



Rapport final
du Bureau d'enquête
sur les accidents d'aviation
concernant l'accident

de l'avion Piper PA31-350 Navajo Chieftain Panther II, HB-LTC

survenu le 26 mai 2000

Aéroport de Zurich, Commune de Rümlang ZH

Ce rapport sert uniquement à la prévention des accidents. L'enquête n'a pas pour objectif d'apprécier juridiquement les causes et les circonstances de l'accident (art. 24 de la loi sur la navigation aérienne).

Ce rapport est une traduction de la langue allemande.
La version de référence de ce rapport est rédigée en langue allemande.

Ursachen

Der Unfall ist auf eine Kollision mit Hindernissen nach einem Versagen beider Triebwerke zurückzuführen. Die beiden Kolbenmotoren fielen aus, weil das Flugzeug irrtümlich mit Flugpetrol JET A-1 statt mit Flugbenzin AVGAS 100LL betankt wurde.

Die Untersuchung hat folgende kausale Faktoren für den Unfall ermittelt:

- Bei der Bestellung des Treibstoffes trat ein Missverständnis auf.
- Der betreffende Tankwart erkannte die am Flugzeug angebrachten Qualitätskennschilder nicht.
- Der betreffende Tankwart bemerkte nicht, dass das Flugzeug mit Kolbenmotoren ausgerüstet war.
- Der Pilot erkannte die Qualitätskennschilder des Tankfahrzeuges nicht.
- Der Pilot bemerkte die Fehlbetankung auf der Quittung für den Treibstoffbezug nicht.

Folgende Faktoren haben die Entstehung des Unfalls ermöglicht bzw. begünstigt:

- Das Ausflussrohr der Zapfpistole wies einen Aussendurchmesser auf, der eine Betankung des Unfallflugzeuges zuließ.
- Der Ausbildungs- bzw. der Kenntnisstand des betreffenden Betankungspersonals war ungenügend.
- Das Bundesamt für Zivilluftfahrt hat den Betankungsbetrieb vor dem Unfall nie inspiziert.
- Bis zum Unfallzeitpunkt hatte das Bundesamt für Zivilluftfahrt keine Vorschriften bezüglich Ausbildung von Betankungspersonal, Dimension von Ausflussrohren bzw. Tanköffnungen von Luftfahrzeugen sowie über die Kennzeichnung von Zapfpistolen und Tanköffnungen erlassen.

Die folgenden Punkte haben den Ausgang des Unfalls möglicherweise verschärft:

- Der Pilot entschied sich zu einer Umkehrkurve, die ihn auf Kollisionskurs mit Hindernissen brachte.
- Der Rückhaltemechanismus des Schultergurtes funktionierte nicht.

Synopsis	5
Bref exposé des faits	5
Enquête	5
1 Renseignements de base	7
1.1 Faits antérieurs et déroulement du vol	7
1.1.1 Faits antérieurs	7
1.1.2 Déroulement du vol	8
1.2 Tués et blessés	10
1.3 Dommages à l'aéronef	10
1.4 Autres dommages	10
1.5 Renseignement sur le personnel	10
1.5.1 Pilote	10
1.5.1.1 Expérience de vol	11
1.5.1.2 Données aéronautiques et personnelles	11
1.5.2 Responsable de l'avitaillement B	11
1.5.3 Responsable de l'avitaillement C	12
1.6 Renseignements sur l'aéronef	12
1.7 Conditions météorologiques	14
1.7.1 Situation météorologique générale	14
1.7.2 Conditions météorologiques sur les lieux et au moment de l'accident	14
1.7.3 Informations météorologiques de l'aéroport	14
1.7.4 Conditions météorologiques selon les témoins	15
1.8 Aides à la navigation	15
1.9 Télécommunications	15
1.10 Renseignements sur l'aérodrome	15
1.10.1 Généralités	15
1.10.2 Equipement des pistes	16
1.10.3 Services de sauvetage et du feu	16
1.11 Enregistreurs de bord	16
1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact	16
1.12.1 Lieu de l'accident	16
1.12.2 Epave	16
1.13 Renseignements médicaux et pathologiques	17
1.14 Incendie	17
1.15 Questions relatives à la survie des occupants	18
1.15.1 Mesures de sauvetage	18
1.15.2 Causes des blessures	18
1.16 Essais et recherches	18
1.16.1 Trajectoire de vol	18
1.16.2 Echantillons de carburant	19
1.16.2.1 Echantillon prélevé dans le filtre principal de l'amenée de carburant à gauche	19
1.16.2.2 Echantillons prélevés dans les pompes de carburant	19
1.16.3 Moteurs	19
1.16.4 Instruments	20
1.16.4.1 Tachymètre	20
1.16.4.2 Instrument multiple pour la surveillance des moteurs	20

