort angle à piquer. L'ULM est arrivé à une hauteur qu'il estime entre 200 et 300 ft. Le pilote a cabré, puis stabilisé l'ULM. Il a ensuite eu l'impression que le pilote effectuait de fortes actions sur la profondeur, car l'ULM, en descente, alternait de façon saccadée entre des attitudes à cabrer et à piquer.

Alors que le 17-YO était à l'horizontale, les ailes ont alterné entre un dièdre très positif et un dièdre très négatif. Le témoin décrit que les ailes battaient comme celles d'un oiseau, avec un grand débattement, comme si elles étaient entrées en résonance. Une fois le dièdre des ailes revenu à la normale, il a vu la partie avant de l'aéronef, qui était à une hauteur estimée à 100 ft, s'incliner à 45° vers le sol avant l'impact.

Le témoin précise qu'au cours de la manœuvre l'ULM était très rapide sans pouvoir estimer sa vitesse. Il ajoute que cette manœuvre ne ressemblait pas à une manœuvre « tranquille » au cours de laquelle les pilotes passent en faisant battre des ailes leur aéronef.

2.5 Informations issues des enregistrements radar

Une valeur de vitesse est associée à chacun des points issus des enregistrements du radar secondaire. Cependant, cette donnée étant trop peu précise pour pouvoir être exploitée pour ce vol, il n'a pas été possible de déterminer avec un degré de confiance satisfaisant la vitesse du 17-YO durant le vol.

2.6 Renseignements sur l'aéronef

2.6.1 Généralités

Le Pipistrel Virus 912 SW 100 est un ULM multiaxe à voilure haute, équipé d'un train classique ou tricycle fixe selon les modèles⁽⁵⁾. Il permet d'embarquer deux personnes (un pilote et un passager) en configuration côte-à-côte.

Le Virus 912 SW est la version la plus récente des modèles Virus et Sinus, avec des performances améliorées.

Le 17-YO était équipé d'un parachute de secours.

2.6.2 Vitesses d'utilisation

Le tableau ci-dessous concernant les vitesses d'utilisation de l'aéronef est extrait du manuel d'utilisation de l'ULM :

	Vitesse	IAS (km/h)	Remarques
VNE	Vitesse à ne jamais dépasser	302	Ne jamais dépasser cette vitesse. Si la VNE a été dépassée, atterrissez dès que possible et faites procéder à l'inspection complète de l'aéronef par une personne compétente.
VA	Vitesse de manœuvre ⁽⁶⁾	174	Ne pas braquer les gouvernes brusquement ou jusqu'à leur plein débattement au-delà de cette vitesse.

2.6.3 Informations données concernant le phénomène de flutter

Le manuel d'utilisation de l'ULM consacre une section spécifique au phénomène de flutter pouvant être constaté sur le Pipistrel Virus.

Il y est précisé :

- « Le flutter est une oscillation des surfaces de contrôle. Il résulte généralement d'un braquage brutal des gouvernes à des vitesses proches ou supérieures à la VNE. Lorsque le phénomène apparaît, les ailerons ou la profondeur, voire même l'aéronef entier, se met à vibrer violemment. En cas d'apparition de flutter, augmenter l'angle d'attaque (en tirant sur le manche) et réduire les gaz immédiatement afin de réduire la vitesse et augmenter la charge (amortissement) sur la structure ».

⁽⁵⁾Le 17-YO était équipé d'un train classique.

⁽⁶⁾La vitesse de manœuvre est définie au § 2.8.2.

2.6.4 Précisions supplémentaires annexées au manuel d'utilisation concernant la vitesse de manœuvre

Dans l'annexe au manuel d'utilisation de l'ULM, une section donne des précisions supplémentaires sur la compréhension de la vitesse de manœuvre :

« La vitesse de manœuvre est définie comme la vitesse maximale à laquelle l'aéronef peut voler et encore décrocher avant que les ailes ne se rompent, quel que soit l'effort à tirer appliqué sur le manche. Si l'aéronef vole à une vitesse inférieure à V_a , et qu'un effort à cabrer est appliqué en butée, l'aile peut toujours décrocher sans se rompre. Si l'aéronef vole à une vitesse supérieure à V_a , et qu'un effort à cabrer est appliqué en butée, l'aile peut subir une portance telle qu'il est possible qu'elle rompe »⁽⁷⁾.

