



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST
Service suisse d'enquête de sécurité SESE
Servizio d'inchiesta svizzero sulla sicurezza SIS
Swiss Transportation Safety Investigation Board STSB

Rapport final no. 2280

du Service suisse d'enquête de sécurité SESE

concernant l'accident de l'avion
Robin DR400-140B, HB-KDD,

survenu le 23 février 2015

à 1.2 km nord-est de l'aérodrome
d'Yverdon-les-Bains / VD

Ursachen

Der Unfall ist darauf zurückzuführen, dass das Flugzeug infolge eines Kontrollverlustes in geringer Höhe, nach einer Phase mit reduzierter Motorenleistung kurz nach dem Abheben, mit dem Gelände kollidierte.

Der folgende Faktor hat zum Unfall beigetragen:

- Start mit Rückenwind und demzufolge verminderte Start- und Steigleistung.

Der folgende Faktor hat möglicherweise zum Unfall beigetragen:

- Flug in Wetterverhältnissen, die eine Vereisung des Vergasers oder der Flugzeugzelle begünstigten.

Remarques générales sur le présent rapport

Le présent rapport relate les conclusions du Service suisse d'enquête de sécurité (SESE) relatives aux circonstances et aux causes de cet accident.

Conformément à l'article 3.1 de la 10^e édition de l'annexe 13, applicable dès le 18 novembre 2010, de la Convention relative à l'aviation civile internationale (OACI) du 7 décembre 1944, ainsi que selon l'article 24 de la loi fédérale sur la navigation aérienne, l'enquête sur un accident ou un incident grave a pour seul objectif la prévention d'accidents ou d'incidents graves. L'enquête n'a pas pour objectif d'apprécier juridiquement les causes et les circonstances d'un accident ou d'un incident grave. Le présent rapport ne vise donc nullement à établir les responsabilités ni à élucider des questions de responsabilité civile.

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

Toutes les informations contenues dans ce rapport, sauf indication contraire, se réfèrent au moment où s'est produit l'accident.

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 où s'est produit l'accident, correspondait à l'heure de l'Europe centrale (*central european time* – CET). La relation entre LT, CET et l'heure universelle coordonnée (*coordinated universal time* – UTC) est :
LT = CET = UTC + 1 h.

Rapport final

Type d'aéronef	Robin DR400-140B	HB-KDD		
Exploitant	Air-Club d'Yverdon-les-Bains, Case postale 20, 1401 Yverdon-les-Bains			
Propriétaire	Air-Club d'Yverdon-les-Bains, Case postale 20, 1401 Yverdon-les-Bains			
Instructeur	Citoyen suisse, né en 1967			
Licence	Licence de pilote de ligne d'avions (<i>airline transport pilot licence aeroplane</i> – ATPL(A)) selon l'agence européenne de la sécurité aérienne (<i>European Aviation Safety Agency</i> – EASA), établie par l'Office fédéral de l'aviation civile (OFAC)			
Heures de vol	total 14 152:54 h	au cours des 90 derniers jours 231:02 h		
	sur le type en cause 207:48 h	au cours des 90 derniers jours 6:36 h		
Pilote	Citoyen suisse, né en 1956			
Licence	Licence de pilote privé d'avions (<i>private pilot licence aeroplane</i> – PPL(A)) selon EASA, établie par OFAC			
Heures de vol	total avion 568:58 h	au cours des 90 derniers jours 1:33 h		
	sur le type en cause 0:48 h	au cours des 90 derniers jours 0:48 h		
Lieu	1.2 km nord nord-est de l'aérodrome d'Yverdon-les-Bains / VD			
Coordonnées	538 012 / 180 036 (Swiss Grid 1903) N 46° 46' 07" / E 006° 37' 37" (WGS 84)	Altitude 432 m/M 1417 ft AMSL ¹		
Date et heure	23 février 2015, aux environs de 15 h			
Type de vol	règles de vol à vue (<i>visual flight rules</i> – VFR), instruction			
Phase de vol	Vol de montée après le décollage			
Nature de l'accident	Collision avec le sol			
Personnes blessées				
Blessures	Membres d'équipage	Passagers	Nombre total de personnes à bord	Autres personnes
Mortelles	2	0	2	0
Graves	0	0	0	0
Légères	0	0	0	0
Aucune	0	0	0	Sans objet
Total	2	0	2	0
Dommages à l'aéronef	Détruit			
Dommages à des tiers	Légère pollution du terrain et de l'eau du canal due aux hydrocarbures			

¹ AMSL : *above mean sea level*, au-dessus du niveau de la mer

1 Renseignements de base

1.1 Déroulement du vol

1.1.1 Généralités

Les faits antécédents ainsi que la description de l'accident sont basés sur les déclarations de plusieurs personnes qui ont côtoyé l'instructeur le jour de l'accident ou observé l'avion HB-KDD lors du vol de l'accident. Aucune donnée GPS ni de relevé radar n'étaient disponibles pour le vol de l'accident.

1.1.2 Faits antécédents

Le pilote a contacté l'instructeur afin d'effectuer un vol d'entraînement sur un avion monomoteur à piston. Ils avaient alors décidé d'effectuer ce vol de contrôle l'après-midi du 23 février 2015 sur un avion de type Piper Cub L-4.

Le matin du jour de l'accident, l'instructeur et un élève-pilote ont décollé de l'aérodrome d'Yverdon-les-Bains (LSGY) à bord d'un avion de type Tecnam P2002-JF pour un vol de navigation à destination de la Suisse alémanique. Les conditions de givrage qui régnaient dans la région du lac de Neuchâtel ont forcé l'équipage à interrompre le vol et faire demi-tour alors qu'ils survolaient la rive sud du lac.

Après le vol, l'instructeur a contacté le pilote afin de lui proposer d'effectuer le vol d'entraînement à bord d'un Robin DR400-140B, car la piste en herbe normalement utilisée avec le Piper Cub L-4 n'était pas praticable.

