



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Büro für Flugunfalluntersuchungen BFU  
Bureau d'enquête sur les accidents d'aviation BEAA  
Ufficio d'inchiesta sugli infortuni aeronautici UIIA  
Uffizi d'inquisiziun per accidents d'aviatica UIAA  
Aircraft accident investigation bureau AAIB

# **Rapport final no. 2038**

## **du Bureau d'enquête**

### **sur les accidents d'aviation**

concernant l'accident de l'avion  
de construction amateur MJ-10 Spitfire, immatriculé HB-YIZ  
survenu le 20 août 2005  
à Rifnacker, commune de Röschenz/BL  
à 15 km ouest/sud-ouest de Bâle

## Ursachen

Der Unfall ist darauf zurückzuführen, dass im Verlauf einer mangelhaft koordinierten Linkskurve die Kontrolle über das Flugzeug kurzfristig verloren ging und dieses während des folgenden Abfangmanövers mit Hindernissen kollidierte.

Die folgenden Faktoren haben die Entstehung des Unfalles möglicherweise begünstigt oder ermöglicht:

- Konstruktive Mängel, die zu anspruchsvollen Eigenschaften des Eigenbau-Flugzeugs bei hohen Anstellwinkeln führten.
- Schwerpunktlage ausserhalb der hinteren Begrenzung.
- Unvollständige Flugerprobung des Eigenbau-Flugzeuges.
- Mangelhafte Durchführung von Baubegleitung und Zulassungsverfahren.
- Geringe Erfahrung des Piloten im Betrieb von anspruchsvollen Eigenbau-Flugzeugen.

## Remarques d'ordre général concernant ce rapport

Le présent rapport relate les conclusions du BEAA sur les circonstances et les causes de cet accident.

Conformément à l'art. 3.1 de la 9<sup>ème</sup> édition, applicable dès le 1<sup>er</sup> novembre 2001, de l'annexe 13 à la convention relative à l'aviation civile internationale (OACI) du 7 décembre 1944, ainsi que selon l'art. 24 de la loi fédérale sur l'aviation, l'enquête sur un accident d'aviation ou un incident grave a pour seul objectif la prévention d'accidents ou d'incidents. Elle ne vise nullement à la détermination des fautes ou des responsabilités. Ainsi, l'enquête n'a pas pour objectif d'apprécier juridiquement les causes et les circonstances d'un accident ou d'un incident grave.

En conséquence, l'utilisation de ce rapport à d'autres fins que la prévention pourrait conduire à des interprétations erronées.

La version de référence de ce rapport est rédigée en langue allemande.

Sauf indication contraire, toutes les heures indiquées dans ce rapport le sont en heure normale valable pour le territoire suisse (*local time* – LT) qui au moment de l'accident correspondait à l'heure d'été de l'Europe centrale (*central european summer time* – CEST). La relation entre LT, CEST et l'heure universelle coordonnée (*co-ordinated universal time* – UTC) est: LT = CEST = UTC + 2 h.

## Sommaire

<b>Synopsis.....</b>	<b>6</b>
<b>Sommaire.....</b>	<b>6</b>
<b>Enquête.....</b>	<b>6</b>
<b>Causes.....</b>	<b>6</b>
<b>1 Renseignements de base .....</b>	<b>7</b>
<b>1.1 Déroulement du vol .....</b>	<b>7</b>
1.1.1 Introduction.....	7
1.1.2 Préambule .....	7
1.1.3 Déroulement du vol.....	8
<b>1.2 Tués et blessés .....</b>	<b>10</b>
<b>1.3 Dommages à l'aéronef.....</b>	<b>10</b>
<b>1.4 Autres dommages.....</b>	<b>10</b>
<b>1.5 Renseignements sur le personnel .....</b>	<b>10</b>
1.5.1 Pilote .....	10
<b>1.6 Renseignements sur l'aéronef.....</b>	<b>11</b>
1.6.1 Généralités .....	11
1.6.2 Histoire du MJ-10 Spitfire.....	13
1.6.3 Particularités de la construction du MJ-10 Spitfire.....	13
1.6.4 Construction et essais de l'avion HB-YIZ.....	14
<b>1.7 Conditions météorologiques.....</b>	<b>16</b>
1.7.1 Généralités .....	16
1.7.2 Situation météorologique générale.....	16
1.7.3 Conditions météorologiques locales au moment de l'accident .....	16
1.7.4 Données astronomiques.....	17
1.7.5 Conditions météorologiques selon les déclarations de témoins oculaires .....	17
<b>1.8 Aides à la navigation .....</b>	<b>17</b>
<b>1.9 Télécommunications.....</b>	<b>17</b>
<b>1.10 Renseignements sur l'aérodrome.....</b>	<b>18</b>
<b>1.11 Enregistreurs de bord.....</b>	<b>18</b>
<b>1.12 Renseignements sur l'épave, l'impact et le lieu de l'accident.....</b>	<b>18</b>
1.12.1 Epave .....	18
1.12.2 Impact.....	19
1.12.3 Lieu de l'accident.....	19
<b>1.13 Renseignements médicaux et pathologiques .....</b>	<b>20</b>
<b>1.14 Incendie.....</b>	<b>20</b>
<b>1.15 Questions relatives à la survie des occupants.....</b>	<b>20</b>
1.15.1 Généralités.....	20
1.15.2 Emetteur de secours .....	20
1.15.3 Recherche et sauvetage .....	20
<b>1.16 Essais et recherches .....</b>	<b>20</b>
1.16.1 Evaluation des films .....	20

<b>1.17 Renseignements sur les organismes et la gestion .....</b>	<b>22</b>
1.17.1 Autorité de surveillance .....	22
1.17.2 Association suisse des constructeurs d'avions amateur .....	25
1.17.3 Groupe de vol à voile de Dittingen.....	27
<b>1.18 Renseignements supplémentaires .....</b>	<b>28</b>
<b>1.19 Techniques d'enquête utiles ou efficaces.....</b>	<b>28</b>
<b>2 Analyse.....</b>	<b>29</b>
<b>2.1 Aspects techniques.....</b>	<b>29</b>
2.1.1 Généralités .....	29
2.1.2 Conditions pour la certification.....	29
2.1.3 Particularités de construction.....	29
2.1.4 Essais en vol .....	30
2.1.5 Certification .....	32
<b>2.2 Aspects opérationnels et humains .....</b>	<b>32</b>
<b>3 Conclusions.....</b>	<b>34</b>
<b>3.1 Faits établis .....</b>	<b>34</b>
3.1.1 Aspects techniques.....	34
3.1.2 Equipage .....	35
3.1.3 Déroulement du vol .....	35
3.1.4 Aspects généraux .....	35
<b>3.2 Causes.....</b>	<b>36</b>
<b>4 Recommandations de sécurité et mesures prises après l'accident .....</b>	<b>37</b>
<b>4.1 Recommandations de sécurité .....</b>	<b>37</b>
<b>4.2 Mesures prises afin d'améliorer la sécurité des vols.....</b>	<b>37</b>
4.2.1 Evaluation des moteurs pour les aéronefs de la catégorie spéciale construction amateur	37
4.2.2 Essais en vol d'aéronefs de la catégorie spéciale construction amateur.....	37

## Rapport final

Propriétaire	Privé
Exploitant	Privé
Type d'aéronef	Avion de construction amateur MJ-10 Spitfire
Pays d'immatriculation	Suisse
Immatriculation	HB-YIZ
Lieu	Rifenacker, commune de Röschenz/BL
Date et heure	20 août 2005, 15 h 32 min

### Synopsis

#### Sommaire

Dans le cadre d'une manifestation aérienne, le pilote décolle avec son avion monospace de construction amateur MJ-10 Spitfire, immatriculé HB-YIZ, depuis le champ d'aviation de Dittingen pour un vol de démonstration. Au cours d'un virage à gauche, l'appareil commence un mouvement de lacet et de virage vers la gauche. Parallèlement, l'assiette de vol de l'appareil diminue jusqu'à ce qu'il se retrouve en piqué quasi vertical. Au cours de la manœuvre de rétablissement qui suit, l'appareil HB-YIZ entre en collision avec le sol au nord-ouest du champ d'aviation de Dittingen.

Le pilote succombe à ses blessures lors de l'impact et l'appareil est détruit.

La forêt ne subit que quelques dégâts mineurs.

#### Enquête

L'accident s'est produit à 15 h 32 min. Il a été notifié aux environs de 15 h 40 min au Bureau fédéral d'enquête sur les accidents d'aviation (BEAA). L'enquête a été ouverte le même jour vers 17 h 30 min en collaboration avec la police cantonale bâloise.

#### Causes

L'accident est dû au fait que lors d'un virage à gauche insuffisamment coordonné, le contrôle de l'appareil a brièvement été perdu, de sorte qu'au cours de la manœuvre de rétablissement subséquente celui-ci est entré en collision avec des obstacles.

Les facteurs suivants ont probablement joué un rôle dans l'accident ou l'ont rendu possible:

- Défauts de construction qui ont conduit à de fortes sollicitations de l'avion de construction amateur lors d'angles d'attaque élevés.
- Centre de gravité positionné en-dehors de la limite arrière.
- Essais en vol incomplets de l'avion de construction amateur.
- Exécution lacunaire du suivi de la construction et de la procédure de certification.
- Faible expérience du pilote pour l'opération d'un avion de construction amateur exigeant.

## 1 Renseignements de base

### 1.1 Déroulement du vol

#### 1.1.1 Introduction

La description du déroulement du vol de l'accident, de même que des événements qui ont précédé, est basée sur des enregistrements filmés et leur analyse scientifique ainsi que sur les déclarations de témoins oculaires et d'informateurs.

Le vol s'est déroulé selon les règles de vol à vue.

#### 1.1.2 Préambule

En novembre 2004, le groupe de vol à voile de Dittingen, responsable de l'organisation de la manifestation aérienne "Dittinger Flugtage", demande au constructeur et pilote de l'avion de construction amateur MJ-10 Spitfire s'il pouvait participer aux prochaines journées aériennes. A ce moment-là, cet aéronef, immatriculé HB-YIZ, dispose d'un certificat de navigabilité provisoire et totalise 4:58 heures de vol effectuées au cours de 6 vols, alors que son évaluation en vol venait de débuter. Après s'être entretenu avec son conseiller en construction et en vols d'essai, le pilote arrive à la conclusion que la phase d'essais et de certification de son aéronef allait être achevée avant la manifestation „Dittinger Flugtage 2005“. Par la suite, le pilote donne son accord au groupe de vol à voile de Dittingen pour effectuer les 20 et 21 août 2005 une démonstration du HB-YIZ.

A la demande de l'Association suisse des constructeurs d'avions amateur (*experimental aviation of Switzerland* - EAS), le pilote obtient le 21 juin 2005 le certificat de navigabilité définitif qui est délivré par l'Office fédéral de l'aviation civile (OFAC). L'aéronef HB-YIZ totalise à ce moment-là 14:53 heures de vol effectuées au cours de 34 vols.



**Figure 1:** L'aéronef MJ-10 Spitfire venant d'être achevé.

Au mois de juillet, le pilote présente son MJ-10 Spitfire lors de deux manifestations aériennes. Ces sont les premières démonstrations aériennes qu'il effectue.

Etant donné que des pilotes de l'extérieur doivent effectuer une reconnaissance du champ d'aviation de Dittingen avant de pouvoir l'utiliser, le pilote se rend le 13 août 2005 avec un autre appareil à Dittingen où il atterri à 11 h 58 min. A 12 h 05 min, il décolle avec un pilote du groupe de vol à voile de Dittingen pour

effectuer un vol d'initiation en prévision de la manifestation aérienne. Ce vol dure cinq minutes. A 12 h 34 min, le pilote redécolle pour Bex.

Une semaine plus tard, le 20 août 2005, le pilote avitaille le HB-YIZ et décolle à 11 h 30 min de l'aérodrome de Bex en direction du champ d'aviation de Dittingen où il atterrit à 11 h 56 min.

A 12 h 45 min débute un briefing à l'attention de tous les pilotes prenant part à la manifestation, au cours duquel sont abordés le déroulement des vols ainsi que les conditions-cadres à respecter. En outre, les licences des équipages et les certificats des aéronefs sont vérifiés.

Avant la démonstration prévue à 15 h 15 min, le pilote ajoute 44 litres de carburant dans le réservoir du HB-YIZ.