⁽⁷⁾Traduit de l'anglais.

2.6.5 Informations extraites du rapport des essais en vol du Virus 912 SW 100

Le rapport des essais en vol du Virus 912 SW 100 comporte un test dédié au phénomène de *flutter*, réalisé le 21 décembre 2008 en conditions ISA-5°C et à la masse de 515 kg.

L'aéronef a été testé en vol à des vitesses comprises entre 180 km/h et 332 km/h, par incréments de 20 km/h. À chacune de ces vitesses, une sollicitation soudaine d'au moins 20 % de déflexion du manche, en roulis ou en tangage a été appliquée.

Le rapport mentionne que « l'aéronef n'a montré aucun signe d'amorce de flutter sur la plage de vitesses testées. De plus, aucune vibration intrinsèque, ni aucun buffètement⁽⁸⁾ de la cellule ou des commandes de vol n'a été observé à des vitesses élevées. La réponse des commandes de vol est restée immédiate sans aucune hystérèse⁽⁹⁾, ni divergence notable »⁽⁷⁾.

Sur son site internet⁽¹⁰⁾, le constructeur indique que « le Virus a été testé en flutter au-delà de 345 km/h ».

2.7 Événements précédents

Deux événements antérieurs, que l'importateur français associe à un phénomène de *flutter*, ont été notifiés au BEA. Ces événements ont donné lieu à des examens, mais n'ont pas conduit à la publication de rapports.

2.7.1 Premier événement

Le 22 décembre 2002, un ULM de type Pipistrel Virus 912 a subi un phénomène de *flutter* ayant conduit à la rupture en vol de la partie arrière du fuselage et à la destruction de l'aile gauche⁽¹¹⁾. Le pilote avait utilisé le parachute de secours. Le pilote a indiqué avoir perçu d'importantes vibrations de fréquence élevée, qui ont duré de cinq à six secondes, alors que l'ULM était en descente à une altitude d'environ 3 000 ft et à une vitesse comprise entre 240 et 250 km/h.

Les dommages observés sur l'aéronef avaient confirmé l'occurrence d'un phénomène vibratoire divergent de type *flutter* qui s'est développé à partir de l'aileron gauche, qui pourrait avoir été initié par une sortie intempestive des aérofreins.

La VNE prescrite par le constructeur pour le Virus 912⁽¹²⁾ était de 225 km/h dans son pays d'origine. Avant l'accident, l'importateur français avait fait élaborer un dossier de calcul afin de la faire porter à 269 km/h.

⁽⁸⁾Vibration due à l'apparition d'un écoulement tourbillonnaire.

⁽⁹⁾Propriété d'un système dont l'évolution ne suit pas le même chemin selon qu'une cause extérieure augmente ou diminue.

⁽¹⁰⁾<http://www.pipistrel.fr/index.php?id=71>, consulté le 01/08/2018.

⁽¹¹⁾Accident de l'ULM identifié 31-BO survenu le 22 décembre 2002 à Palaminy (31).

⁽¹²⁾Les vitesses de référence pour le Virus 912 ne sont pas les mêmes que celles du Virus 912 SW. Dans sa dernière révision du manuel d'utilisation de l'ULM (révision 3 du 3 mai 2017), le constructeur précise que la VNE du Virus 912 est 249 km/h.

⁽¹³⁾Type d'ULM produit par Pipistrel appartenant à la même famille que celle du Virus et similaire à ce dernier.

⁽¹⁴⁾Incident de l'ULM identifié 974-GH survenu le 1^{er} avril 2003 à l'île de la Réunion (974).

⁽¹⁵⁾Dans sa dernière révision du manuel d'utilisation de l'ULM (révision 4 du 1^{er} septembre 2017), le constructeur indique que la VNE du Sinus 912 est 225 km/h.