1.1.3 Le vol au cours duquel s'est produit l'accident

Le 23 février 2015, le pilote et l'instructeur se retrouvent en début d'après-midi à l'aérodrome d'Yverdon-les-Bains afin d'entreprendre le vol de contrôle sur le Robin DR400-140B immatriculé HB-KDD. Un avis de vol est rempli pour un vol local par le pilote et déposé au bureau C. Le décollage est prévu vers 14 h 15 min et le retour vers 15 h. L'avion n'est pas avitaillé avant le départ.

Aux alentours de 14 h 15 min, l'avion décolle de la piste 23. Plus tard, une personne, assise au restaurant de l'aérodrome, observe le HB-KDD effectuer deux ou trois manœuvres de posé-décollé sur la piste 23 avant de s'arrêter. Il redécolle ensuite de la piste 05 et y effectue une nouvelle manœuvre de posé-décollé.

Alors que l'aéronef se trouve en vol de montée initiale, à la hauteur du manège (figures 1 et 2), une importante baisse de régime est constatée par plusieurs personnes qui observent l'avion à ce moment-là. Il entreprend alors un vol plané et un début de virage à gauche, suivi d'un virage serré à droite. Alors qu'il vole approximativement en direction du sud, à une hauteur estimée d'environ 30 à 40 m, le HB-KDD stoppe le virage et poursuit un court instant en vol rectiligne avant de basculer brusquement sur l'aile gauche. Il plonge verticalement et percute le sol un peu avant 15 h. La durée totale du vol d'entraînement est d'environ 48 minutes.

Les deux occupants sont mortellement blessés.

Aucun incendie ne se déclare et l'aéronef est détruit.

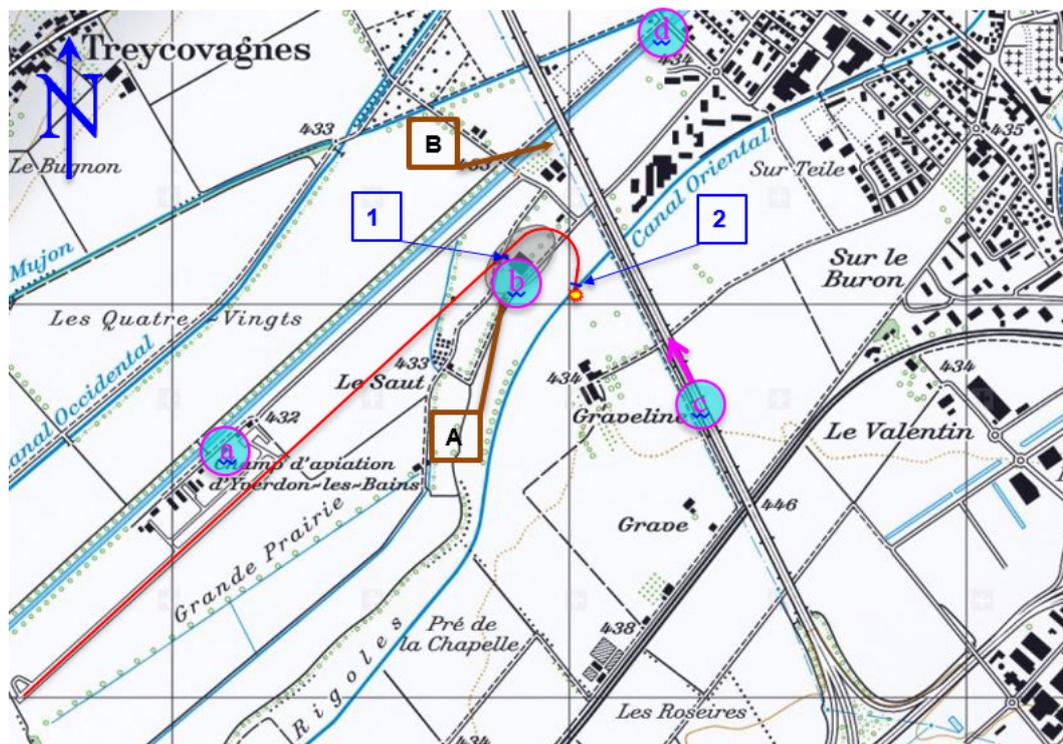


Figure 1 : carte de base reproduite avec l'autorisation de l'Office fédéral de la topographie Swisstopo (JA150149), avec reconstitution de la trajectoire du HB-KDD après la manœuvre de posé-décollé sur la piste 05, avec identification de la baisse de régime (1), de la perte de contrôle (2), du manège (A), de la ligne à haute tension (B) et la position de quatre observateurs (a-d)



Figure 2 : prise de vue du Canal Oriental en direction du nord où le HB-KDD a effectué sa manœuvre en virage à droite avec identification de l'emplacement du manège (A) et de la ligne à haute tension (B)

1.2 Conditions météorologiques

1.2.1 Situation générale

Une basse pression située à l'ouest de l'Ecosse influençait un système frontal qui s'étendait de la France vers l'Europe centrale. Au cours de la matinée du 23 février 2015, une pluie surfondue mélangée à des cristaux de glace tombait sur le plateau. En début d'après-midi, un front chaud se trouvait juste à l'ouest du Jura.

1.2.2 Conditions météorologiques à l'endroit et au moment où s'est déroulé l'accident

Un temps sec régnait entre le lac de Biemme et le lac Léman. Le bord ouest d'une zone de pluie se déplaçait le long de la vallée de la Broye. Dans la région d'Yverdon-les-Bains, un vent modéré soufflait du secteur sud avec des pointes jusqu'à 15 kt. Dans le secteur, la vitesse du vent en altitude augmentait de 15 à 30 kt entre 2300 et 4000 ft AMSL.