Lors de la démonstration de vol, le pilote prévoit, après le décollage et le vol de montée, de présenter en ouverture un rapide passage horizontal avec une vitesse minimale de 180 kt dans le sens du décollage en empruntant un cap au sol de 110°. A la fin de ce vol horizontal, il devra entamer un virage vers la droite puis, au sud-est de la tribune de spectateurs, passer en virage à gauche de sorte à ramener l'aéronef dans la direction de l'axe de présentation. Ensuite, il planifie un passage à l'anglaise<sup>1</sup> afin de présenter le dessous de l'aéronef aux spectateurs. A l'issue de cette manœuvre, l'aéronef devra s'éloigner avec un angle d'environ 45° de l'axe de présentation et finalement amorcer un virage à gauche en montant afin de faire un autre passage à l'anglaise<sup>1</sup> devant le public, pour montrer cette fois sa face supérieure. Après un virage de retour vers la gauche, il devra effectuer un cercle complet à gauche devant le public. A l'issue de cette manœuvre, le pilote envisage de s'éloigner avec un angle de 45° par rapport à l'axe de présentation avant de tourner en direction du public en effectuant un virage à droite. Vers le milieu de la zone de présentation, il devra effectuer un virage vers la droite en remontant puis un virage vers la gauche qui le ramènera ensuite dans l'axe de présentation pour un dernier passage. Le pilote terminera sa présentation en balançant les ailes puis en tournant à gauche de 45° pour ensuite atterrir.

### 1.1.3 Déroulement du vol

A 15 h 28 min, le pilote décolle à bord de l'aéronef HB-YIZ de la piste 11 du champ d'aviation de Dittingen pour son vol de démonstration. Après le décollage, l'appareil vire à droite afin de gagner de l'altitude puis entame un virage à gauche qui le ramène dans l'axe de démonstration.

Ensuite, le pilote effectue un premier vol horizontal devant le public en direction de la piste 29. Les observations des témoins ainsi que les prises de vue permettent de déduire que le HB-YIZ ne vole pas à grande vitesse et que le moteur ne fournit pas une grande puissance.

Après avoir passé la zone des spectateurs, le MJ-10 Spitfire tourne légèrement vers la droite puis engage un virage à gauche qui se resserre vers la fin. Pendant cette manœuvre, il descend légèrement.

---

<sup>1</sup> Passage à l'anglaise: Passage à basse altitude en léger virage; le pilote amorce initialement le virage en légère descente puis ramène sa machine dans un virage ascendant. Cette manœuvre rappelle le retour des avions de chasse anglais à leur base pendant la seconde guerre mondiale. Il arrivait occasionnellement qu'après avoir touché l'ennemi, le pilote effectue en signe de victoire un tonneau barriqué (*barrel roll*) au-dessus de l'aérodrome, ce qui impliquait un léger piqué avant de faire remonter l'appareil.

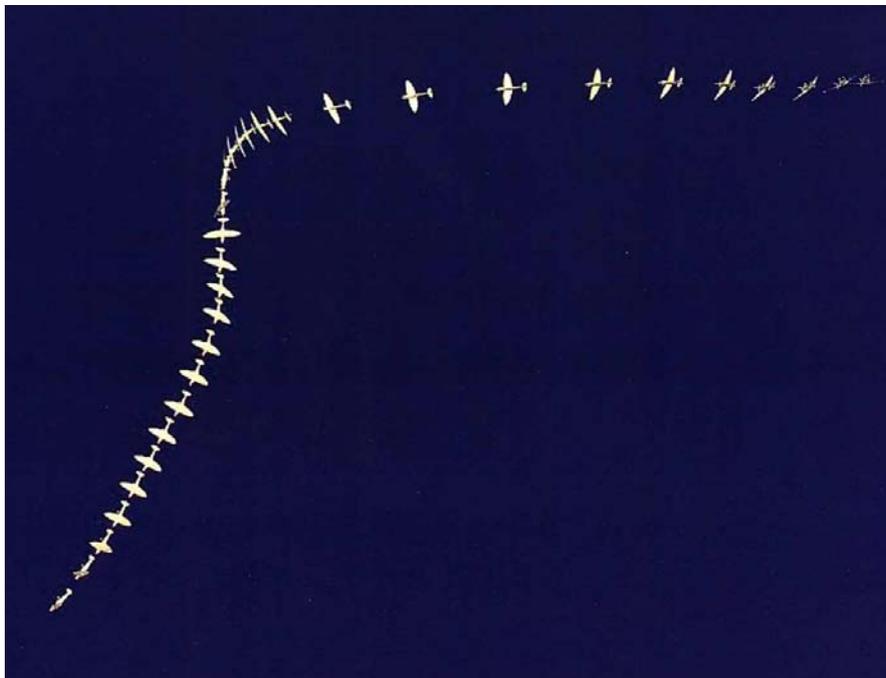
Il effectue un deuxième passage dans l'axe de présentation, cette fois-ci en direction du sud-est. Ensuite, l'appareil se dirige légèrement vers la droite puis tourne à gauche en direction du public, devant lequel il effectue un autre vol horizontal à une hauteur d'environ 200 m et à une vitesse pas très élevée. A l'issue de ce passage, le pilote fait virer légèrement le HB-YIZ vers la droite avant d'entamer un nouveau virage à gauche en direction de l'axe de présentation.

Ce virage à gauche débute avec une faible inclinaison et un grand rayon de virage. Après que le MJ-10 Spitfire ait viré d'environ 30° à gauche, le pilote augmente l'angle de roulis et effectue un virage toujours plus serré. Simultanément on peut observer que l'axe longitudinal de l'avion se déplace d'environ 5° dans le sens contraire des aiguilles d'une montre par rapport à sa trajectoire. Ainsi l'avion dérape vers la droite. A partir de cette position, le HB-YIZ effectue soudainement un rapide mouvement de roulis vers la gauche et commence une rotation dans le sens contraire des aiguilles d'une montre autour de son axe de lacet. Cette combinaison d'un mouvement de roulis et de lacet correspond typiquement à un début de vrille. Il entraîne l'avion dans une sorte de chute en spirale que le pilote peut stopper après environ trois quarts de tour.

L'avion se retrouve alors en piqué quasi vertical à l'ouest-nord/ouest du champ d'aviation avec un cap d'environ 150°. Le pilote commence à rétablir l'appareil et le HB-YIZ vire d'environ 30° à droite sur un cap de 180° (cf. figure 2). Il disparaît dans une vallée s'ouvrant vers le sud et située à l'ouest du champ d'aviation, où il entre en collision avec les arbres d'une forêt.

Le pilote succombe à ses blessures lors de l'impact et l'appareil est détruit.

La forêt ne subit que quelques dégâts mineurs.



**Figure 2:** Trajectoire de vol en trois dimensions, reconstituée à partir de chaque image d'un film du vol de l'accident, dont la méthode de reconstitution est décrite au chap. 1.16.1. Le point d'observation se trouve approximativement au centre du virage à gauche et en direction de l'ouest.

## 1.2 Tués et blessés

Blessures	Membres d'équipage	Passagers	Nombre total de personnes à bord	Autres personnes
Mortelles	1	---	1	---
Graves	---	---	---	---
Légères	---	---	---	---
Aucune	---	---	---	Sans objet
Total	1	---	1	

## 1.3 Dommages à l'aéronef

L'avion a été détruit.

## 1.4 Autres dommages

La forêt ne subit que quelques dégâts mineurs.

## 1.5 Renseignements sur le personnel

### 1.5.1 Pilote

#### 1.5.1.1 Généralités

Personne	Citoyen suisse, né en 1966
Licence	Licence de pilote privé PPL(A) ( <i>privat pilot licence aeroplane</i> ) selon <i>joint aviation requirements</i> (JAR), délivrée le 16.02.1990 par l'Office fédéral de l'aviation civile (OFAC)
Qualifications	Qualification de classe pour avions monomoteurs à piston ( <i>single engine piston - SEP</i> ) valable jusqu'au 29.03.2007 Radiotéléphonie internationale pour vols selon règles de vol à vue RTI (VFR) Vol de nuit NIT
Formation de pilote de démonstration	Au bénéfice d'une attestation confirmant avoir suivi avec succès une formation de „ <i>display pilot</i> “, établie par l'Association pour le maintien du patrimoine aéronautique (AMPA) le 15.08.2003, prolongée le 10.08.2005
Certificat médical	Classe 2, sans restriction Valable jusqu'au 29.03.2007
Dernier examen médical	29.03.2005
Début de la formation aéronautique	1989

1.5.1.2	Expérience de vol	
	Total <sup>2</sup>	834:33 h
	dont sur le type en cause	19:11 h
	Au cours des 90 derniers jours	28:05 h
	dont sur le type en cause	10:19 h
	Comme commandant de bord	775:29 h
	En double commande	59:04 h
<b>1.6</b>	<b>Renseignements sur l'aéronef</b>	
1.6.1	Généralités	
	Immatriculation	HB-YIZ
	Type d'aéronef	MJ-10 Spitfire
	Caractéristiques	Monomoteur à pistons, monoplace, monoplan mixte à aile basse avec train escamotable et roulette de queue
	Constructeur	Avion de construction amateur
	Année de construction	2004
	Numéro de série	MJ-10 Haug
	Propriétaire	Constructeur, privé
	Exploitant	Constructeur, privé
	Moteur	Moteur à pistons de 8 cylindres en V de type SB V8 400C avec refroidissement à eau, construit à l'origine par Chevrolet. Le moteur fournit une puissance nominale de 330 PS à 4500 rpm. Selon le co-constructeur de l'avion, le moteur a été testé pendant 25 heures sur un banc d'essai avant d'être installé sur l'avion.
	Hélice	Hélice tripale à pas variable à commande hydraulique, entraînée par un réducteur et tournant dans le sens contraire des aiguilles d'une montre observé dans la direction de vol, initialement fabriquée par Mühlbauer, modèle MTV-9-E-C/CL240-27X, numéro de série 96021. La puissance transmise autorisée est de 420 CV à 1800 rpm.
	Equipements	Radio VHF Dittel FSG 2 T Transpondeur ATC King KT76 A

<sup>2</sup> Dans le carnet de vol du pilote et dans le carnet de route de l'appareil accidenté, on a trouvé étonnamment beaucoup d'erreurs de calcul qui ont compliqué une reconstitution précise des heures de vol. Les valeurs concernant les heures de vol au cours des 90 derniers jours ont notamment été corrigées à l'aide de recouplements et de nouveaux calculs. Les chiffres indiqués au chap. 1.5.1.2 concernant la totalité des heures de vol ainsi que les heures en tant que commandant et en double commande sont en revanche entachées d'erreurs.

Heures d'exploitation de la cellule	Total depuis la construction: 20:34 h
Heures d'exploitation du moteur	Total depuis l'installation: 20:34 h
Heures d'exploitation de l'hélice	Total depuis l'installation: 20:34 h
Masse maximale au décollage	1150 kg
Masse et centrage	<p>Au moment de l'accident, la masse de l'avion était de 1132 kg.</p> <p>Au moment de l'accident, le centre de gravité se trouvait à 28.4 % de la corde moyenne aérodynamique (<i>mean aerodynamic chord</i> – MAC) par rapport au point de référence. Ainsi, le centre de gravité se trouvait en dehors du domaine compris entre 18 % et 28 % MAC spécifié par le constructeur.</p> <p>Les documents élaborés par le pilote et constructeur de l'avion pour le calcul du centre de gravité présentent une erreur qui conduit à un centre de gravité calculé de 26.2 % MAC (cf. chap. 1.6.3.1).</p>
Entretien	Un contrôle de 100 h annuel est prescrit comme entretien annuel minimal. Un tel contrôle a été attesté dans le carnet de route en date du 28 avril 2005. Il s'agit du seul travail d'entretien documenté.
Qualité du carburant	Essence aviation de type AVGAS 100LL.
Quantité de carburant	Selon des déclarations de témoins oculaires, l'avion a été complètement avitaillé avant de quitter Bex où 120 litres étaient embarqués. Avant de décoller de Dittingen pour le vol de l'accident, le pilote a encore ajouté 44 l. Le constructeur a spécifié une consommation de croisière de 60 l/h. Etant donné que le vol de Bex à Dittingen a duré environ 30 minutes, on peut admettre que le pilote, en ajoutant 44 litres, a refait le plein de l'avion à Dittingen. Ainsi, la quantité de carburant au moment de l'accident était de 100 l, ce qui aurait permis une durée de vol d'environ 1:40 h.
Certificat d'immatriculation	Délivré par l'OFAC le 21.06.2004, valable jusqu'à sa radiation dans le registre matricule des aéronefs.
Certificat de navigabilité	Délivré par l'OFAC le 21.06.2005, valable jusqu'à révocation.
Champ d'utilisation	Catégorie spéciale construction amateur VFR de jour

### 1.6.2 Histoire du MJ-10 Spitfire

Le Supermarine Spitfire a été développé dans les années 30 et a fait son premier vol en mars 1936. Par la suite, plus de 20 000 exemplaires de cet avion réalisés en différentes versions ont été construits. En raison de ses performances, le Spitfire était considéré de manière générale comme l'un des meilleurs avions de chasse de la seconde guerre mondiale.