⁽¹⁶⁾« Pipistrel Sinus info 7 ».

2.7.2 Deuxième événement

Quelques mois plus tard, le 1^{er} avril 2003, le pilote d'un ULM de type Pipistrel Sinus 912⁽¹³⁾ a rencontré un phénomène rapporté de *flutter*⁽¹⁴⁾. Le pilote a indiqué que l'aéronef s'était mis à fortement vibrer alors qu'il était en descente depuis l'altitude de 7 000 ft à une vitesse de 150 km/h en configuration lisse. La commande de roulis s'était bloquée en butée à droite, et l'aéronef s'était fortement incliné sur la gauche sur son axe de roulis.

Le guignol de renvoi des commandes de gauchissement gauche avait été retrouvé rompu au niveau d'une soudure. Cependant, l'examen de la pièce par le BEA n'avait pas permis de déterminer l'origine de la rupture.

La VNE prescrite pour le Sinus 912 était de 250 km/h⁽¹⁵⁾.

2.7.3 Mesures prises à la suite de ces deux événements

À la suite de ces deux événements, l'importateur français avait informé les propriétaires de Pipistrel Virus et Sinus par l'intermédiaire d'une note de service⁽¹⁶⁾ publiée le 23 juin 2003 de sa décision de limiter momentanément la VNE de ces ULM à 225 km/h (vitesse préconisée par le constructeur dans son pays d'origine). L'importateur français ajoutait que « *cette limitation est a priori provisoire et devrait être relevée à 250 km/h sur le Sinus et peut-être plus sur le Virus* ».

Dans cette note, l'importateur français était revenu sur les deux événements mentionnés plus haut.

Concernant l'accident du Virus 912 du 22 décembre 2002, l'importateur précisait : « *l'hypothèse [...] la plus probable semblerait être [une] sortie légère des aérofreins à vitesse vraie très élevée, supérieure à 300 km/h (vitesse max de sortie d'aérofreins 180 km/h)* ».

Concernant l'incident du Sinus 912 du 1^{er} avril 2003, l'importateur avait indiqué que la rupture de la commande d'aileron était la conséquence d'un « *très fort dépassement de la vitesse en air très turbulent, environ 270 km/h de vitesse vraie [...] au lieu de 170 km/h max* ».

L'importateur avait ajouté une information sur le phénomène de *flutter* : « *Si vous ressentez une vibration à haute vitesse, il s'agit probablement d'un flutter. Pour le réduire, coupez immédiatement les gaz et en même temps cabrez fermement sans brutalité pour diminuer le plus rapidement la vitesse. [...] Quand vous volez à vitesse proche de la VNE, faites-le uniquement en air calme et la main sur les gaz* ».

Par ailleurs, au sujet des vols à vitesse élevée, l'importateur indiquait : « *N'allez pas titiller la VNE. Si vous volez à plus de 200 km/h, faites-le avec la certitude que l'air est absolument calme (pas de vent, pas de thermique), sans brutalité sur les commandes, la main sur les gaz et pas en piqué* ».

2.8 Définitions

2.8.1 Flutter

Dans sa section traitant des contraintes sur la cellule d'un aéronef, le manuel du pilote d'avion⁽¹⁷⁾ aborde les efforts subis en descente. Il y est notamment décrit que le vol « *au-delà de la VNE [...] risquerait de provoquer le développement de vibrations aéro-élastiques appelées flutter (qui veut dire « battement » en anglais), susceptibles d'entraîner très rapidement la rupture d'organes ou de pièces essentielles* ».

Une vidéo⁽¹⁸⁾, disponible sur internet, présente différents tests en vol effectués sur un prototype de planeur afin d'expérimenter le phénomène de *flutter*. Il peut notamment être observé qu'en fonction des conditions initiales de test (vitesse et fréquence d'excitation sur les gouvernes par le pilote), différents types de *flutter* sont susceptibles de survenir (« *trois nœuds* », « *cinq nœuds* »).