Nuages	5/8 - 7/8, env. 1000 ft AGL ² , plusieurs couches plus compactes au-dessus	
Visibilité	Supérieure à 10 km	
Vent	190° / 3 à 6 kt	
Température / Point de rosée	3 °C / 3 °C	
Pression atmosphérique QNH	1004 hPa	
Dangers	Turbulences modérées	

1.2.3 Données astronomiques

Position du soleil	Azimut : 217°	Hauteur : 26°
Conditions d'éclairage	Jour	

1.2.4 Conditions météorologiques selon les observations de diverses personnes

Le matin de l'accident, un mécanicien a effectué au sol un contrôle de fonctionnement d'un moteur d'avion sur l'aérodrome d'Yverdon-les-Bains. A l'issue de l'essai, cette personne a constaté une accumulation de glace sur le bord d'attaque de l'hélice, ainsi que sur les ailes. Ce mécanicien a également observé que du grésil était tombé à plusieurs reprises au cours de la journée et que le sol était glissant.

D'autre part, plusieurs personnes présentes dans les environs du lieu de l'accident ont déclaré qu'au moment où celui-ci s'est produit, il y avait une légère pluie et un faible vent soufflait.

1.2.5 Probabilité de givrage du carburateur

Les conditions météorologiques au moment où s'est produit l'accident étaient très humides. Le diagramme ci-dessous permet de vérifier le risque de givrage du carburateur :

² AGL : *above ground level*, au-dessus du sol

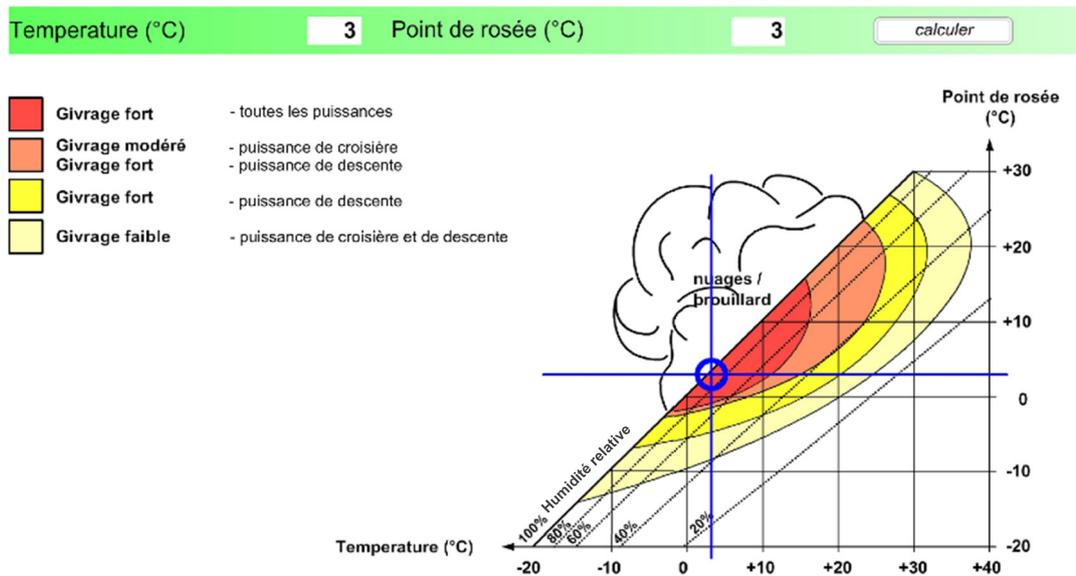


Figure 3 : probabilité de givrage du carburateur en fonction de la température et du point de rosée (source : didacticiel SPHAIR³)

Il y avait une grande probabilité de givrage du carburateur pour toutes les puissances fournies par le moteur.

1.3 Renseignements sur l'aéronef

1.3.1 Renseignements généraux

Immatriculation	HB-KDD
Type d'aéronef	Robin DR400-140B
Caractéristiques	Monomoteur quadriplace à aile basse. Structure en bois et toile avec un train d'atterrissage tricycle fixe.
Constructeur	Avions Pierre Robin, 21121 Darois / France
Année de construction	1992
Moteur	Constructeur : Lycoming Engines, USA Type : 0-320-D2A, 4 cylindres boxer, puissance maximale de 160 HP (119 kW) à 2700 RPM ⁴
Hélice	Bipale métallique à pas fixe
Heures d'exploitation	Cellule : 8340:53 h TSN ⁵ Moteur : 5733:23 h TSN / 1275:53 h TSO ⁶
Balise de détresse (<i>emergency locator transmitter – ELT</i>)	Artex ELT-ME406, 121.5/406 MHz

³ SPHAIR : nom de la plateforme d'évaluation des jeunes pilotes professionnels pour les forces aériennes et l'aviation civile suisse

⁴ RPM : *revolution per minute*, tour par minute

⁵ TSN : *time since new*, temps d'utilisation depuis neuf

⁶ TSO : *time since overhaul*, temps d'utilisation depuis révision

Masses	Masse à vide :	622 kg
	Masse maximale autorisée :	1000 kg
	Masse estimée au décollage :	834 kg
	Masse lors de l'accident :	816 kg
Masse et centre de gravité	Au moment de l'accident, la masse et le centre de gravité étaient dans les limites prescrites.	
Vitesses	Décollage :	54 kt
	Montée initiale :	65 kt
	Montée au meilleur taux :	78 kt
	Montée prolongée :	86 kt
	Meilleure finesse :	78 kt
	Décrochage sans volets :	53 kt
	Décrochage avec volets :	47 kt
Entretien et contrôles techniques	Dernier contrôle de 100 h effectué le 11 novembre 2014 à 8269:42 h TSN	
	Dernier contrôle de 50 h effectué le 20 janvier 2015 à 8322:46 h TSN	
	Remplacement du flexible du compte-tour le 17 février 2015 à 8335:15 h TSN	
Carburant	AVGAS 100LL	
Capacité totale du réservoir	110 l (29 US gal)	
Quantités de carburant	Quantités de carburant et autonomie estimées :	
	- lors du 1 ^{er} décollage :	51 l
	- au moment de l'accident :	24 l
	Quantité de carburant inutilisable : 10 l	
Certificat d'examen de navigabilité	Délivré le 7 août 2014, valable jusqu'au 26 septembre 2015	