Une des caractéristiques du Supermarine Spitfire était la forme elliptique de ses ailes. De telles ailes se terminant en fuseau (*tapered wings*) ont l'avantage d'un point de vue aérodynamique de développer une augmentation progressive de la portance depuis l'extrémité vers l'emplanture de l'aile. Ceci résulte en une forte résistance sous charge ainsi qu'une résistance induite relativement faible. A vitesse élevée, le profil de faible épaisseur était avantageux et conférait au Spitfire de bonnes caractéristiques jusqu'à une vitesse de Mach 0.7.

Afin de permettre une manœuvrabilité satisfaisante même avec des angles d'attaque élevés, un vrillage géométrique était utilisé<sup>3</sup>, afin qu'en cas de décollement des filets d'air, celui-ci débute à l'emplanture des ailes alors que l'extrémité de l'aile et les ailerons disposent encore d'un écoulement laminaire.

Pilote de chasse durant la seconde guerre mondiale, le roumain Marcel Jurca s'est établi en France après la guerre où il a travaillé à Paris comme professeur à l'École supérieure des techniques automobiles et constructions aéronautiques. Dans les années 70 du siècle dernier, il a mesuré avec ses étudiants un Spitfire qui était exposé au Musée de l'air du Bourget (F), avant d'en dessiner les plans de construction au 1:1, puis dans une seconde version à l'échelle 1:3/4, modèle qu'il baptisa du nom de MJ-10 Spitfire. Par la suite, il a effectué tous les calculs statistiques nécessaires pour construire cet appareil avec un fuselage en tubes et en bois. Puis, comme précédemment pour d'autres modèles, il a mis en vente ces plans et calculs. Jurca n'a lui-même jamais construit ou volé avec ses Spitfire. Il signalait sur les plans que toute personne qui construisait un Spitfire selon ces plans, créait un prototype et que les performances de vol de l'appareil seraient différentes de celles de l'original.

### 1.6.3 Particularités de la construction du MJ-10 Spitfire

#### 1.6.3.1 Centre de gravité

Il ressort du manuel de vol (*aircraft flight manual – AFM*) du HB-YIZ que le pilote et constructeur a admis un bras de levier 0 pour calculer le centrage du carburant se trouvant dans le réservoir. Dans ce document, cette valeur est motivée par le fait que le constructeur a fixé le centrage approximatif de l'avion comme point zéro pour le bras de levier du carburant. Si l'on considère cette hypothèse dans les calculs, on obtient pour le vol de l'accident un centre de gravité se situant à 26.2 % MAC (*mean aerodynamic chord – MAC*).

Selon les plans de construction de Jurca, le bord d'attaque avant de la quatrième nervure d'aile représente le point zéro pour tous les calculs de centrage. Le cen-

---

<sup>3</sup> Par vrillage géométrique, on entend un vrillage des surfaces portantes. La nervure la plus à l'extérieur de l'aile est tournée par rapport à la nervure la plus proche de l'emplanture de l'aile, de sorte que la corde, c'est-à-dire la droite reliant le bord d'attaque au bord de fuite du profil, présente un angle d'incidence plus petit - par rapport à l'axe longitudinal de l'avion. C'est pourquoi, lorsqu'on augmente l'angle d'attaque, pour autant que le profil reste identique sur toute l'aile, les filets d'air se décolent d'abord vers l'emplanture de l'aile alors que les extrémités de l'aile produisent encore de la portance et que les ailerons installés en bouts d'aile sont encore efficaces.

tre de gravité du réservoir qui se trouvait entre la cloison pare-feu et le tableau de bord était à 0.54 m derrière le bord d'attaque de la quatrième nervure d'aile. Selon la déclaration de conformité du constructeur, le HB-YIZ a été construit selon ces plans et le réservoir se trouvait à l'endroit prévu par Jurca. Dans ce cas, le centre de gravité se trouvait lors du vol de l'accident à 28.4 % MAC. Le domaine de centrage autorisé se situait selon les calculs de Jurca entre 18 % et 28 % de la corde moyenne de l'aile.

#### 1.6.3.2 Choix du profil et vrillage de l'aile

Comme le modèle original, le MJ-10 Spitfire dispose d'une aile de forme elliptique. Afin d'améliorer les propriétés aérodynamiques déjà mentionnées d'une telle aile avec des angles d'attaque élevés, on utilise selon les plans de construction un profil d'aile NACA<sup>4</sup> 23009<sup>5</sup> sur la partie extérieure de la surface portante et un profil NACA 23015 vers son emplanture, impliquant cependant que le passage d'un profil à l'autre se fasse progressivement.

Si l'on compare les polaires des deux profils d'aile<sup>6</sup>, on constate que, pour le profil NACA 23009, le décollement des filets d'air intervient avec un angle d'attaque d'environ 3° inférieur que pour le profil NACA 23015.

Des opinions très controversées règnent dans les milieux spécialisés quant à l'utilisation de ces deux profils d'aile, même s'ils sont utilisés, comme d'autres profils de la même famille, sur différents types d'aéronefs de l'aviation générale. Il est important de relever que cette famille de profils est sujette à un décollement abrupt des filets d'air en cas de dépassement de l'angle d'attaque critique et de ce fait conduit à un comportement en vol exigent lors de grands angles d'attaque.

Par ailleurs, selon le plan de construction, la partie extérieure de l'aile s'achevant en fuseau est vrillée de -2° par rapport à la partie intérieure, ce qui signifie que la ligne de corde de la partie extérieure de l'aile présente un angle d'incidence inférieur de 2° par rapport à la ligne de corde de la partie intérieure.

#### 1.6.4 Construction et essais de l'avion HB-YIZ

Le projet a été annoncé pour la première fois en 1979 à ce qui était alors l'Office fédéral de l'air. La construction de la structure du fuselage et des ailes s'est déroulée jusqu'en 1982. Dix ans plus tard, le pilote faisait l'acquisition de l'avion partiellement construit et le faisait expertiser par l'Office fédéral de l'aviation civile et par Jurca. Après acquisition d'un moteur adéquat, le projet a été annoncé à l'association qui a précédé l'actuelle Association suisse des constructeurs

---

<sup>4</sup> NACA - *national advisory committee for aeronautics*: organisation ayant précédé la *national aeronautics and space administration* (NASA) et qui, entre 1915 et 1958, s'est occupée de recherche fondamentale ayant trait à l'aéronautique.

<sup>5</sup> Les chiffres des profils NACA fournissent les indications suivantes: le premier chiffre représente une mesure pour la cambrure du profil en relation avec le coefficient de portance optimal, impliquant cependant que le premier chiffre doit être multiplié par 3/20 pour obtenir ce dernier. Les 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> chiffres donnent la position de la cambrure maximale par pas de 0.5 % de la longueur de la corde, mesurée à partir du nez du profil. Les 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> chiffres donnent l'épaisseur maximale du profil en pourcentage de la corde. Le profil NACA 23009 présente donc un profil dont le coefficient de portance optimal est de 0.3, la cambrure maximale de trouvant à 15 % de la longueur de corde et dont l'épaisseur du profil est de 9 % de ladite longueur.

<sup>6</sup> En considérant la corde de l'aile respective et une vitesse de 250 km/h, on obtient, pour une altitude de 2000 ft QNH, à des nombres de Reynolds d'environ  $4.5 \cdot 10^6$  pour la partie extérieure de l'aile et d'environ  $8.3 \cdot 10^6$  pour la partie intérieure de l'aile.

d'avions amateur (*experimental aviation of Switzerland - EAS*) et qui s'est ensuite occupée de son suivi.

Le 14 juillet 2004, le constructeur a obtenu de l'OFAC un certificat de navigabilité provisoire qui l'autorisait à effectuer des vols conformément au programme d'essais en vol de l'EAS.

Le 19 juillet 2004, le HB-YIZ s'est envolé pour la première fois de l'aérodrome de Sion piloté par le conseiller en construction, qui était également chargé des essais en vol pour l'EAS. Celui-ci a effectué les quatre premiers vols, puis a convoyé l'appareil sur le champ d'aviation de Bex à l'issue du quatrième vol. Lors de ces quatre vols, il est apparu que le refroidissement du moteur n'était pas optimal, ce qui a conduit, selon des informations fournies par des personnes ayant participé à la construction, à adapter les arrivées d'air de refroidissement des radiateurs d'huile et d'eau. Ces adaptations n'apparaissent pas dans la documentation. Par ailleurs, le conseiller en construction chargé des essais a constaté lors des virages que la commande de profondeur était très sensible, c'est-à-dire que de très faibles pressions sur la commande de profondeur se faisaient sentir. Dans le carnet de vol, on trouve la remarque suivante: „*profondeur très sensible en virage*“. Cependant, aucune adaptation n'a été effectuée à ce niveau sur l'avion.

A la fin du mois d'octobre 2004, le conseiller en construction et en vols d'essai a instruit le constructeur sur son avion qui, dès ce moment-là, a été le seul à piloter cet aéronef. Jusqu'à fin novembre 2004, il a totalisé 4:58 h de vol et 15 atterrissages avec le HB-YIZ. A l'occasion d'un des derniers vols de 2004, l'indicateur „*chip detector*“ a signalé que des copeaux métalliques se trouvaient dans le réducteur entre le moteur et l'hélice. Selon le carnet de route, l'huile de l'engrenage a été changée. Peu de temps après, on a remplacé les engrenages du réducteur et les vols d'essai ont repris à la fin du mois d'avril 2005.

Il apparaît que pour les vols 1 à 4, les protocoles de vol officiels de l'EAS ont été dûment remplis par le conseiller en construction et en vols d'essai. Quant aux autres vols d'essai 5 à 34, seules les données mesurées et calculées ont été documentées. Des informations relatives à l'objectif du vol d'essai, aux heures de décollage et d'atterrissage, au déroulement du vol, aux éventuelles pannes et leur réparation font défaut pour ces vols.

Concernant le vol de l'accident, ce sont essentiellement les essais menés pour évaluer le comportement du HB-YIZ en vol lent et en décrochage qui sont importants. Selon les documents du constructeur et du pilote, le comportement lors du décollage des filets d'air du MJ-10 Spitfire immatriculé HB-YIZ a été testé le 9 mai 2005 lors d'un vol de 30 minutes. Le pilote a alors effectué quatre phases d'essai au cours desquelles le moteur tournait au ralenti. Il s'agissait de contrôler la vitesse de décrochage ainsi que le comportement de l'appareil durant le vol en ligne droite dans les configurations suivantes:

- Train d'atterrissage et volets rentrés
- Train d'atterrissage sorti, volets rentrés
- Train d'atterrissage sorti, volets sortis en position 1,
- Train d'atterrissage sorti, volets complètement sortis en position 2.

Durant le même vol, la vitesse de décrochage ainsi que le comportement du HB-YIZ ont été testés alors que le moteur fournissait 75 % de sa puissance, une seule fois en vol rectiligne pour chacune des 4 configurations susmentionnées. En outre, la vitesse de décrochage et le comportement de l'appareil dans un vi-

rage avec un angle de roulis de 30°, le train d'atterrissage et les volets rentrés, a également été défini avec cette puissance.

Aucun indice ne permet d'établir que des vols d'essai ont été effectués à bord de l'appareil HB-YIZ avec une accélération normale plus élevée ou que le comportement de l'appareil lors du décrochage avec une accélération plus importante (*high speed stall*) a été vérifié.

A la demande de l'Association suisse des constructeurs d'avions amateur (*experimental aviation of Switzerland - EAS*), après avoir effectué 34 vols et totalisé 14:53 h de vol, le constructeur a obtenu le 21 juin 2005 le certificat définitif de navigabilité de l'Office fédéral de l'aviation civile (OFAC). L'appareil a été admis à la circulation avec les valeurs limites de la catégorie „utilitaire“ (*utility*), ce qui signifie qu'il pouvait être exposé à des accélérations normales comprises entre +4.4 g et -2.0 g. La catégorie "utility" permet de réaliser des figures simples et des virages avec un angle pouvant atteindre 90° d'inclinaison, ainsi que des vrilles intentionnelles. L'aéronef HB-YIZ n'était toutefois pas prévu pour des vrilles intentionnelles, cette restriction étant mentionnée dans le manuel de l'aéronef ainsi que sur une plaquette dans le cockpit portant la mention „no-spin“ – pas de vrille.