2.8.2 Vitesse de manœuvre

Le manuel du pilote d'avion définit la vitesse de manœuvre comme « *la vitesse maximale permettant de braquer complètement les gouvernes sans risque de torsion de la voilure provoquée par les ailerons et de torsion du fuselage provoquée par la dérive* ».

2.8.3 Décrochage dynamique

Le décrochage est un phénomène qui survient lorsque l'incidence d'une aile dépasse la valeur qui génère la portance maximale du fait de son avancement dans le flux d'air (appelée incidence de décrochage).

Le décrochage dynamique désigne le phénomène de décrochage survenant lors d'évolutions à des facteurs de charge supérieurs au vol en palier (1 g), et donc à des vitesses plus élevées qu'en palier.

Lorsque le facteur de charge augmente, notamment dans le cas d'une ressource, l'aéronef devra bénéficier d'une portance plus grande pour contrer l'augmentation du poids apparent. Cette portance supérieure sera générée par une augmentation de l'incidence des surfaces portantes. Dans le cas de ressources brutales, l'incidence atteinte peut dépasser l'incidence de décrochage, provoquant ainsi le décrochage dynamique de l'avion, à une vitesse plus élevée que les vitesses de décrochage publiées dans le manuel de vol.

3 - ENSEIGNEMENTS ET CONCLUSION

3.1 Décision d'effectuer un passage à faible hauteur et à vitesse élevée

Au cours de la montée initiale, le pilote du 17-YO a effectué un demi-tour, puis a accéléré avant de revenir survoler la piste à faible hauteur avec une vitesse élevée.

Le pilote du 17-YO, qui était le premier pilote d'un groupe de trois ULM à décoller, a effectué cette manœuvre dans le but de saluer les personnes restées au sol.

Dans cette perspective, il a pu être influencé par les manœuvres similaires réalisées par deux ULM performants et à l'allure sportive, dans l'heure précédant son décollage. Le pilote n'ayant fait part à personne, avant le décollage, de son intention d'effectuer une telle manœuvre, il est possible que cette décision ait été improvisée lors du décollage, peu avant son annonce sur la fréquence de la plate-forme ULM.

⁽¹⁷⁾ Manuel du pilote d'avion, formation initiale et maintien de compétences, Éditions Cépaduès, 17^{ème} édition, janvier 2015.

⁽¹⁸⁾ <https://www.youtube.com/watch?v=RenbFgLZBNA>

Cet accident illustre la prise de risque que représente le vol à faible hauteur, tant pour les personnes à bord que pour les éventuels tiers se trouvant à proximité. Outre l'exposition accrue au risque de collision avec des obstacles, le vol à faible hauteur compromet les chances de récupération d'une situation anormale et inattendue telles qu'une panne ou une perte de contrôle.

Depuis 2004, en France, toutes catégories d'aéronefs confondus, le BEA a répertorié plus de 120 accidents survenus au cours de manœuvres non nécessaires à la conduite normale du vol, dénotant une prise de risque manifeste de la part du pilote. Parmi eux, au moins 70 accidents mortels ont provoqué la mort de près de 120 personnes, soit 13,5 % des morts dans des accidents d'aviation générale depuis 2004.

Il est difficile d'évaluer le degré de conscience du risque des pilotes qui entreprennent de telles manœuvres. Il est également difficile d'expliquer précisément les motivations qui peuvent conduire certains pilotes à diminuer ainsi les marges de sécurité. Parmi les explications possibles, il y a la recherche de simples sensations personnelles. Au-delà, dans plus de la moitié de ces 120 accidents, le site survolé (aérodromes, habitations, rassemblement de personnes) laisse supposer qu'une forme de démonstration vis-à-vis de tiers au sol pouvait être recherchée par le pilote ; dans plus de 20 cas, la présence au sol d'un public précis, notamment de proches du pilote, est confirmée. Cette forme de démonstration peut aussi s'exercer à l'égard des passagers : dans les deux tiers des cas répertoriés, le pilote était accompagné d'au moins un passager.