1.3.2 Comportement aérodynamique à basses vitesses et en décrochage

Un instructeur de vol expérimenté sur le DR400 a rapporté qu'en général, le comportement aérodynamique à basse vitesse et en décrochage de ce type d'avion n'est pas critique. Les symptômes du décrochage imminent sont identifiables, tant par l'avertisseur de décrochage que les vibrations de l'avion (*buffeting*) dues au décollement des filets d'air sur une partie supérieure de l'aile (extrados).

Cependant, il est important de relever qu'une pression importante « à cabrer » sur la commande de profondeur alors que l'avion décroche peut provoquer un basculement de celui-ci sur l'aile gauche ou droite, sans qu'une pression sur la commande de direction ne soit exercée. Dans ce cas, l'assiette à piquer sera encore plus prononcée et l'avion va perdre plus d'altitude.

1.3.3 Conditions givrantes

1.3.3.1 Procédure en cas de givrage

Selon le manuel de vol du DR400-140B, la procédure suivante doit être appliquée en cas de givrage :

« *Procéder de la façon suivante lorsqu'on est surpris par le givrage :*

- *Réchauffage carburateur chaud (tirer)*
- *Augmenter la puissance afin de réduire la formation de glace au minimum*
- *Mettre en marche le réchauffage pitot (si installé)*
- *Mettre la climatisation sur plein chaud et orienter la totalité du débit vers le pare-brise (position "Désembuage"), afin d'en éliminer rapidement le givre*
- *Rebrousser chemin ou changer d'altitude afin d'obtenir une température extérieure moins critique pour le givrage*
- *Envisager d'atterrir sur le prochain aérodrome*

Lors de la formation de glace extrêmement rapide, effectuer un atterrissage forcé.

Se souvenir qu'une couche de plus de 0.5 cm (0.2 in) sur le bord d'attaque augmente notablement la vitesse de décrochage. Adopter si nécessaire une vitesse d'approche supérieure à la normale : 135 km/h (73 kt)

Remarques

S'il est nécessaire de maintenir en permanence le réchauffage carburateur, ajuster impérativement le mélange à l'aide de la manette de mixture pour obtenir un fonctionnement régulier du moteur.

Utiliser toujours le réchauffage carburateur en "tout ou rien" (plein chaud ou plein froid) ; une position intermédiaire peut, dans certains cas, aggraver le givrage. »

1.3.3.2 Expérience de givrage sur le DR400-140B

Un instructeur de vol a rapporté qu'au cours des 7000 heures de vol effectuées sur le DR400 il n'a jamais été confronté à des situations critiques liées au givrage sur ces avions équipés de moteur Lycoming, bien qu'il ait été parfois confronté à des conditions météorologiques défavorables. Il estime que le risque de givrage du carburateur peut être considéré comme faible.

Il se souvient cependant qu'au cours d'un vol d'instruction en VFR par conditions météorologiques marginales, une situation de givrage avait nécessité l'utilisation constante du réchauffage du carburateur. Il y avait une base des nuages basse et il pleuvait modérément alors que la température était légèrement supérieure à 0 °C.

C'est le seul cas de givrage important en vol que cet instructeur ait vécu depuis plus de 30 ans d'expérience avec des avions de type DR400 équipés de moteur Lycoming.

Selon ce même instructeur, les symptômes d'un givrage du carburateur constatés sur ce type d'avion apparaissent au sol, lors des contrôles de fonctionnement du moteur. Lorsque le réchauffage du carburateur est activé pendant plusieurs secondes et que le régime moteur augmente, c'est qu'il y a du givre dans le carburateur. Ce phénomène se produit souvent jusqu'au printemps, avec des températures d'environ 5 °C et avec un taux d'humidité important, par exemple lorsque la surface de roulage est mouillée.

1.4 Renseignements sur l'équipage

1.4.1 Instructeur

L'instructeur a débuté sa carrière aéronautique en obtenant la licence de pilote privé en 1993. Une année plus tard, il a terminé sa formation de pilote de vol à voile.

Il a entrepris de poursuivre sa formation de pilote professionnel et de vol aux instruments qu'il a concrétisée en 1995 avec la licence B/IFR et en 1996 avec les examens théoriques de pilote de ligne.

Parallèlement à l'activité de pilote professionnel, l'instructeur pratique l'aviation de loisir. Il obtient en 2003 la qualification pour le vol en montagne et en 2011 pour le vol de virtuosité. En 2012, il participe au cours d'instructeur de vol à moteur dont il obtiendra la qualification. En 2014, il devient instructeur de qualification en montagne.

Au moment où s'est produit l'accident, l'instructeur exerçait une activité de pilote de ligne et avait totalisé plus de 14 000 h de vol, dont presque 13 000 h en opération multi-pilote et environ 550 h comme instructeur de vol, dont plus de 200 h sur le type Robin DR400.

1.4.2 Pilote

Le pilote a débuté en Australie sa formation de pilote privé en 1988 qu'il terminera au début 1989. Peu de temps après, il a effectué une qualification de vol de virtuosité.

Parallèlement à son activité professionnelle, le pilote a par la suite pratiqué régulièrement l'aviation de loisir et sportive, principalement en Suisse. Il a volé dans différents pays en Europe. Il s'est perfectionné sur divers avions de voltige, a participé à plusieurs championnats et a été formé pour la voltige à basse hauteur.