L'appareil a été présenté pour la première fois au début du mois de juillet 2005 lors d'une manifestation aérienne.

## 1.7 Conditions météorologiques

### 1.7.1 Généralités

Les informations des chap. 1.7.2 à 1.7.4 ont été fournies par MétéoSuisse.

### 1.7.2 Situation météorologique générale

*Die Schweiz lag in einer Tiefdruckrinne, welche vom Mittelmeer bis nach Skandinavien reichte. Südöstliche Höhenwinde führten Mittelmeerluft um das Genuatief herum in den Schweizer Alpenraum (...).*

Traduction:

La Suisse se trouvait dans une dépression qui s'étendait de la mer Méditerranée jusqu'en Scandinavie. Des vents d'altitude du sud-est amenaient un courant d'air méditerranéen vers l'arc alpin suisse en contournant la dépression du golfe de Gênes. (...).

Fin de traduction.

### 1.7.3 Conditions météorologiques locales au moment de l'accident

Les indications suivantes concernant les conditions météorologiques locales au moment de l'accident se basent sur une interpolation spatiale et temporelle des observations faites dans plusieurs stations météorologiques.

Wolken	1-2/8 Basis auf 3000 ft AMSL 3-5/8 auf 4000 ft AMSL 6-7/8 auf 10 000 ft AMSL
Wetter	Leichte Regenschauer
Sicht	Über 10 km
Wind	Nordwest mit 2 bis 4 Knoten, Spitzen um 10 Knoten

Température/Taupunkt	16 °C/14 °C
Luftdruck	QNH LFSB [Basel] 1018 hPa QNH LSZH [Zürich] 1018 hPa QNH LSZA [Lugano] 1013 hPa
Gefahren	Sichtreduktion in Niederschlägen
Traduction:	
Nébulosité	1-2/8, base à 3000 ft AMSL 3-5/8 à 4000 ft AMSL 6-7/8 à 10 000 ft AMSL
Conditions météorologiques	Faibles averses de pluie
Visibilité	Supérieure à 10 km
Vent	Du nord-ouest, vitesse comprise entre 2 et 4 nœuds, pointes à 10 nœuds
Température/point de rosée:	16 °C / 14 °C
Pression atmosphérique	QNH LFSB [Bâle] 1018 hPa QNH LSZH [Zurich] 1018 hPa QNH LSZA [Lugano] 1013 hPa
Dangers	Visibilité réduite dans les précipitations
Fin de traduction.	

#### 1.7.4 Données astronomiques

Position du soleil	Azimut: 223°	Élévation: 48°
Luminosité	Jour	

#### 1.7.5 Conditions météorologiques selon les déclarations de témoins oculaires

Selon des témoins oculaires, il n'y a eu aucune précipitation pendant le vol de l'accident, tant au-dessus du champ d'aviation de Dittingen que dans le périmètre dans lequel l'aéronef a évolué.

### 1.8 Aides à la navigation

Sans objet.

### 1.9 Télécommunications

Le champ d'aviation de Dittingen dispose d'une fréquence sur laquelle les équipages peuvent communiquer leurs intentions et recevoir des informations pour les arrivées et les départs. Pour le déroulement du meeting, un contrôleur aérien qualifié, chargé de coordonner les opérations de vol sur cette fréquence, se trouvait sur les lieux. Les communications radio entre le pilote du HB-YIZ et le service de coordination se déroulaient normalement et sans difficultés jusqu'au moment de l'accident. Ces conversations n'ont pas été enregistrées.

## 1.10 Renseignements sur l'aérodrome

Le champ d'aviation de Dittingen est un champ d'aviation privé essentiellement utilisé pour les activités vélivoles. Il est situé à 15 km à l'ouest-sud/ouest de Bâle sur une colline du Jura.

La piste orientée 11/29 commence juste après une crête et remonte la pente, présentant une différence d'altitude d'environ 21 m. La partie supérieure de la piste est en outre entourée d'une forêt dont la hauteur d'arbre peut atteindre 27 m.

Compte tenu de cette situation topographique, les décollages ont lieu inévitablement en descendant la piste 11 et les atterrissages sont exclusivement exécutés en montant la piste 29. Une distance maximale de 680 m est utilisable, tant pour les décollages que pour les atterrissages.

Le champ d'aviation est en principe fermé aux aéronefs de l'extérieur. Dans l'annexe du règlement d'exploitation sont décrites entre autres les conditions dans lesquelles les pilotes venant de l'extérieur sont autorisés à utiliser le champ d'aviation. On exige notamment d'eux qu'ils se familiarisent au préalable avec le champ d'aviation.

## 1.11 Enregistreurs de bord

Ni prescrits, ni installés.

## 1.12 Renseignements sur l'épave, l'impact et le lieu de l'accident

### 1.12.1 Epave

De façon détaillée, les constatations suivantes ont été effectuées sur l'épave:

- Le moyeu de l'hélice et le support des pales de l'hélice étaient clairement déformés dans le sens de rotation ou cassés. Ces déformations et ces ruptures montrent qu'un couple important était transmis aux pales de l'hélice au moment du premier contact avec les obstacles.
- Sur les lieux de l'accident, le bloc de commande de puissance a été trouvé comme suit: mélange (levier rouge) et réglage de l'hélice (levier bleu) en butée vers l'avant. Levier de puissance légèrement tiré.
- Le système de ceinture de sécurité a été retrouvé fermé. Les ceintures étaient intactes et le système de fermeture fonctionnait encore. Les ceintures et leurs fixations ont été arrachées des panneaux en bois qui ont absorbé les forces.
- Les interrupteurs des deux systèmes d'allumage étaient en position "ON".
- Les deux batteries étaient enclenchées ("ON").
- Tous les disjoncteurs étaient rentrés ce qui correspond à la position d'un circuit électrique fermé.
- Le variomètre (*vertical speed indicator* – VSI) présentait des traces d'empreintes de l'aiguille qui permettent de conclure qu'au moment de la collision avec les obstacles, la vitesse ascensionnelle indiquée était de 550 ft/min.
- Les traces dans le gyroscope directionnel (*directional gyro indicator*) permettent de conclure que l'instrument indiquait un cap compris entre 040 et 050 degrés au moment de la collision avec les obstacles.

- L'horizon artificiel (*attitude indicator*) indiquait un angle de roulis d'environ 23° vers la droite et une assiette cabrée d'environ 55° (*attitude nose up – ANU*) au moment où l'avion est entré en collision avec les obstacles.
- Sur l'indicateur de pression d'huile (*oil pressure indicator*), la pointe de l'aiguille a laissé une marque entre 70 et 90 PSI, ce qui signifie que pendant la collision avec les obstacles, l'instrument indiquait une pression d'huile de 70 à 90 PSI.
- Toutes les surfaces qui servent à générer de la portance et à contrôler l'aéronef étaient endommagées mais leur structure de base était encore existante.
- Le train d'atterrissage se trouvait en position rentrée. Le levier du train d'atterrissage était bloqué en position "down". Ce levier était relié à la soupape de commande du système hydraulique du train d'atterrissage par un câble Bowden. La position du levier du train d'atterrissage "down" s'explique par le fait que durant la désagrégation de l'aéronef une force de traction s'est exercée sur ce câble.
- Le levier des volets d'atterrissage se trouvait en position "up". Les traces sur les volets d'atterrissage indiquent que ceux-ci étaient rentrés au moment de l'accident.
- Tous les points de rupture au niveau des collages entre les différents panneaux de bois montraient que des fibres de bois avaient été arrachées. Ce n'est donc pas la colle mais le bois en contact avec la colle qui s'est rompu.
- Toutes les surfaces de rupture sur les tiges de commande et les renvois présentaient des signes caractéristiques de rupture par surcharges ductiles. Aucune trace de corrosion n'a été constatée.

### 1.12.2 Impact

Au cours d'une manœuvre de rétablissement, l'aéronef est entré en collision avec la cime des arbres d'une forêt. Après ce premier impact, l'appareil s'est brisé et les morceaux de l'épave se sont éparpillés dans la forêt sur une surface d'environ 150 m de long et 50 m de large. Les traces sur les arbres et au sol ainsi que le périmètre recouvert par les débris permettent de conclure que la pente de la trajectoire par rapport à l'horizontale était faible.

### 1.12.3 Lieu de l'accident

Lieu de l'accident	Rifenacker, commune de Röschenz/BL
Coordonnées suisses	603 200 / 254 350
Latitude	N 007° 28' 51"
Longitude	E 047° 26' 23"
Altitude	485 m/M 1591 ft AMSL
Situation	Forêt très en pente au nord-ouest du champ d'aviation de Dittingen
Carte topographique de la Suisse	Feuille no 1067 "Arlesheim", échelle 1:25 000

### 1.13 Renseignements médicaux et pathologiques

Le corps du pilote a été autopsié. Les examens n'ont pas permis de conclure à des troubles de la santé qui auraient pu influencer sur le déroulement de l'accident. Les examens chimique et toxicologique n'ont révélé aucune trace d'alcool ou de psychotropes. En revanche des traces de Fluoxetin, un antidépresseur, ont été trouvées dans le sang.

Après l'accident, il a été signalé que le pilote prenait régulièrement cet antidépresseur en raison d'un surmenage psychique. Lors du dernier examen médical aéronautique, il ne l'a pas annoncé à son médecin-conseil. Conformément aux prescriptions médicales aéronautiques en vigueur, la prise de substances psychotropes telles que le Fluoxetin n'est pas autorisée pendant le service de vol.

La présence d'une concentration de 155 µg/l de ce médicament a été détectée dans le sang périphérique du pilote accidenté. Cela correspond à un taux sanguin thérapeutique faible et indique une absorption régulière et conforme de ce médicament. Selon le Compendium Suisse des Médicaments, des complications psychiques et physiques peuvent théoriquement apparaître en prenant du Fluoxetin. Le fabricant précise que, selon les examens menés jusqu'ici, le Fluoxetin ne devrait pas causer des troubles lors du maniement de machines ou lors de la conduite d'un véhicule. Le rapport médico-légal parvient à ce sujet à la conclusion suivante: „*Unseres Erachtens hat die Einnahme des Medikaments keinen relevanten Einfluss auf den Flugzeugabsturz und den Tod von Herrn [Name des Piloten] gehabt.*“ soit: A notre avis l'absorption de ce médicament n'a pas eu d'influence sur le crash de l'avion et le décès de Monsieur [nom du pilote].

### 1.14 Incendie

Aucun incendie ne s'est déclaré lors de l'accident.

### 1.15 Questions relatives à la survie des occupants

#### 1.15.1 Généralités

L'aéronef s'est crashé à une vitesse élevée dans une forêt, au cours d'une manœuvre de rétablissement. Une collision se produisant dans une telle configuration engendre des forces dynamiques auxquels il n'est pas possible de survivre.

#### 1.15.2 Emetteur de secours

L'appareil n'était pas équipé d'un émetteur de secours (*emergency location beacon aircraft – ELBA*).

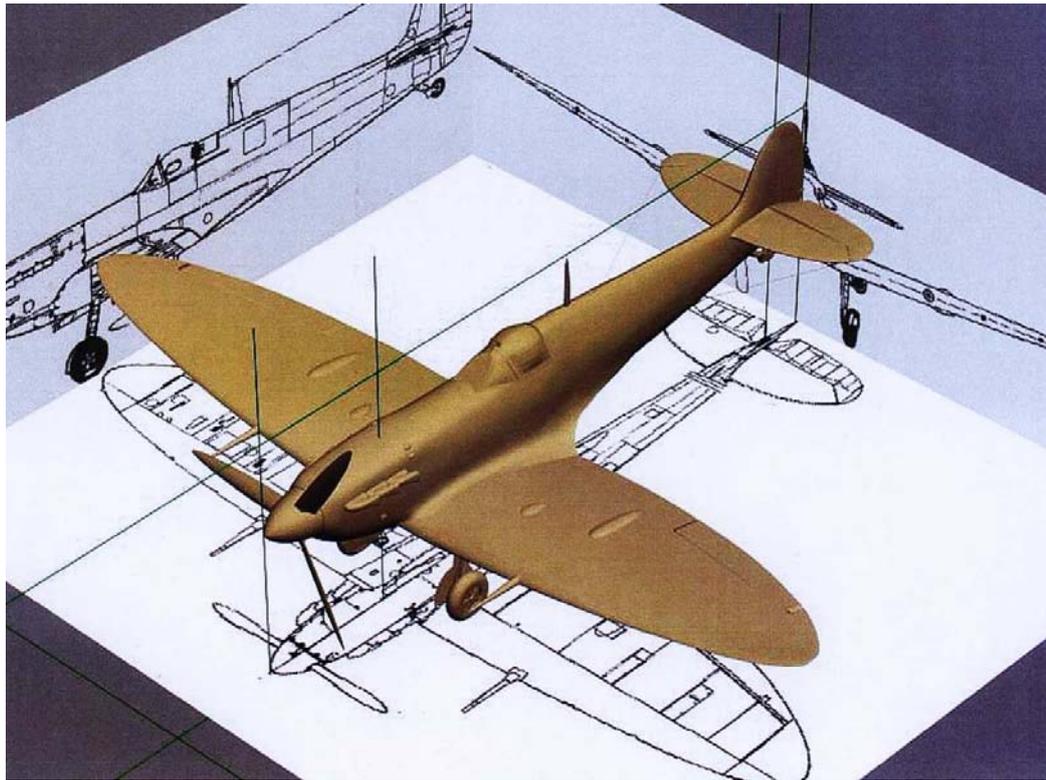
#### 1.15.3 Recherche et sauvetage

L'accident s'est produit à proximité d'un aérodrome où plusieurs personnes ont pu observer la phase initiale. Ceci a permis une intervention immédiate des secouristes qui n'ont toutefois pu que constater le décès du pilote.