3.2 Perte de contrôle de l'ULM

Il n'a pas été possible de déterminer avec précision la vitesse de l'ULM à l'impact. Cependant, les informations issues des témoignages de plusieurs personnes au sol, ainsi que la dispersion des débris de l'épave sur plus d'une centaine de mètres, suggèrent que la vitesse de l'ULM lors du survol de la piste, puis lors de l'impact, était très élevée.

Les témoins de ce survol indiquent que la structure de l'ULM s'est mise à vibrer au cours de la manœuvre. Compte tenu des observations également faites sur le site, il est fortement probable qu'un phénomène conjuguant des ondulations et des vibrations au niveau des ailes et de l'empennage, de type *flutter*, soit survenu durant le survol de la piste. La vitesse élevée de l'ULM, sans qu'il soit possible de la situer par rapport à la VNE, conjuguée à des actions sur la gouverne de profondeur pour ajuster la hauteur du survol en palier, pourrait avoir été à l'origine de ce phénomène.

Bien que l'absence de phénomène de type *flutter* ait été démontrée au-delà de la VNE du Virus 912 SW 100 lors de tests effectués par le constructeur, des phénomènes vibratoires assimilables au *flutter* avaient déjà été observés lors d'événements survenus en 2002 (sur Virus) et 2003 (sur Sinus). Ils avaient conduit le constructeur à communiquer sur le phénomène. Ce phénomène reste d'ailleurs documenté dans le manuel de vol du modèle Virus 912 SW, tel que celui accidenté. Ce modèle a vu ses performances améliorées par rapport au Virus 912. En particulier, la VNE a été portée à plus de 300 km/h au lieu de 225 km/h pour le Virus 912 d'ancienne génération. L'augmentation de la plage de vitesse est de nature à exposer davantage encore les pilotes à des phénomènes vibratoires, notamment sous l'effet de perturbations (qu'elles soient externes ou induites par le pilote lui-même). Dans une telle situation, pour réduire rapidement la vitesse et éviter la rupture structurale, le constructeur préconise une action ferme à cabrer en même temps que la réduction de la puissance du moteur. Dans le cas de commandes de vol directes, comme c'est le cas sur Virus 912 SW, une même action au manche entraîne un facteur de charge d'autant plus fort que la vitesse de l'aéronef est élevée. Les conséquences de ce facteur de charge peuvent être de différentes natures, en fonction de la vitesse d'évolution :

- une rupture structurale, en cas d'évolution au-dessus de la vitesse de manœuvre ;
- un décrochage dynamique.

Dans le cadre de l'accident, la vitesse apparemment largement supérieure à la vitesse de manœuvre rend très peu probable l'hypothèse d'un décrochage dynamique.

Lorsque des vitesses élevées sont atteintes, la marge de manœuvre entre les différentes limitations structurales et aérodynamiques est restreinte, pouvant même favoriser une sortie du domaine de vol.

3.3 Conclusion

Le pilote a décidé de revenir vers la plate-forme ULM afin de saluer des amis restés au sol. Pour cela, il a entrepris un survol de la piste à faible hauteur et à vitesse élevée. La collision avec le sol est survenue au cours de ce passage. Parmi les explications possibles de cet écart de trajectoire figurent :

- une perte de contrôle en tangage directement liée au phénomène vibratoire assimilable à du *flutter*, qui a été observé par les témoins ;
- une rupture d'un élément de l'aéronef consécutive à ce *flutter* ;
- une rupture d'un élément de l'aéronef consécutive au facteur de charge atteint à une vitesse très probablement supérieure à la vitesse de manœuvre lors de la ressource qui semble avoir été initiée.

L'apparition d'un phénomène de type *flutter* lors du survol de la piste a pu précipiter une action à cabrer du pilote.

L'état de l'épave après l'incendie n'a pas permis de confirmer ou d'infirmer l'hypothèse d'une rupture en vol.

À supposer que l'ULM était suffisamment intègre pour cela, la faible hauteur du survol ne permettait pas au pilote de récupérer le contrôle de l'ULM ou d'actionner son parachute de secours avant sa collision avec le sol.