Au moment où s'est produit l'accident, le pilote avait totalisé plus de 560 h de vol sur 14 types d'avions monomoteurs différents, dont plus de 250 h sur avions de voltige. Il avait effectué plus de 130 h sur Robin R3000/160 et c'était le premier vol sur un avion de type DR400.

1.5 Renseignements sur le lieu où s'est produit l'accident, sur l'impact et sur l'épave

1.5.1 Lieu où s'est produit l'accident

La collision avec le sol s'est produite à environ 250 m à l'ouest du viaduc de l'autoroute Yverdon-Neuchâtel et au nord-est de la piste 23 de l'aérodrome d'Yverdon-les-Bains, à environ 900 m du seuil de piste. L'autoroute est bordée sur son côté ouest d'une ligne à haute tension (figures 1 et 2).

L'impact s'est produit en bordure de la rive droite d'un canal dénommé Canal Oriental, situé en face du manège équestre. Le canal est conçu dans sa partie centrale d'une voie d'eau et d'une berge plate de chaque côté, puis d'un talus de quelques mètres de hauteur (figures 2 et 4).

1.5.2 Impact

L'impact a été violent. Selon des témoins situés près du manège, l'avion a chuté verticalement d'une hauteur estimée de 30 à 40 m en faisant un demi-tour en piqué. L'épave, orientée vers le nord-est, s'est enfoncée dans le terrain meuble à cet endroit. Le moteur et l'avant du fuselage étaient immergés dans le sol jusqu'à la

hauteur de la planche de bord. L'aile gauche est entrée en collision avec la berge alors que l'aile droite avec le talus sud du canal (figure 4).

Les deux occupants étaient dans l'habitacle, attachés à leur siège.

Suite à l'impact, l'écoulement d'hydrocarbures a provoqué une légère pollution du sol et de l'eau du canal.



Figure 4 : position finale de l'avion HB-KDD

1.5.3 Renseignements sur l'épave

L'avion n'a pas perdu d'élément en vol. Toutes les pièces de l'épave ont été retrouvées à proximité immédiate du point d'impact. Le groupe motopropulseur a été fortement endommagé.

L'hélice est restée attachée au moteur. Elle portait de légers impacts sur les bords d'attaque. La pale de l'hélice orientée vers le côté droit du moteur lors de la collision est repliée vers l'arrière alors que l'autre ne l'est que légèrement.

La balise de détresse (*emergency locator transmitter* – ELT) s'est enclenchée lors du choc.

Positions de divers éléments, interrupteurs et levier de commandes :

- l'aile, monoplan d'un seul tenant, s'est disloquée ;
- la partie gauche de la gouverne de profondeur monobloc s'est rompue près du point d'attache gauche et s'est posée devant l'aile, sur la berge ;
- une quantité de 6.5 l de carburant a été retirée du réservoir. Ce carburant n'a pas pu être analysé en raison d'une infiltration d'eau de pluie dans le réservoir ;
- la cabine a été fortement endommagée, tout comme le tableau de bord, les instruments de navigation et des paramètres du moteur, ainsi que les équipements de communication ;
- les ceintures de sécurité trois points ont été utilisées et ont résisté au choc ;
- la commande manuelle des volets de courbure était placée vers le plancher, ce qui correspond à la position rentrée ;

- la commande du sélecteur de carburant était placée sur "OUVERT" ;
- la clé du sélecteur des magnétos était positionnée sur "BOTH" ;
- l'aiguille de l'indicateur du compte-tours était bloquée sur 1180 RPM ;
- la commande de mixture était en position "RICHE" ;
- la commande du réchauffage du carburateur était poussée et verrouillée ;
- la position de la commande des gaz n'a pas pu être déterminée ;
- l'interrupteur "ATC" de commande du transpondeur était sur "GND" ;
- les interrupteurs suivants étaient enclenchés: batterie, alternateur, pompe à carburant électrique, phares d'atterrissage et de roulage, feux anticollision.

1.6 Essais et recherches

1.6.1 Commandes de vol

Malgré des dommages importants, un examen visuel des commandes de vol a pu être effectué et n'a pas mis en évidence d'indice de défaut préalable. Toutes les commandes de vol étaient libres de mouvements, les tringles, les poulies et les câbles de commandes étaient en place, correctement installés.

1.6.2 Echappements

La vérification et l'inspection interne des échappements n'ont pas présenté de défektivité. Le HB-KDD n'était pas équipé de silencieux.

1.6.3 Moteur

Le moteur a subi des dommages importants lors de l'impact au sol. En raison de la présence de terre et d'eau dans les cylindres, dans les tubulures d'admission et dans les tiges culbuteurs, il n'a pas été possible de tester le moteur sur un banc d'essai.

Le moteur a été démonté afin de procéder à une expertise approfondie. Les résultats de l'inspection des éléments du moteur, effectuée dans une entreprise spécialisée, ont établi les anomalies suivantes :

- le test d'étanchéité révèle une perte d'environ 50 % sur les soupapes d'admission et d'échappement du cylindre n° 1 ainsi que sur la soupape d'admission du cylindre n° 2 ;
- les sièges de toutes les soupapes étaient légèrement piqués par de la corrosion.

1.6.4 Carburateur

Le carburateur a été endommagé lors de la collision. Il présentait notamment plusieurs cassures au niveau du flasque supérieur et une déformation de l'axe de commande du papillon (figures 5 et 6).

Le papillon est un clapet qui régule le débit du mélange gazeux admis dans les cylindres, en fonction de la puissance demandée au moteur. Il est placé dans le conduit en aval du diffuseur et actionné par la double commande des gaz depuis la cabine.



Figure 5 : déformation de l'axe de commande du papillon du carburateur avec plan de coupe de la figure 6

La vérification des éléments internes du carburateur a permis de relever les points suivants :

- les composants du carburateur étaient conformes aux prescriptions du constructeur ;
- la pompe d'accélération fonctionnaient correctement et ne présentait pas de défaut ;
- la fonction et la position du levier de mélange étaient normales ;
- le bras de fixation des deux lobes du flotteur a été légèrement déformé et le flotteur ne présentait pas d'anomalie ;
- le papillon était en position légèrement ouverte ce qui correspond à une faible puissance fournie par le moteur.