### 1.16 Essais et recherches

#### 1.16.1 Evaluation des films

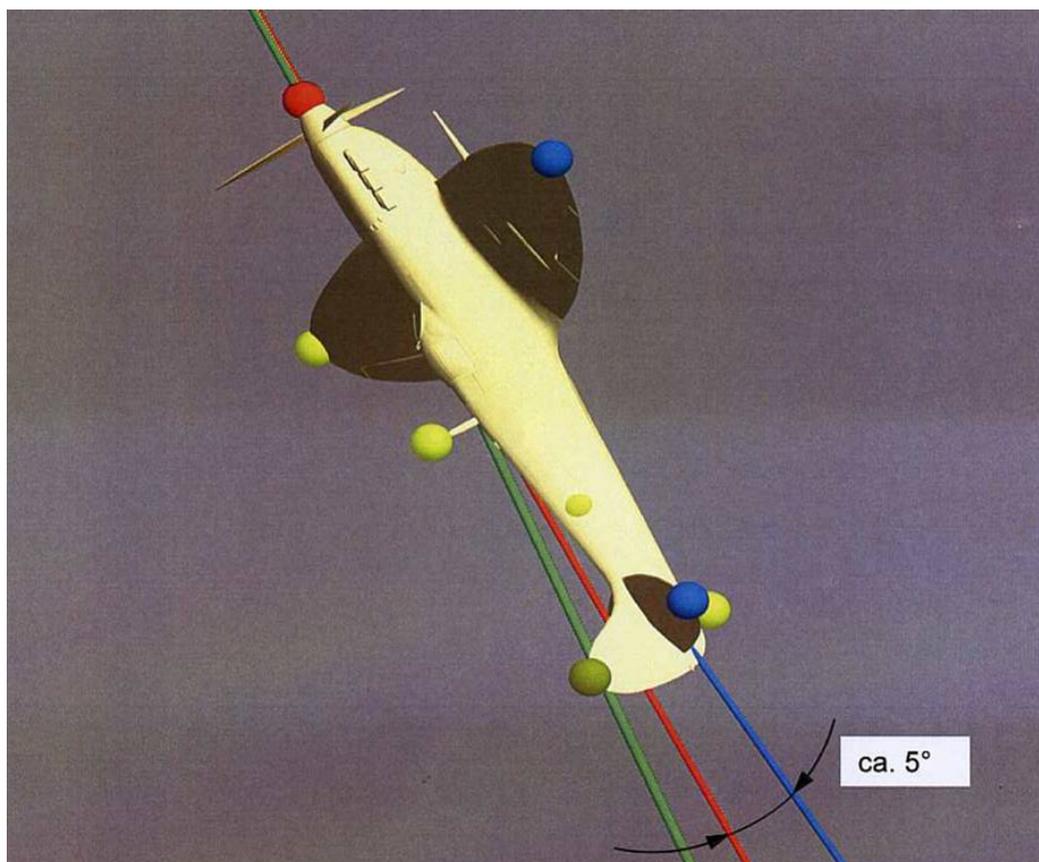
Les films tournés par différents témoins oculaires ont été utilisés pour reconstituer la trajectoire du HB-YIZ lors des 15 dernières secondes qui ont précédé la collision avec le terrain. Dans ce but, des images ont été extraites des séquences filmées les plus importantes et un modèle en trois dimensions a été réalisé à l'échelle à l'aide des dessins de construction (cf. figure 3).



**Figure 3:** Modèle en trois dimensions de l'appareil accidenté.

Afin de déterminer techniquement le déroulement de l'évènement, les différentes prises de vue ont été ajustées de façon à permettre la superposition du modèle à l'échelle avec la série d'images documentant la situation. Compte tenu de l'emplacement de la caméra, des dimensions de l'avion et du mouvement de ce dernier par rapport à des objets pouvant servir de référence, il a été possible de reconstituer la phase finale du vol du HB-YIZ:

- Juste après avoir entamé le virage à gauche, on peut estimer la hauteur de vol à environ 200 m et la vitesse à environ 130 kt, soit 241 km/h.
- La projection de la trajectoire sur le plan horizontal montre un virage à gauche dont le rayon se réduit progressivement.
- Dans la phase de vol juste avant le décrochage, c'est-à-dire avant l'augmentation continue de l'angle de roulis et la diminution de l'assiette de vol, le HB-YIZ présentait une inclinaison vers la gauche comprise entre  $67^\circ$  et  $73^\circ$ . Au cours de cette phase, l'axe longitudinal du Spitfire se trouvait décalé d'environ  $5^\circ$  dans le sens inverse des aiguilles d'une montre par rapport à la trajectoire effective, c'est-à-dire que le HB-YIZ dérapait vers la droite (cf. figure 4).
- Au cours de la phase où il se trouvait juste au-dessus de la cime des arbres visible depuis l'emplacement de la caméra, l'appareil avait atteint une vitesse comprise entre 254 km/h et 261 km/h.



**Figure 4:** Phase de vol précédant le mouvement de lacet et de roulis: l'axe longitudinal (bleu) du HB-YIZ est tourné d'environ 5° autour de l'axe de lacet de l'appareil par rapport à la trajectoire (rouge). Les billes de couleur sur le modèle servent de points de référence afin d'ajuster le modèle avec les séquences filmées. La trajectoire et le modèle sont observés du dessus.

## 1.17 Renseignements sur les organismes et la gestion

### 1.17.1 Autorité de surveillance

#### 1.17.1.1 Généralités

Comme dans la plupart des Etats, les lois et ordonnances relatives à l'aviation civile se fondent en Suisse également sur les recommandations de l'Organisation de l'aviation civile internationale (*international civil aviation organization – OACI*) ainsi que sur les directives internationales telles que par exemple les *joint aviation requirements* (JAR).

Conformément à la loi sur l'aviation, le Conseil fédéral exerce la surveillance de l'aviation sur tout le territoire de la Confédération. La surveillance directe de l'aviation civile ainsi que de la certification des aéronefs civils incombe à l'Office fédéral de l'aviation civile (OFAC), qui est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

#### 1.17.1.2 Aéronefs de la catégorie spéciale construction amateur

Les aéronefs de la catégorie spéciale construction amateur, appelés également avions expérimentaux et qui sont fabriqués en Suisse et au Liechtenstein par le ou les constructeurs amateur, n'ont pas de certification de type. Le constructeur d'un tel aéronef a prouvé qu'il a accompli personnellement au moins 51 % des travaux de construction, soit de fabrication et/ou d'assemblage des éléments. Le constructeur doit également attester que le matériel utilisé et l'exécution des tra-

vaux correspondent aux documents de construction. Tout écart par rapport aux documents de construction doit être documenté et justifié.

#### 1.17.1.3 Exigences de navigabilité pour les aéronefs de la catégorie spéciale construction amateur

Les exigences de navigabilité pour les aéronefs de la catégorie spéciale construction amateur sont fixées dans une convention passée entre l'OFAC et l'association EAS (*Experimental aviation of Switzerland*). Pour le type concerné, il s'agissait d'appliquer les exigences conformément aux FAR<sup>7</sup>/JAR *part 23* ou JAR-VLA<sup>8</sup>.

En outre, pour des moteurs non certifiés, il convient d'appliquer un programme d'essai conformément aux *JAR 22 subpart H* qui exige un test d'endurance de 50 heures d'exploitation avec un modèle comparable d'hélice. La moitié de ce programme, soit 25 heures, peut être effectuée sous la forme d'essais en vol à proximité de l'aérodrome. A l'issue du test d'endurance, le moteur doit être démonté et examiné.

Conformément à la convention passée entre l'OFAC et l'EAS, l'essai en vol doit s'inspirer de la circulaire *advisory circular (AC) 23-8A flight test guide* des autorités de la *Federal Aviation Administration (FAA)*. Toutefois, cette AC est caduque depuis le 14 août 2003. Elle a été remplacée depuis cette date par l'AC 23-8B *flight test guide for certification of part 23 airplanes*.

Comme l'OFAC l'a expliqué à l'EAS, les exigences mentionnées dans la convention sont considérées uniquement comme des recommandations, ce qui signifie „*dass die Anforderungen in einem vereinfachten Nachweisverfahren und in reduziertem Umfang erbracht werden können*“, traduction: ... que les exigences doivent pouvoir être reportées dans une procédure de preuve simplifiée et résumée. Ni l'OFAC ni l'EAS n'ont été en mesure d'expliquer de manière concrète comment cette procédure de preuve a été définie. De même, ni l'OFAC ni l'EAS n'ont été en mesure de présenter des conventions, passées entre le service responsable de la certification et le constructeur du HB-YIZ, qui aurait clarifié l'application des directives pour le cas concerné.

L'Office fédéral de l'aviation civile a reconnu cette lacune. Dans le futur, il ne va établir le certificat de navigabilité définitif pour des aéronefs de la catégorie spéciale construction amateur qu'après avoir obtenu la preuve des heures de vol qui auront été définies en fonction du degré de certification du moteur, respectivement de l'hélice (cf. chap. 4.2.1). De même, des clarifications seront exigées à l'avenir dans le cadre des essais en vol d'aéronef de construction amateur (cf. chap. 4.2.2).

#### 1.17.1.4 Exigences de navigabilité pour les aéronefs selon FAR part 23

Etant donné que l'avion accidenté a été immatriculé selon les limites de la catégorie Utilitaire - *utility*, les exigences de navigabilité des FAR *part 23* applicables à cette catégorie sont particulièrement importantes. Eu égard au déroulement de l'accident, les directives relatives aux essais en vol concernant le comportement de l'avion en cas de décrochage et de vrilles revêtent un intérêt particulier. C'est ainsi p. ex. que la réglementation FAR 23.221 exige la preuve qu'il est possible

---

<sup>7</sup> FAR – *Federal Aviation Regulations*: règles et directives de l'autorité de surveillance américaine *Federal Aviation Administration (FAA)*.

<sup>8</sup> JAR-VLA - *Joint Aviation Requirements - very light aircraft*: prescriptions de construction pour des aéronefs légers se référant aux exigences aéronautiques supranationales européennes.

de rétablir l'avion si celui-ci s'est engagé involontairement en vrille. Cette preuve doit être fournie même si l'avion ne sera finalement pas certifié pour des vrilles intentionnelles. La FAA a dans ce but édicté un guide pour les essais en vol. Cette AC 23-8B *flight test guide for certification of part 23 airplanes* décrit en détail de quelle manière il convient de clarifier le comportement en vrille d'un avion de catégorie *utility*. Dans la même optique, l'AC 23-8B prévoit également de longs essais concernant le comportement en cas de décrochage en vol de virage alors que l'accélération augmente (*turning flight and accelerated turning stalls*).

De tels essais n'étaient exigés ni pas l'EAS ni pas l'OFAC pour la certification d'aéronefs de la catégorie spéciale construction amateur. Cette lacune a été identifiée comme leçon à tirer de cet accident, de sorte que dans le futur, des preuves correspondantes seront exigées pour la certification (cf. chap. 4.2.2).

#### 1.17.1.5 Certification d'aéronefs de la catégorie spéciale construction amateur

L'Office fédéral de l'aviation civile (OFAC) a chargé l'association *Experimental aviation of Switzerland* (EAS) du suivi de la construction, du contrôle des travaux et de l'examen des exigences de navigabilité des aéronefs amateur. L'OFAC assure toutefois la surveillance de l'association.