1.16.5	Ceintures de sécurité	21
1.16.5.1	Enquête	21
1.16.5.2	Examen et entretien de l'appareil	21
1.16.6	Détermination du type de carburant et des plaquettes distinctives	21
1.16.6.1	Généralités	21
1.16.6.2	Plaquettes distinctives sur l'appareil	22
1.16.7	Bouches d'alimentation	23
1.16.8	Dispositif d'avitaillement	23
1.16.8.1	Camion-citerne	23
1.16.8.2	Embouts	24
1.16.9	Procédure d'avitaillement	24
1.16.9.1	Généralités	24
1.16.9.2	Quittances d'achat de carburant pour le HB-LTC	24
1.16.10	Formation du personnel chargé du ravitaillement	25
1.17	Renseignements sur les organismes et la gestion	26
1.17.1	Lemanair Executive SA	26
1.17.2	Jet Aviation Zurich SA	26
1.17.2.1	Service d'avitaillement	26
1.17.2.2	Assurance qualité	26
1.17.3	Office fédéral de l'aviation civile	27
1.17.3.1	Directives et prescriptions	27
1.17.3.2	Inspections	27
1.17.3.3	Examen de l'appareil	27
1.18	Renseignements supplémentaires	27
1.18.1	Capacité et utilisation des réservoirs du PA31-350	27
1.18.2	Ressemblance apparente de différents modèles	28
2	Analyse	29
2.1	Aspects techniques	29
2.1.1	Mélange de carburant et panne des moteurs	29
2.1.2	Ceintures de sécurité	30
2.2	Facteurs de risque	30
2.2.1	Tubes de refoulement	30
2.2.2	Formation des pompistes	30
2.2.3	Assurance qualité et inspections	31
2.3	Aspects opérationnels	31
2.3.1	Commande de carburant	31
2.3.2	Avitaillement	31
2.3.3	Vol d'accident	32
2.4	La chaîne des événements en bref	34
3	Conclusions	35
3.1	Faits établis	35
3.2	Causes	38
4	Recommandations et mesures adoptées pour améliorer la sécurité aérienne	39
4.1	Recommandations de sécurité	39
4.1.1	Prescriptions et directives concernant l'avitaillement des avions	39
4.1.1.1	Défaut de sécurité	39
4.1.1.2	Recommandation de sécurité 2003-1	39
4.1.2	Harmonisation des équipements d'avitaillement et des systèmes de désignation	39
4.1.2.1	Défaut de sécurité	39
4.1.2.2	Recommandation de sécurité 2003-2	39

4.1.3	Amélioration des systèmes de ceintures de sécurité	39
4.1.3.1	Défaut de sécurité	39
4.1.3.2	Recommandation de sécurité 2003-3	39
4.2	Mesures prises depuis l'accident pour améliorer la sécurité aérienne	40
4.2.1	Jet Aviation Zurich SA	40
4.2.2	Office fédéral de l'aviation civile	40

Annexes 1-5

Bureau d'enquête sur les accidents d'aviation

Rapport final n° 1767

Propriétaire:	Debis Leasing AG, Wagistrasse 21, 8952 Schlieren ZH
Exploitant:	Lemanair Executive SA, route de l'Aéroport 5, 1215 Genève Aéroport
Type d'aéronef:	Piper PA31-350 Navajo Chieftain <i>modified to Panther II</i>
Nationalité:	Suisse
Marque d'immatriculation:	HB-LTC
Lieu:	Aéroport de Zurich, Commune de Rümlang ZH
Date et heure:	26 mai 2000, 20:23 ¹