Afin de déterminer la position du papillon lors de l'impact, la commande du papillon ainsi que le conduit d'admission ont fait l'objet d'une expertise spécifique dans un laboratoire.

L'analyse des traces relevées dans le conduit d'admission, à proximité du papillon, démontrent que ce dernier était dans une position quasi horizontale, donc légèrement ouverte, au moment de l'accident. Ceci correspond à une faible puissance fournie par le moteur.

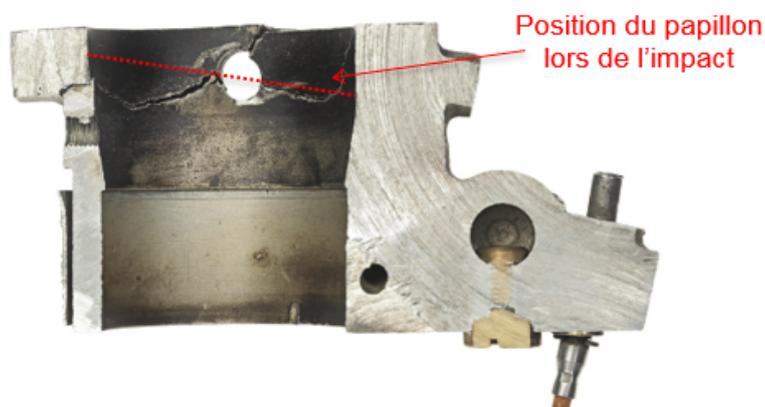


Figure 6 : coupe du conduit de l'admission du carburateur avec position du papillon lors de l'impact

1.6.5 Inspection des autres accessoires du moteur

Le test de fonctionnement de la pompe à carburant mécanique n'a pas dévoilé d'anomalie.

Les deux magnétos ont été testées au banc d'essai. La magnéto droite, n'a pas présenté de défectuosité. Le fonctionnement de la magnéto gauche, dans les bas régimes jusqu'à 1300 RPM, ne fonctionnait pas correctement. Dans les régimes supérieurs, le défaut n'a pas été remarqué. En raison de la forte érosion des vis platinées, le réglage de base de la magnéto n'était plus correct, ce qui explique le mauvais fonctionnement à bas régime. Les autres éléments de la magnéto n'ont pas présenté de particularité.

La vérification des bougies a démontré qu'elles avaient une coloration et une usure de l'électrode correctes. Toutes les bougies fonctionnaient lors du test, à l'exception d'une qui a été endommagée lors de l'accident.

Certains câbles d'allumage ont été rompus ou écrasés lors de l'accident. Un test de la tension d'isolation des câbles n'a pu être effectué que partiellement en raison des dommages subis. Aucune particularité n'a été constatée lors de cet essai.

Un deuxième test à la haute tension a été effectué sur les câbles d'allumage dans un laboratoire équipé d'une chambre climatisée. Plusieurs mesures ont été réalisées dans des conditions climatiques similaires à celles relevées au moment de l'accident. Ce second essai n'a pas mis en évidence de défaut ayant pu provoquer une perte de puissance du moteur.

1.6.6 Instruments

Malgré les dommages causés à la planche de bord, le compte-tours, ainsi que les voyants lumineux de pression d'huile et de pression d'essence ont été expertisés afin d'établir les paramètres du moteur au moment de l'accident.

Les voyants lumineux analysés n'étaient pas activés lors de l'impact (figure 7).

Le compte-tours du moteur a été fortement endommagé par la collision. Néanmoins, l'expertise a démontré qu'un impact de l'aiguille a été relevé sur le cadran à une position correspondant à 1180 RPM (figure 8).

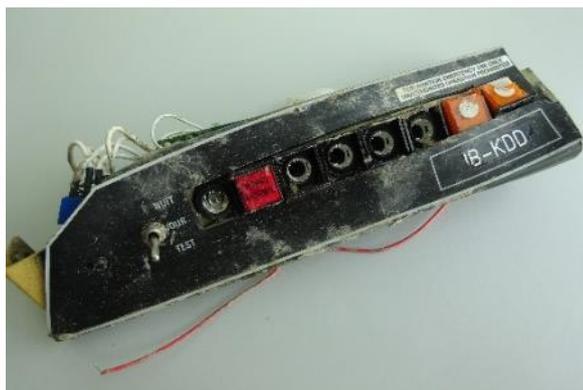


Figure 7 : voyants lumineux



Figure 8 : cadran du compte-tours

1.7 Renseignements supplémentaires

1.7.1 Données du radar secondaire

Le radar secondaire utilise le principe du dialogue entre une station au sol et un équipement installé à bord de l'avion, appelé transpondeur. Au sol, la position de l'avion ainsi que divers paramètres tels qu'altitude et vitesse sont visualisés sur un écran.

Le HB-KDD était équipé d'un transpondeur Mode S à sélection manuelle du mode de transmission. L'activation du mode ALT⁷ s'effectuait avant le décollage à l'aide de l'interrupteur "ATC". Si cette manipulation devait être omise, le transpondeur restait alors en mode GND⁸. Pour le vol au cours duquel s'est produit l'accident, aucune donnée n'a été enregistrée par le système de radar secondaire.

1.7.2 Renseignements en matière d'organisation et de gestion

1.7.2.1 Air-Club d'Yverdon-les-Bains

L'Air-Club a été créé en 1935 et est établi sur l'aérodrome d'Yverdon-les-Bains. Il possède et exploite plusieurs avions et assure la formation de pilotes au moyen de sa propre école de vol.