L'OFAC examine l'organisation de contrôle d'EAS qu'il soumet à des audits périodiques.

En résumé, les tâches de surveillance suivantes, c'est-à-dire les activités de contrôle et de certification, ont été confiées à EAS:

- Définition d'un programme d'exigences et plus particulièrement le contrôle de la construction tant pour la structure que pour les systèmes en s'inspirant des prescriptions de construction FAR/JAR, des charges supposées, des preuves de résistance mécanique, de la réalisation d'essais de charge sur les composants et les structures, des tests de systèmes, etc.
- Coordination des projets avec l'OFAC.
- Mise en œuvre de mesures (consignes de modifications) lorsque la navigabilité, en exploitation ou après certification, est compromise ou n'est plus garantie.
- Collecte et archivage des documents de preuve.
- Qualification des modifications mineures, respectivement majeures.
- Vérification de l'intégralité des documents de preuve.
- Contrôle et approbation<sup>9</sup> des résultats des essais de charge de la structure ainsi que des essais en vol, du manuel de vol de l'aéronef (*aircraft flight manual – AFM*), du programme d'entretien ainsi que des modifications importantes.

#### 1.17.1.6 Procédure de certification des aéronefs de construction amateur

Avant le début de la construction, le constructeur est tenu de remettre une demande comprenant des indications détaillées sur le projet, accompagnée des plans et des instructions de construction. Après remise de tous les documents nécessaires, l'EAS approuve le projet.

---

<sup>9</sup> Par approbation au sens de cette directive, on entend la confirmation, d'une part que les différentes étapes de la procédure de certification effectuée par l'EAS ont été respectées et de l'autre qu'il a été possible de prouver que les différentes exigences matérielles étaient remplies. D'un point de vue juridique, l'ensemble du projet n'est attesté qu'à la délivrance du certificat de navigabilité par l'OFAC (décision de certification).

Lorsque l'aéronef est terminé, un contrôle technique et administratif est assuré par l'EAS. De plus, l'OFAC effectue systématiquement un contrôle final. Cet examen peut être délégué à un expert. Après avoir corrigé les éventuels défauts, les documents nécessaires sont transmis à l'OFAC qui, après les avoir approuvés, inscrit l'aéronef dans le registre matricule suisse des aéronefs et établit un certificat provisoire de navigabilité pour l'exécution des vols d'essai.

Une fois les vols d'essai effectués, les documents examinés par l'EAS ainsi qu'une confirmation sont remis à l'OFAC. Après approbation des documents et accomplissement des exigences en matière d'émissions, l'OFAC établit un certificat de navigabilité définitif de la catégorie spéciale construction amateur.

## 1.17.2 Association suisse des constructeurs d'avions amateur

### 1.17.2.1 Généralités

Portant au moment de sa création le nom de *réseau du sport de l'air Suisse* (RSA), l'Association suisse des constructeurs d'avions amateur a été renommée *experimental aviation of Switzerland* (EAS) en 2001. L'objectif de cette association est de réunir les constructeurs d'avions amateur suisses au niveau national, de les représenter dans toutes les institutions publiques ou privées, de réaliser les enquêtes ou interventions par rapport aux directives en vigueur, de livrer les bases nécessaires et de réunir toute sorte d'informations utiles. En outre, l'association a pour but de promouvoir la pratique de l'aviation dans son ensemble et de l'aviation amateur en particulier avec tous les moyens légaux possibles. L'EAS dirige et organise dans ses rangs une commission technique qui est ouverte aux personnes qui s'intéressent directement ou indirectement à la construction d'aéronefs ainsi qu'à l'aéronautique amateur en général.

### 1.17.2.2 Activités des différents organes de l'association

Pour l'accident concerné, les organes de l'association ci-dessous ainsi que leurs activités revêtent une certaine importance:

- La commission technique de l'EAS est un organe de surveillance et de conseil. Elle comprend divers groupes techniques dont les responsables sont nommés par la direction de l'EAS.
- Le conseiller en construction prodigue, sur la base de sa propre expérience, ses conseils au constructeur lors de la réalisation du projet. Il surveille les travaux de construction, les essais de charge et en cas de besoin la pesée et la mesure de la puissance. Le conseiller en construction examine et évalue l'exécution de la construction avant l'obturation des éléments de la structure. Il assure le suivi et surveille le projet jusqu'au contrôle final de l'EAS.
- Le contrôleur effectue le contrôle final interne de l'EAS conformément aux instructions du chef des conseillers en construction. Le contrôleur ne peut pas être également le conseiller en construction sur le même projet.
- Le conseiller en vols d'essai conseille le constructeur, sur la base de sa propre expérience, lors de la préparation et de l'exécution des vols d'essai. Il surveille les vols d'essai selon les instructions du chef des conseillers en vols d'essai.
- Le pilote chargé des essais est en règle générale le constructeur. Selon la recommandation du conseiller en vols d'essai ou la directive du chef des conseillers en vols d'essai, cette activité peut être confiée à un autre pilote d'essai compétent.

### 1.17.2.3 Groupe technique Engineering

Un groupe technique *engineering* subordonné à la commission technique de l'EAS est chargé d'examiner l'aéronef sur la base des exigences applicables en matière de navigabilité. Celle-ci contrôle en outre l'intégralité et l'exactitude des documents de preuve mis à disposition par le constructeur, ainsi que les preuves nécessaires relatives aux modifications ou aux écarts de construction. L'évaluation se compose des secteurs structure et systèmes. Si l'ingénieur de l'EAS est chargé par le constructeur d'élaborer des calculs, ce mandat sera convenu directement entre le constructeur et l'ingénieur. De tels calculs doivent ensuite être examinés par un ingénieur indépendant du projet. Le chef du groupe technique *engineering* a la compétence de coordonner et déléguer diverses tâches et est responsable de la compétence technique des collaborateurs du groupe.

### 1.17.2.4 Service de certification

Le service de certification, en tant que service indépendant de la commission technique, dépend directement du président de l'EAS et représente, pour ce qui concerne la certification, le lien direct avec l'OFAC. Afin de remplir sa tâche, il a recours aux ressources de la commission technique. Le service de certification est tenu d'assumer les tâches suivantes:

- Décision quant à l'acceptation des projets et les clarifications nécessaires.
- Décisions relatives aux nouvelles inscriptions, demandes de réparation et de modification.
- Définition des exigences concernant le processus de fabrication et de contrôle.
- Examen des documents déjà vérifiés par l'ingénieur de l'EAS quant à leur intégralité et exactitude et vérification quant à la réalisation des exigences applicables et à l'absence de défaillances susceptibles de nuire à la sécurité.
- Etablissement après examen réussi d'une attestation de conformité de design à l'intention de l'OFAC.
- Demande à l'OFAC l'octroi de certificats de navigabilité.

### 1.17.2.5 Directives relatives aux vols d'essai

Conformément à l'accord entre l'OFAC et l'EAS qui définit les exigences en matière de navigabilité pour les aéronefs de la catégorie spéciale construction amateur, les vols d'essai doivent être effectués sur la base de l'*advisory circular* (AC) No. 23-8A *flight test guide* de l'autorité de surveillance américaine *Federal Aviation Administration* (FAA). Ce document a toutefois été remplacé depuis le 14 août 2003 par une nouvelle publication (cf. chap. 1.17.1.3), mais sert toujours de référence pour l'EAS.

La AC No. 90-89A *amateur-built aircraft and ultralight flight testing handbook* de la FAA est disponible sur le site web de l'EAS. Concernant les essais en vol effectués sur l'aéronef accidenté, les points suivants tirés du manuel susmentionné revêtent une certaine importance:

- Un programme de vol est proposé pour les essais effectués sur un aéronef de construction amateur ou ultra-léger; ce programme suppose au moins 35 heures de vol.
- Les essais du comportement d'un appareil à la limite du décrochage, lors du décrochage et lors du rétablissement y sont décrits en détail.

- Pour un avion en phase de test, il convient notamment de vérifier le comportement lors du décolllement des filets d'air avec des accélérations plus élevées telles qu'elles peuvent apparaître lors de virages serrés, de rétablissement ou de ressourcement. Ces tests sont toutefois déconseillés lorsque le constructeur n'a pas encore effectué de tels essais sur un prototype.
- Il est par ailleurs exigé que le comportement de l'aéronef en vrille soit clarifié. Pour les appareils dont les caractéristiques en situation de vrille ne sont pas encore connues, le manuel suggère de renoncer à tout essai avec des angles d'attaque élevés ou de faire appel aux services d'un pilote d'essai professionnel.

### 1.17.3 Groupe de vol à voile de Dittingen

#### 1.17.3.1 Généralités

Le Groupe de vol à voile de Dittingen a été créé en 1933 en tant que Groupe de vol à voile Zwingen et exploite à partir du champ d'aviation de Dittingen plusieurs planeurs, un motoplanneur et un avion remorqueur. Pour assurer la relève du groupe de vol à voile, il forme des pilotes de planeurs. Au cours des 60 dernières années, le groupe de vol à voile de Zwingen respectivement Dittingen a régulièrement organisé des manifestations aériennes sur son champ d'aviation. Depuis 2003, il organise tous les deux ans la manifestation aérienne „Dittinger Flugtage“.

#### 1.17.3.2 Manifestation aérienne de Dittingen

Les mesures de sécurité nécessaires pour l'organisation de la manifestation aérienne de Dittingen ont été autorisées par l'Office fédéral de l'aviation civile et surveillées sur place par un représentant de l'office.

En ce qui concerne le vol de l'accident, ce sont notamment l'emplacement du secteur de présentation ainsi que l'axe de démonstration qui sont importants. Dans les documents remis aux équipages participant à la manifestation, il était notamment précisé à ce sujet:

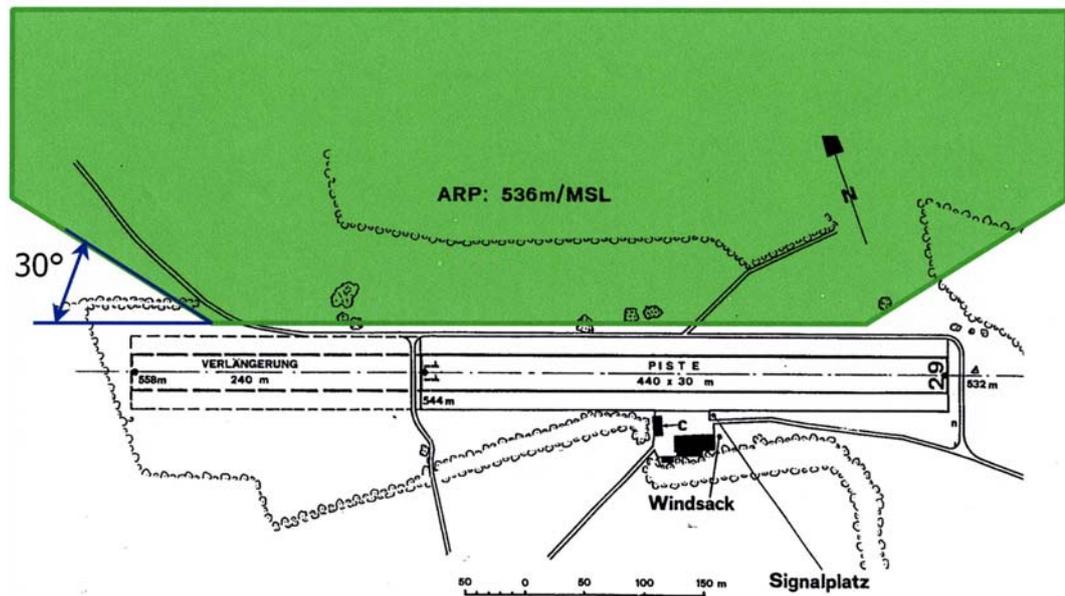
*„Das Überfliegen von Publikum ist generell verboten. Das Publikum steht auf der Südseite der Piste. Bitte wählen Sie als Vorführrachse den Weg auf der Nordseite, parallel zur Piste.“*

Traduction:

En règle générale, le survol du public est interdit. Le public se trouve au sud de la piste. Veuillez choisir comme axe de démonstration le chemin situé sur le côté nord, parallèlement à la piste.

Fin de traduction.

Un plan a été annexé à ces informations. Dans le cadre du briefing obligatoire, le secteur de démonstration ainsi que l'axe de démonstration ont encore une fois été présentés de manière détaillée (cf. figure 5).