Synopsis

Bref exposé des faits

Le vendredi 26 mai 2000 à 19:10, l'avion PA31-350 Navajo Chieftain Panther II, HB-LTC s'est posé à Zurich avec sept passagers à bord, en provenance de Béziers (F). Or, par erreur, l'appareil a été approvisionné avec 100 l de kérosène (JET A-1) au lieu d'essence d'aviation (*aviation gasoline* – AVGAS). A 20:21, seul à bord, le pilote a fait décoller sa machine de la piste 28 de l'aéroport de Zurich afin de revenir à Genève. Peu après le décollage, les deux moteurs ont calé et l'appareil a chuté alors qu'il effectuait un virage. Le pilote a succombé à ses blessures et l'aéronef a été détruit.

Enquête

L'accident s'est produit le 26 mai 2000 à 20:23. A 20:30, la Garde Aérienne Suisse de Sauvetage (REGA) a alarmé le Bureau d'enquêtes sur les accidents d'aviation (BEAA). L'enquête a été ouverte le 26 mai 2000 vers 22:00 sur les lieux de l'accident et en collaboration avec les forces de sauvetage et la police cantonale de Zurich.

¹ Sans autre mention, les heures indiquées le sont en heure locale et correspondent à l'heure d'été de l'Europe centrale MESZ (UTC + 2 h)

L'enquête conclut aux causes suivantes de l'accident:

- Un malentendu s'est produit lors de la commande de carburant.
- Le responsable de l'avitaillement n'a pas reconnu la plaquette distinctive apposée sur l'aéronef.
- Ledit responsable n'a pas remarqué que l'aéronef était équipé de moteurs à pistons.
- Le pilote n'a pas remarqué les inscriptions figurant sur le véhicule d'avitaillement.
- Il n'a pas non plus remarqué l'erreur commise en signant la quittance d'achat de carburant.

Les facteurs suivants ont contribué à l'accident, voire l'ont favorisé:

- L'embout du pistolet distributeur présentait un diamètre qui permettait d'avitailler l'aéronef accidenté.
- Le niveau de formation et de connaissances du personnel concerné responsable de l'avitaillement était insuffisant.
- Avant l'accident, l'Office fédéral de l'aviation civile (OFAC) n'a jamais inspecté la station d'avitaillement.
- Jusqu'à l'accident, l'OFAC n'avait pas édicté de directives concernant la formation du personnel en charge de l'avitaillement, les dimensions des embouts des pistolets distributeurs ou des orifices des réservoirs des aéronefs, voire concernant le marquage des pistolets distributeurs et des orifices des réservoirs.

Par ailleurs, les facteurs suivants ont probablement contribué à l'issue fatale:

- Le pilote a choisi de faire un virage qui l'a fait entrer en collision avec des obstacles.
- Le mécanisme de retenue des bretelles n'a pas fonctionné.

Au cours de l'enquête, le BEAA a émis trois recommandations de sécurité.

1 Renseignements de base

1.1 Faits antérieurs et déroulement du vol

1.1.1 Faits antérieurs

Les 25 et 26 mai 2000, l'aéronef HB-LTC a effectué un vol commercial aller-retour entre Zurich et Béziers (F). Auparavant, le pilote a procédé à un vol à vide le 24 mai 2000 de Genève à Zurich. Les événements suivants ont été reconstruits sur la base des enregistrements radio et à l'aide des dépositions de témoins.

Le 25 mai 2000, vers 07:20, le pilote a téléphoné au service d'avitaillement de la SA Jet Aviation Zurich. Aux dires de A, responsable concerné, le pilote a exigé au téléphone un plein d'essence d'aviation (*aviation gasoline* – AVGAS) en vue d'effectuer un vol vers la France. Lorsque le responsable A est arrivé avec son camion citerne près de l'avion, le pilote était présent. Constatant que le HB-LTC comportait des *winglets* (dérives inclinées de bout d'ailes), le responsable A a demandé au pilote si l'appareil avait été modifié et s'il nécessitait donc du pétrole pour avion. Mais avant même d'être en possession de la réponse du pilote, A a reconnu, au vu du carénage anguleux du moteur, que l'appareil était équipé de moteurs à pistons. Le pilote a confirmé que le HB-LTC avait été modifié, soulignant cependant que seule la cellule était touchée et que la machine n'avait pas été transformée pour fonctionner avec des turbomoteurs.