L'instructeur était actif au sein de l'école de l'Air-Club depuis plus de deux ans. Au cours de cette période, il y avait effectué environ 500 h d'instruction, dont environ 80 h sur le HB-KDD.

1.7.2.2 Instruction sur l'aérodrome d'Yverdon-les-Bains

L'école de vol de l'Air-Club d'Yverdon-les-Bains n'avait pas mis en place de procédures spécifiques relatives à l'instruction à proximité de son aérodrome. Au moment de l'accident, chaque instructeur avait la liberté de les entraîner en considérant le genre d'instruction et le niveau des élèves. Les exercices de panne moteur se pratiquaient généralement au cours de différentes phases de vol, soit au-dessus de la piste, soit en vent arrière ou soit peu après le décollage.

Lors d'exercices de panne moteur effectués peu après le décollage, les procédures de demi-tour n'étaient pas envisagées tant que l'avion montait en s'éloignant de l'aérodrome, car la hauteur était insuffisante pour rejoindre la piste avec ce type d'aéronef. La méthode généralement enseignée consistait à choisir un champ pour y effectuer un atterrissage d'urgence. Il s'agissait donc d'adapter le chemin de vol plané aux obstacles environnants.

Cet exercice était plus critique après un décollage effectué de la piste 05 que de la piste 23. Afin de permettre à l'élève de réussir l'exercice, la réduction de puissance se faisait au-dessus du manège, à une hauteur d'environ 100 m et le virage devait se faire de préférence vers la droite avec une vitesse minimale de 75 kt.

L'instructeur avait l'habitude de pratiquer des exercices de panne moteur avec ses élèves dans les circuits de l'aérodrome. Il n'utilisait pas le réchauffage du carburateur lors de la manœuvre à puissance réduite.

⁷ ALT : *altitude*, altitude. Le transpondeur répond aux requêtes en transmettant les informations d'altitude relatives à la pression atmosphérique standard de 1013.2 hPa.

⁸ GND : *ground*, sol. Le transpondeur est enclenché et transmet les informations requises par le radar au sol d'un aéroport.

1.8 Renseignements médicaux et pathologiques

Les corps de l'instructeur et du pilote ont été soumis à une autopsie. Le rapport conclut pour les deux membres d'équipage à un polytraumatisme sévère ayant entraîné le décès immédiat. Il n'était pas possible de survivre à l'impact.

L'étude des lésions ne permet pas de se prononcer avec certitude quant au contact des membres supérieurs avec les commandes de l'avion.

Les examens toxicologiques effectués n'ont révélé aucune trace d'alcool, de drogues ou de médicaments.

2 Analyse

2.1 Aspects techniques

Les éléments importants de l'avion, du moteur et de ses accessoires susceptibles d'être à l'origine d'une perte de contrôle ou d'une diminution de la puissance fournie par le moteur ont été minutieusement expertisés.

L'enquête n'a pas mis en évidence d'élément technique ayant pu provoquer ou contribuer à l'accident.

2.2 Aspects opérationnels et humains

2.2.1 Quantité de carburant embarquée

L'enquête a permis d'estimer précisément la quantité de carburant embarquée pour le vol planifié. L'avion n'avait pas été avitaillé avant le vol. Considérant la quantité de carburant non utilisable, la quantité restante de carburant permettait de voler un peu plus de 70 minutes.

Sachant que le vol envisagé allait durer environ 45 minutes, la réserve planifiée était d'environ 25 minutes. Considérant les conditions météorologiques du jour et que la piste en herbe n'était pas praticable, cette réserve n'était pas adéquate.

2.2.2 Choix de la piste au décollage

Au cours de la première partie du vol, l'équipage a effectué plusieurs décollages et atterrissages sur la piste 23. Peu avant l'accident, les pilotes ont choisi d'utiliser la piste 05. Une composante de vent de dos, estimée entre 2 et 4 kt à proximité du sol et vraisemblablement plus importante en altitude, était établie lors du dernier décollage.

Une telle décision implique une dégradation des performances de vol: les distances de décollage/d'atterrissage augmentent et l'angle de montée diminue. De plus, un phénomène de cisaillement provoque une perte de vitesse durant la phase de montée.

Au vu de l'expérience respective du pilote et de l'instructeur ainsi que des conditions météorologiques présentes depuis le début du vol, l'équipage devait être conscient de ces aspects.

2.2.3 Chute du régime moteur après le décollage

Plusieurs témoins ont entendu une importante chute du régime moteur à la hauteur du manège, alors que le HB-KDD se trouvait en vol de montée. Une expertise minutieuse des éléments du moteur et de ses accessoires a été effectuée. Aucune anomalie n'ayant été découverte, on peut en déduire que la chute du régime moteur n'est pas due à une défaillance technique.

Les conditions météorologiques au moment de l'accident étaient favorables à la formation de givre ou de glace. De plus, la commande du réchauffage carburateur a été retrouvée en position poussée et verrouillée après l'accident ce qui implique que le réchauffage carburateur n'a pas été utilisé. La première indication généralement observée lors d'un givrage du carburateur sur un avion équipé d'une hélice à pas fixe est une diminution du nombre de tours/minute qui peut être suivie de ratés du moteur.

Les cas de givrage du carburateur à pleine puissance sont rares sur le DR400-140B. Lors du vol de l'accident, la chute du régime moteur observée était plus importante que celle décrite ci-dessus en cas de givrage du carburateur et aucun raté du moteur n'a été entendu. Cependant, bien que peu probable, un givrage du carburateur dans cette phase de vol ne peut être totalement exclu.

2.2.4 Pratique des exercices de panne moteur

Des exercices de panne moteur étaient régulièrement pratiqués sur l'aérodrome d'Yverdon-les-Bains. Lorsqu'un tel exercice est exécuté juste après le décollage de la piste 05, en vol de montée après le passage des obstacles, les possibilités de manœuvres sont limitées. La réduction de puissance devait se faire au-dessus du manège, à une hauteur d'environ 100 m, afin de permettre à l'élève de réussir l'exercice. De plus, la phase de vol à puissance réduite devait débuter de préférence par un virage serré à droite.