**Figure 5:** Champ d'aviation de Dittingen avec espace de démonstration (vert). L'axe de démonstration est situé parallèlement au chemin de campagne au nord de la piste.

### 1.18 Renseignements supplémentaires

Aucune.

### 1.19 Techniques d'enquête utiles ou efficaces

Aucune.

## 2 Analyse

### 2.1 Aspects techniques

#### 2.1.1 Généralités

Aucun indice n'a permis de mettre en évidence des pannes ou un dysfonctionnement des systèmes de l'aéronef qui se seraient produits lors du vol de l'accident. Tant les séquences filmées que les observations des témoins oculaires, de même que les instruments de surveillance du moteur analysés permettent de conclure que ce dernier tournait normalement jusqu'à la collision avec les obstacles.

D'autre part, la raison pour laquelle les dernières indications du gyroscope directionnel et de l'horizon artificiel, qui ne correspondent pas aux paramètres de vol au moment de la collision, s'explique aisément: juste avant l'impact, l'aéronef HB-YIZ avait effectué un violent mouvement autour des axes de roulis et de lacet qui, comme dans le cas de figures de voltige, peut engendrer une indication erronée des instruments gyroscopiques.

L'enquête a montré que le Spitfire MJ-10, immatriculé HB-YIZ, a en grande partie été conçu avec soin et au prix de nombreuses heures de travail. La documentation correspondante est également complète et détaillée. Cependant, les particularités et défauts décrits ci-après ont été mis en évidence, lesquels ont partiellement joué un rôle dans l'accident.

#### 2.1.2 Conditions pour la certification

Conformément aux affirmations du co-constructeur, le moteur a été testé pendant 25 heures sur un banc d'essai. Jusqu'à l'accident, il avait totalisé sur l'aéronef 20:34 h d'exploitation en vol. Conformément aux JAR-22, *subpart H*, un moteur non certifié peut, après avoir subi 25 heures de test sur le banc d'essai, être utilisé pendant 25 heures supplémentaires en vol à condition que les essais en vol se déroulent à proximité d'aérodromes. Dans le présent cas, le moteur présentait 39:53 h d'exploitation au moment de l'octroi du certificat de navigabilité par l'OFAC le 21 juin 2005, alors que selon la convention entre l'EAS et l'OFAC une condition n'était pas satisfaite pour l'octroi du certificat de navigabilité par l'OFAC. Étant donné que les dispositions définies dans cette convention étaient considérées tant par l'OFAC que par l'EAS comme des recommandations qui ne devaient pas être strictement respectées, le certificat de navigabilité a été octroyé par l'OFAC.

L'OFAC a tout de même reconnu qu'il existe des carences et un manque de clarté dans l'application de cette convention. À l'avenir, il n'octroiera un certificat de navigabilité pour un aéronef de catégorie spéciale construction amateur avec un moteur et une hélice non certifiés qu'après 40 heures de vol (cf. chap. 4.2.1).

#### 2.1.3 Particularités de construction

##### 2.1.3.1 Position du centre de gravité et faibles efforts sur la commande de profondeur

On a constaté que le centre de gravité de l'aéronef en cause se trouvait derrière la position admise par le pilote. La valeur calculée ultérieurement était de 28,4 % de la corde moyenne (*mean aerodynamic chord* – MAC) par rapport au point de référence, soit légèrement en-dehors de la limite arrière, étant donné que le constructeur avait indiqué un centre de gravité pouvant varier entre 18 % et 28 % de MAC. Comme l'aéronef était monoplace et qu'il n'offrait que peu de pos-

sibilités de chargement, on peut admettre que la position du centre de gravité était également défavorable lors de tous les vols précédents. Il y avait probablement un lien entre cette particularité de construction et les faibles efforts sur la commande de profondeur déjà constatés lors des premiers vols. Un centre de gravité situé vers l'arrière permet d'atteindre plus facilement un grand angle d'attaque et peut influencer défavorablement le comportement de l'avion en décrochage.

#### 2.1.3.2 Forme de l'aile

Le choix de la forme de l'aile principale n'était pas entièrement libre dans la mesure où, dans le cas de ce modèle, il s'agissait de la copie à l'échelle d'un avion de chasse légendaire de la seconde guerre mondiale. Une des principales caractéristiques de cet avion historique est la forme elliptique de l'aile. Une aile présentant cette forme a la particularité qu'avec une forme de profil invariable, le décrochage a lieu simultanément sur l'ensemble de l'envergure au moment où l'angle d'attaque critique est atteint. Ceci entraîne évidemment une perte de la maniabilité autour de l'axe longitudinal parce que les ailerons se trouvent dans les turbulences des filets d'air qui se sont décollés. Pour cette raison, on s'assure au moyen d'un vrillage géométrique ou aérodynamique de l'aile principale que, au moment du décrochage de la zone intérieure de l'aile, les extrémités se trouvent toujours dans un écoulement d'air laminaire.

La combinaison d'un vrillage géométrique et aérodynamique de l'aile qui a été adoptée pour cette construction était en principe correcte puisque l'objectif était, avec un angle d'incidence plus petit à l'extrémité de l'aile, de retarder le décollement des filets d'air lors de grands angles d'attaque. En revanche, la modification du profil de l'aile de NACA 23015 en NACA 23009 a surcompensé au sens négatif le vrillage, car le flux d'air aux extrémités de l'aile se décollait plus rapidement en raison du profil.

Les spécialistes sont très partagés en ce qui concerne les profils utilisés NACA 23009 et NACA 23015, ce qui permet donc de déduire que ces profils sont pour le moins controversés.

En revanche, il est communément admis que les profils, dont le rapport entre l'épaisseur de l'aile et la corde de l'aile se situe entre 8 % et 12 %, ont tendance au moment d'atteindre l'angle d'attaque critique à subir une perte de portance brutale. En optant pour le profil NACA 23009 pour la partie extérieure de l'aile, le rapport de 9 % entre l'épaisseur et la corde de l'aile se trouve précisément dans le domaine décrit ci-dessus, à l'intérieur duquel le comportement en décrochage peut être abrupt.

En résumé, on constate que les éléments décrits étaient combinés de manière déséquilibrée, favorisant ainsi un comportement difficile du modèle dans les phases de vol avec de grands angles d'attaque.

#### 2.1.4 Essais en vol

Conformément à la convention entre l'Office fédéral de l'aviation civile (OFAC) et l'Association suisse des constructeurs d'avions amateur (*experimental aviation of Switzerland – EAS*), les essais en vol d'un aéronef de la catégorie spéciale construction amateur sont inspirés des essais en vol d'un aéronef selon FAR *part 23*. A cet effet, l'EAS met à disposition un AC no90-89A *amateur-built aircraft and ultralight flight testing handbook*. Celui-ci prévoit notamment une analyse des caractéristiques de décrochage d'un aéronef. Les exigences en matière de navigabilité, qui sont définies pour un aéronef de la catégorie „normale” ou „utility”, pré-

voient également des essais détaillés afin de clarifier comment l'avion réagit dans le cas où une vrille se produit inopinément et comment peut-on le ressortir de cette situation.

Sur l'appareil en cause, la vitesse et le comportement de l'appareil lors d'un décrochage ont été testés dans différentes configurations au cours d'un seul vol de 30 minutes. Cet essai a été effectué en vol rectiligne ou avec peu d'inclinaison. Ces quelques essais ne permettaient pas d'identifier les caractéristiques du MJ-10 Spitfire dans l'ensemble de son enveloppe de vol. L'aéronef doit cependant être certifié selon les principes et avec les valeurs limites d'accélération de la catégorie "aéronefs utilitaires" – „*utility*". On peut comprendre que les directives de certification d'un aéronef de la catégorie spéciale construction amateur mentionnées dans la convention entre l'OFAC et l'EAS ne doivent pas être entièrement appliquées. Cependant, il serait judicieux de faire une sélection des preuves adaptée au type d'aéronef qui devraient être fournies pour la certification. Dans le cas qui nous concerne, des vols par exemple avec des accélérations normales plus élevées auraient été très précieux afin de reconnaître les caractéristiques exigeantes du profil d'aile et de l'avion.

L'OFAC ainsi que l'EAS ont reconnu ces carences dans la procédure de certification de sorte que dans le futur, comme leçon tirée de cet accident, des vols avec des accélérations normales plus élevées seront exigées dans le programme d'essais en vol (cf. chap. 4.2.2).

On peut également comprendre que le pilote, qui n'avait pas une grande expérience ni sur des aéronefs à haute performance ni dans l'exécution d'essais en vol, a suivi l'avertissement de l'AC No. 90-89A *amateur-built aircraft and ultralight flight testing handbook* et ne voulait pas effectuer de vols avec vrilles ou décrochages sous accélération (*high speed stall*). Il est par contre regrettable que le conseil donné dans ce manuel de confier ces essais exigeants à un pilote d'essai professionnel n'ait pas été suivi.

Concernant les essais en vol d'un aéronef amateur ou ultraléger, l'AC no 90-89A prévoit en outre que soit effectué un programme qui devrait totaliser au moins 35 heures de vol. Ce manuel part du principe qu'il s'agit d'un aéronef qui a été construit sur la base d'un kit ou dont les caractéristiques étaient déjà connues. Dans le cas présent, comme très peu d'exemplaires de ce modèle MJ-10 Spitfire ont été réalisés jusqu'ici, les caractéristiques de l'aéronef qui a été construit étaient peu documentées. Il incombait donc au constructeur et pilote d'effectuer les vols d'essais et d'évaluer les performances d'un véritable prototype. Il considérait cette tâche exigeante comme accomplie après une durée totale de 14:53 h de vol. Cette durée, qui représente moins de la moitié des 35 heures proposées, inclut également les vols de formation du pilote et du conseiller en vols d'essai. Ainsi, on peut considérer que les essais du HB-YIZ se sont déroulés superficiellement et que le pilote n'a notamment pas pu découvrir les caractéristiques critiques de l'appareil.

Les procédures de construction et d'essais en vol, telles qu'elles ont été appliquées dans le cas présent, donnent l'impression que l'on a bien vérifié l'existence des documents exigés, mais sans que les éléments faisant l'objet desdits documents aient été suffisamment compris ou remis en question. Il faut également relever qu'une grande partie des vols d'essai n'a pas été documentée selon les instructions de l'EAS et que, comme précisé précédemment, certains documents faisaient défaut. Ces contradictions n'ont été identifiées ni par le conseiller en construction et en vols d'essai, ni par le service de certification, ni même par d'autres responsables concernés de l'EAS.

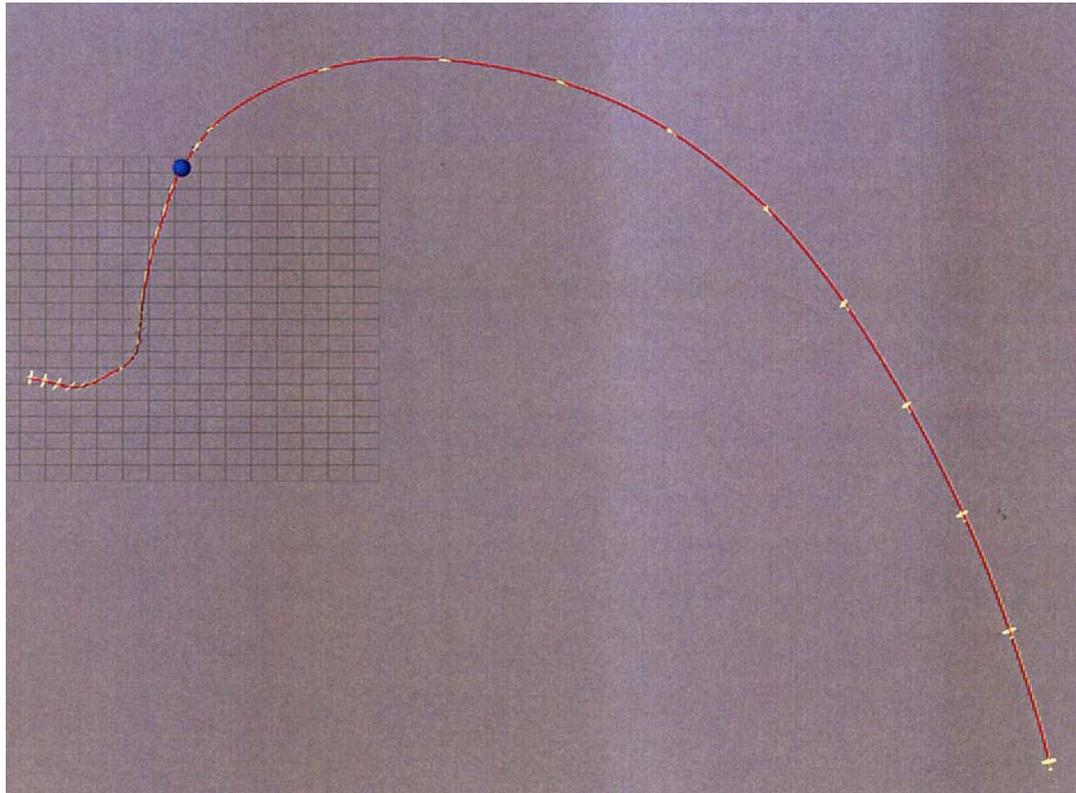
### 2.1.5 Certification

Si on examine le déroulement de la procédure depuis le début des essais en vol jusqu'à l'établissement du certificat de navigabilité, force est de constater que les procédures définies entre l'OFAC, l'EAS et le constructeur n'ont été respectées ni sur le fond ni sur la forme. Il est fort probable que cette manière de procéder reposait sur un rapport de confiance mutuel. Néanmoins elle a eu pour conséquence une lacune dans la mise en œuvre des mécanismes de surveillance envers le constructeur. Ainsi, d'importants risques, qui ont finalement favorisé cet accident, n'ont pas été identifiés.