Il s'ensuit que le responsable de l'avitaillement A a rempli les quatre réservoirs du HB-LTC avec 372 l d'AVGAS 100LL (*low lead*, faible teneur en plomb). L'avion avait ainsi ses réservoirs pleins et disposait à ce moment de 726 l de carburant.

Dans le procès-verbal, le responsable de l'avitaillement A a admis qu'il n'avait remarqué aucune indication sur l'aile ou sur les bouchons des réservoirs signalant les carburants autorisés pour cet aéronef.

Durant cette opération qui s'est achevée vers 07:30, le pilote se trouvait dans le cockpit. Une fois le plein effectué, personne n'a observé qu'il ait prélevé un échantillon de carburant (*draining*) de ses réservoirs.

Les sept passagers du vol pour Béziers (F) se sont retrouvés le 25 mai 2000 vers 8 heures du matin au *General Aviation Center* (GAC) de l'aéroport de Zurich. A 08:18:42, le pilote a obtenu du contrôle de l'aire de trafic (*Zurich Apron* – ZRH APR) l'autorisation de démarrer les moteurs (*start-up clearance*) et à 08:26:25, il s'est annoncé prêt à rouler. L'autorisation lui a immédiatement été donnée et l'appareil s'est dirigé vers le point d'attente de la piste 28. Ultérieurement, plusieurs passagers ont signalé que le pilote ensuite a contrôlé les moteurs à cet endroit. A 08:32:01, le HB-LTC s'est annoncé au contrôle d'aérodrome (*Zurich Tower* – ZRH TWR) comme étant prêt à décoller. L'appareil a été intégré dans le trafic et a obtenu à 08:45:27 l'autorisation de décoller. Deux heures plus tard, il a atterri à Béziers (F).

Le 26 mai 2000 à Béziers, le HB-LTC s'est avitaillé entre 15:35 et 15:45 pour 107 l d'AVGAS 100LL, avant de décoller avec les mêmes passagers pour rentrer à Zurich, où l'atterrissage a eu lieu à 19:10.

1.1.2 Déroutement du vol

Avant de rentrer à Genève, le pilote semble s'être décidé à prendre une nouvelle fois du carburant. Selon le responsable de l'avitaillement B, le pilote a commandé par téléphone vers 19:45 du carburant „*Kraftstoff JET-A1*“.

Contrairement aux téléphones effectués par les services de contrôle des vols de l'aéroport de Zurich, les liaisons téléphoniques de et pour le service d'avitaillement de la SA Jet Aviation Zurich ne sont pas enregistrées. Dès lors, il est impossible de connaître avec certitude l'énoncé précis de la commande de carburant effectuée par le pilote.

Par radio, le responsable de l'avitaillement B a transmis la commande à son collègue C. Un troisième collègue, D a entendu par radio comment B transmettait à C l'ordre d'avitaillement en carburant JET A-1 l'aéronef HB-LTC. Sur ce, le responsable de l'avitaillement C est parti avec le véhicule FL 7 en direction du HB-LTC, qui était parké dans le secteur 1 du GAC. Selon lui, il a placé son véhicule de manière que le côté droit se trouve à l'avant de l'avion, lui permettant d'atteindre avec le tuyau d'essence sortant de ce côté les orifices des réservoirs de carburants des deux ailes.

Se trouvant encore dans le véhicule, C a commencé de remplir le bon de commande tandis que le pilote venait vers lui et lui commandait en anglais la quantité désirée. Etant donné que le pilote lui présentait une carte de crédit, le responsable de l'avitaillement C l'a informé qu'il devait se rendre au bureau pour procéder au décompte, une fois l'avitaillement effectué. Le pilote a signalé qu'il disposait d'un *slot*². Par la suite, dans le procès-verbal, C a indiqué qu'il a compris cela comme si le pilote n'avait pas beaucoup de temps à disposition. Il lui a donc répondu que cela ne prendrait pas plus de deux ou trois minutes supplémentaires.