Avec le HB-KDD, la vitesse minimale exigée en virage lors des exercices de panne moteur était de 75 kt. Sa vitesse de décrochage lors d'un virage sans volets est de 63 kt pour une inclinaison de 45° et respectivement de 75 kt pour 60°, ce qui implique une très faible marge de manœuvre.

Avant de débuter un tel exercice, l'instructeur doit considérer divers paramètres tels que la hauteur à disposition, les obstacles, les conditions météorologiques et des possibilités d'atterrissage forcé en cas de panne réelle du moteur à l'issue de l'exercice.

Lors du vol de l'accident, la réduction de puissance est intervenue à la hauteur du manège, à l'endroit précis où les exercices de panne moteur sont généralement débutés. On a tout d'abord observé l'avion engager un virage à gauche, puis de rapidement virer à droite. L'enquête n'a pas permis de confirmer que la chute du régime moteur observée était volontaire. Cependant, il est fort probable que celle-ci était due à un exercice de panne moteur tel que généralement pratiqué lors d'un vol de contrôle.

Dans ce cas, la décision de débuter cet exercice à cet endroit après avoir effectué un décollage et une montée initiale avec une composante de vent de dos et d'un éventuel effet de cisaillement n'était pas adéquate.

2.2.5 Manœuvre lors de la perte de contrôle

Selon plusieurs observateurs, suite à la chute du régime moteur, le HB-KDD a effectué un virage serré vers la droite. Ce virage était maîtrisé. Ainsi, la chute du régime moteur n'est pas directement à l'origine de la perte de contrôle qui a suivi.

Alors qu'il vole approximativement en direction du sud, à une hauteur estimée d'environ 30 à 40 m, le HB-KDD stoppe le virage et poursuit un court instant en vol rectiligne avant de basculer brusquement sur l'aile gauche. Il est probable qu'à la sortie du virage, alors que l'avion se trouvait à faible vitesse, une pression excessive à cabrer a été exercée sur la commande de profondeur, ce qui a provoqué le basculement de l'avion sur l'aile gauche, puis le piqué qui a suivi.

Un givrage de la cellule influence négativement le comportement aérodynamique de l'avion et le rend plus sensible au décrochage en vol lent. Bien que peu probable, un givrage de la cellule ne peut être totalement exclu.

3 Conclusions

3.1 Faits établis

3.1.1 Aspects techniques

- L'avion était autorisé au vol privé de jour selon les règles de vol à vue (*visual flight rules* – VFR).
- L'enquête n'a révélé aucune défectuosité technique ayant pu contribuer ou provoquer l'accident.
- L'enquête technique a démontré que lors de l'impact, le papillon du carburateur était en position légèrement ouverte.

3.1.2 Aspects humains

- L'instructeur et le pilote étaient en possession des licences nécessaires.
- Aucun élément n'indique qu'ils aient été affectés dans leur état de santé lors de la survenue de l'accident.

3.1.3 Aspects environnementaux

- Une accumulation de glace sur le bord d'attaque des pales de l'hélice, ainsi que sur les ailes a été constatée le matin de l'accident par un mécanicien lors d'un contrôle au sol de fonctionnement d'un moteur.
- Plusieurs personnes présentes dans les environs du lieu de l'accident ont déclaré qu'à ce moment-là, il pleuvait légèrement et un faible vent soufflait.
- La température extérieure et le point de rosée étaient de 3 °C.
- Le vent au sol provenait du sud avec une force de 3 à 6 kt et plus importante en altitude.
- Une légère pollution du terrain et de l'eau du canal a été provoquée par la fuite d'hydrocarbures.

3.1.4 Aspects opérationnels

- Au moment de l'accident, la quantité de carburant utilisable était d'environ 14 l.
- Au cours de la première partie du vol, l'équipage a effectué plusieurs décollages et atterrissages sur la piste 23.
- Peu avant l'accident, les pilotes ont choisi d'utiliser la piste 05.
- Une composante de vent de dos au sol estimée entre 2 et 4 kt était établie lors du dernier décollage.
- Après l'accident, la commande du réchauffage carburateur a été retrouvée en position poussée et verrouillée.
- L'enquête n'a pas permis d'établir quel membre d'équipage était aux commandes de l'avion au moment de l'accident.

3.1.5 Aspects de survie

- Aucun incendie ne s'est déclaré.
- La balise de détresse (*emergency locator transmitter* – ELT) s'est enclenchée lors de l'impact.
- Les ceintures de sécurité trois points ont été utilisées et ont résisté au choc.
- Il n'était pas possible de survivre à la collision.

3.2 Causes

L'accident est dû à une collision avec le sol suite à une perte de contrôle à faible hauteur consécutive à une phase de vol à puissance réduite peu après le décollage.

Le facteur suivant a contribué au déroulement de l'accident :

- le décollage avec une composante de vent de dos et par conséquent des performances de décollage et de montée dégradées ;

Le facteur suivant a pu contribuer au déroulement de l'accident :

- le vol réalisé dans des conditions météorologiques favorisant un givrage du carburateur ou de la cellule.

- 4 Recommandations de sécurité, avis concernant la sécurité et mesures prises après l'accident**
- 4.1 Recommandation de sécurité**
Aucune
- 4.2 Avis concernant la sécurité**
Aucun
- 4.3 Mesures prises après l'accident**
Aucune

Ce rapport final a été approuvé par la commission du Service suisse d'enquête de sécurité SESE (art. 10 lit. h de l'Ordonnance sur les enquêtes de sécurité en cas d'incident dans le domaine des transports du 17 décembre 2014).

Berne, 17 août 2017

Service suisse d'enquête de sécurité