## 2.2 Aspects opérationnels et humains

Si on compare le programme de démonstration en vol prévu par le pilote avec les manœuvres effectivement réalisées, on constate que le pilote a dérogé à son plan sitôt après le décollage. Au lieu de procéder à une sorte de tour de piste puis à un passage rapide devant le public dans le sens du départ, il a procédé à un virage de 180° puis à un passage devant les spectateurs. Le conseiller en construction et en vols d'essai qui était présent a relevé que la vitesse du HB-YIZ était inférieure à ce qui avait été planifié initialement et que le bruit du moteur laissait supposer un réglage pas très élevé de la puissance. Il y avait quelques petits nuages au-dessus du champ d'aviation et la base de la couche principale se situait à une hauteur d'environ 2500 ft. De ce fait, les manœuvres dans la verticale comme par exemple les virages de demi-tour en montant étaient restreintes. On peut supposer que le pilote, qui ne se présentait que pour la troisième fois à une manifestation aérienne, était impressionné par ces conditions météorologiques, raison pour laquelle il volait à puissance réduite.

Au nord du champ d'aviation, le pilote a généralement choisi d'effectuer des virages de demi-tour à gauche, en direction de l'axe de démonstration. De tels virages devraient être précédés par un segment de virage à droite afin de disposer d'un espace suffisant pour le virage. Dès le premier virage de demi-tour vers la gauche, on a constaté que le pilote devait augmenter l'inclinaison de l'avion vers la fin du virage afin de ne pas dépasser l'axe de démonstration. En raison de l'augmentation de l'accélération et de la vitesse de vol pas très élevée, la machine a perdu de l'altitude. Ce segment serré du premier virage de demi-tour était une conséquence directe du manque d'espace, car le pilote ne s'était pas suffisamment distancé de l'axe de démonstration avant d'engager le virage à gauche. Lors du deuxième passage en direction du nord-ouest, le pilote n'a effectué qu'un léger virage à droite avant de procéder au demi-tour vers la gauche. L'analyse de la trajectoire de vol montre clairement que cette manœuvre vers la gauche a été amorcée avec une faible inclinaison et un grand rayon de virage (cf. figure 6).



**Figure 6:** Trajectoire au sol lors du deuxième demi-tour qui a conduit à la perte du contrôle de l'avion au nord du champ d'aviation. On reconnaît clairement le rayon de virage qui diminue. Le point bleu indique le début du mouvement incontrôlé autour des axes de roulis et de lacet.

Après quelques secondes, le pilote a dû remarquer qu'en poursuivant le virage ainsi, il finirait par dépasser l'axe de démonstration. Il est probable qu'il a accentué l'inclinaison afin de respecter le périmètre de démonstration. D'autre part, ce virage n'était plus coordonné, c'est-à-dire que les mouvements appliqués sur les commandes de gauchissement et de direction ne permettaient pas de maintenir l'axe longitudinal dans la direction du déplacement. Un dérapage vers l'extérieur du virage (*skidding turn*) avec une inclinaison élevée favorise considérablement le décollement des filets d'air sur l'aile située à l'intérieur du virage. Dans le cas présent se sont ajoutés divers défauts de construction et caractéristiques de l'aéronef qui, comme exposé ci-dessus, ont favorisé un décollement abrupt des filets d'air.

Dès lors, il n'est pas surprenant que le HB-YIZ ait basculé sur l'aile gauche pour se retrouver dans un mouvement de roulis et de lacet typique de la phase initiale d'une vrille.

Cependant, le pilote, qui n'avait aucune expérience de vol acrobatique, a réussi à reprendre le contrôle de cette situation après trois quarts de tour. Il a amorcé une manœuvre de rétablissement pour laquelle la hauteur était apparemment insuffisante, malgré la présence d'une vallée où l'appareil pouvait descendre. Les traces de la position finale du pointeur trouvées sur le variomètre (*vertical speed indicator* – VSI) et les traces sur les lieux de l'accident permettent de considérer que le pilote a pu redresser l'appareil dans la vallée et qu'il est entré en collision avec les arbres sur le versant de la vallée alors qu'il était déjà en légère montée.

### 3 Conclusions

#### 3.1 Faits établis

##### 3.1.1 Aspects techniques

- Après une durée totale de 14:53 h de vol, l'avion a été admis à la circulation selon les règles de vol à vue dans la catégorie spéciale "utility – avion utilitaire".
- Afin de clarifier le comportement en décrochage de l'appareil, un vol de 30 minutes a été effectué dans le cadre des essais en vol. A cette occasion, le comportement en vol rectiligne avec une inclinaison jusqu'à 30° a été examiné.
- L'AC no 90-89A *amateur-built aircraft and ultralight flight testing handbook* mis à disposition par l'Association suisse des constructeurs d'avions amateur (*experimental aviation of Switzerland – EAS*) prévoit un programme d'essais en vol pour un aéronef de construction amateur ou ultraléger, lequel doit totaliser au moins 35 heures de vol.
- Au moment de l'accident, la masse de l'aéronef se trouvait dans les limites prescrites par l'AFM.
- Au moment de l'accident, le centre de gravité se trouvait à 28.4 % de la corde moyenne aérodynamique (*mean aerodynamic chord – MAC*) par rapport au point de référence. Ainsi, le centre de gravité se trouvait en dehors du domaine compris entre 18 % et 28 % MAC fixé par le constructeur.
- Les documents élaborés par le pilote et constructeur de l'avion pour le calcul du centre de gravité présentent une erreur qui place le centre de gravité calculé à 26.2 % MAC.
- Selon le plan de construction, la partie extérieure de l'aile s'achevant en fuselage est vrillée de -2° par rapport à la partie intérieure, ce qui signifie que la ligne de corde de la partie extérieure de l'aile présente un angle d'incidence inférieur de 2° par rapport à la ligne de corde de la partie intérieure.
- Conformément au plan de construction, un profil d'aile NACA 23009 a été utilisé sur la partie extérieure de l'aile et un profil NACA 23015 pour la partie intérieure.
- En considérant la forme de l'aile, la vitesse et l'altitude de vol, le décollement des filets d'air intervient avec un angle d'attaque d'environ 3° inférieur que pour le profil NACA 23015.
- Lors des vols d'essai on a constaté que les efforts à appliquer sur la commande de profondeur étaient faibles, plus particulièrement en virage.
- Le dernier contrôle de 100 h a été effectué en tant que contrôle annuel après 4:58 h d'exploitation.

### 3.1.2 Équipage

- Le pilote était en possession des licences nécessaires pour le vol.

### 3.1.3 Déroulement du vol

- Le pilote a amorcé un virage vers la gauche en direction de l'axe de démonstration alors qu'au début de la courbe, l'inclinaison de l'aéronef était plutôt faible.
- Après un changement de direction d'environ 30°, le pilote a augmenté l'inclinaison de l'appareil et a effectué un virage de plus en plus serré.
- Dans la phase de vol suivant directement le décrochage, l'appareil HB-YIZ présentait une inclinaison comprise entre 67° et 73° vers la gauche. Au cours de cette phase, l'axe longitudinal du Spitfire se trouvait décalé sur de l'axe vertical d'environ 5° dans le sens inverse des aiguilles d'une montre par rapport à la trajectoire de vol, c'est-à-dire que le HB-YIZ dérapait vers la droite.
- Puis le HB-YIZ a effectué un rapide mouvement de roulis vers la gauche et a commencé de tourner sur son axe vertical dans le sens contraire des aiguilles d'une montre.
- La perte de contrôle a pu être interrompue par le pilote après trois quarts de tour environ.
- Au cours de la manœuvre de rétablissement, l'aéronef est entré en collision avec les arbres d'une forêt.

### 3.1.4 Aspects généraux

- Le vol de l'accident était le troisième vol de démonstration du pilote lors d'une manifestation aérienne.
- Au moment de l'accident, la base de la principale couche de nuage était située à environ 4000 ft AMSL alors que quelques petits nuages se trouvaient au-dessous. La visibilité était de plus de 10km.

### 3.2 Causes

L'accident est dû au fait que lors d'un virage à gauche insuffisamment coordonné, le contrôle de l'appareil a brièvement été perdu, de sorte qu'au cours de la manœuvre de rétablissement subséquente celui-ci est entré en collision avec des obstacles.

Les facteurs suivants ont probablement joué un rôle dans l'accident ou l'ont rendu possible:

- Défauts de construction qui ont conduit à de fortes sollicitations de l'avion de construction amateur lors d'angles d'attaque élevés.
- Centre de gravité positionné en-dehors de la limite arrière.
- Essais en vol incomplets de l'avion de construction amateur.
- Exécution lacunaire du suivi de la construction et de la procédure de certification.
- Faible expérience du pilote pour l'opération d'un avion de construction amateur exigeant.

## 4 Recommandations de sécurité et mesures prises après l'accident

### 4.1 Recommandations de sécurité

Aucune.

### 4.2 Mesures prises afin d'améliorer la sécurité des vols

#### 4.2.1 Evaluation des moteurs pour les aéronefs de la catégorie spéciale construction amateur

L'évaluation exigée dans la convention passée entre l'Office fédéral de l'aviation civile et l'Association suisse des constructeurs d'avions amateur (*experimental aviation of Switzerland – EAS*) pour les moteurs et hélices dont le type n'a pas été certifié en s'inspirant des *JAR 22 subpart H* a été traitée de manière trop libérale.

L'Office fédéral de l'aviation civile a reconnu cette carence et ne va à l'avenir délivrer le certificat de navigabilité définitif pour les aéronefs de la catégorie spéciale construction amateur que lorsque le moteur et l'hélice auparavant certifiés auront atteint un total de 25 heures de vol. Dans le cas d'un moteur et d'une hélice n'ayant pas encore reçu de certification, un minimum de 40 heures de vol devront être documentés avant que le certificat de navigabilité ne puisse être octroyé.

#### 4.2.2 Essais en vol d'aéronefs de la catégorie spéciale construction amateur

Selon les données de l'Office fédéral de l'aviation civile, les essais en vol d'aéronefs de la catégorie construction amateur seront à l'avenir complétés de sorte que leur comportement en virage sous accélération soit également clarifié.

L'Association suisse des constructeurs d'avion amateur (*experimental aviation of Switzerland – EAS*) a déclaré, en accord avec l'OFAC et comme leçon tirée de cet accident, qu'elle allait introduire une procédure d'essais avec des accélérations normales plus élevées.

Payerne, le 10 août 2009

Bureau d'enquête sur les accidents d'aviation

Le présent rapport relate les conclusions du BEAA sur les circonstances et les causes de cet accident.

Conformément à l'art. 3.1 de la 9<sup>ème</sup> édition, applicable dès le 1<sup>er</sup> novembre 2001, de l'annexe 13 à la convention relative à l'aviation civile internationale (OACI) du 7 décembre 1944, ainsi que selon l'art. 24 de la loi fédérale sur l'aviation, l'enquête sur un accident d'aviation ou un incident grave a pour seul objectif la prévention d'accidents ou d'incidents. Elle ne vise nullement à la détermination des fautes ou des responsabilités. Ainsi, l'enquête n'a pas pour objectif d'apprécier juridiquement les causes et les circonstances d'un accident ou d'un incident grave.

En conséquence, l'utilisation de ce rapport à d'autres fins que la prévention pourrait conduire à des interprétations erronées.