Etant donné que juste avant l'avitaillement, il a commencé de pleuvoir, le pilote s'est retiré semble-t-il après la discussion avec C à l'intérieur de son appareil. Selon sa partenaire, le pilote l'a alors brièvement appelée à partir de son téléphone portable. L'enquête a montré que cette liaison téléphonique a été établie entre 19:50:06 et 19:51:28.

Entre-temps, le responsable de l'avitaillement C a connecté son véhicule au HB-LTC et rempli les deux réservoirs principaux (*inboard main cells*) de 50 l chacun de pétrole pour avions JET A-1. Par la suite, il a dit ne pas avoir constaté sur les bouchons ou à proximité des orifices des réservoirs une signalisation ou des inscriptions indiquant les carburants à utiliser pour cet appareil.

Puis, il est retourné au bureau avec son véhicule, a débité la carte de crédit et l'a ramenée à l'avion avec la quittance et le bon de livraison. Là, il a fait signer au pilote l'ordre de débit et le bon de livraison. Il a alors demandé au pilote de quel modèle de HB-LTC il s'agissait. Le pilote a répondu que son avion était un PA31 modifié. Le responsable de l'avitaillement a donc indiqué „PA31“ sur le bulletin de livraison et en a transmis le double au pilote.

² *slot*: fenêtre de temps libérée par le contrôle d'aérodrome pour le décollage ou l'atterrissage ou l'utilisation d'une voie aérienne

A 20:08:44, le pilote a établi un contact radio avec les services de contrôle *Zurich Clearance Delivery* (ZRH CLD) et obtenu l'autorisation de départ avec indication de passer sur la fréquence de ZRH APR pour l'autorisation de mise en marche. A 20:10:00, le contrôle de l'aire de trafic donne au HB-LTC l'autorisation de départ (*start-up clearance*). Trois minutes et 50 secondes plus tard, le pilote demande l'autorisation de rouler et on lui indique qu'il peut rouler jusqu'au point d'attente de la piste 28. Après le transfert à ZRH TWR à 20:15:02, le pilote s'annonce prêt à partir à 20:17:30. Peu de temps après, il peut s'aligner sur la piste 28 et ZRH TWR l'autorise à décoller à 20:20:58.

Selon les témoins, le HB-LTC s'est élevé normalement et les a survolés dans un vol ascensionnel. Puis à proximité du croisement des pistes 28/16 et à une hauteur d'environ 50 m AGL³, l'appareil a cessé de s'élever, a brièvement volé à l'horizontale et a commencé de descendre légèrement. Simultanément, l'appareil a amorcé une légère courbe à droite et a survolé la forêt située au nord de la piste 28. A 20:22:08, observant l'évolution inhabituelle du vol, le contrôleur du trafic aérien en service (*aerodrome controller*⁴ - ADC) a demandé au pilote si tout se déroulait comme prévu: „*Tango Charlie, normal operations?*“ Le pilote a répondu par la négative: „*(Ne)gative, Hotel Tango Charlie!*“

Durant cette phase, la machine a entamé une courbe à gauche avec une forte inclinaison latérale et les témoins ont observé comment le train d'atterrissage était sorti. A 20:22:21, le pilote a lancé par radio le message „*Mayday, Mayday, Mayday, Hotel Tango Charlie*“, indiquant qu'il était en détresse. Alors qu'il parcourait les premiers 90° de la courbe, le HB-LTC n'a que peu plongé. Après avoir croisé l'axe prolongeant la piste 28, l'appareil a perdu toujours plus de hauteur en entreprenant un virage serré à gauche. Alors qu'il était prêt d'achever son virage, son inclinaison latérale s'est de nouveau réduite. A 10 m AGL, le HB-LTC a heurté les arbres d'un bosquet, qu'il a traversé avant de s'abîmer sur le dos dans la rivière, la Glatt. Durant cette chute, le pilote a été mortellement blessé.

Coordonnées du lieu de l'accident: 682 700/256 700, altitude: 420 m/M soit 1378 ft AMSL⁵.

Carte nationale de la Suisse au 1:25000, Feuillet No 1071, Bülach

³ m AGL – *meter above ground level*: hauteur donnée en mètres par rapport au sol

⁴ Contrôleur aérien rattaché au centre de contrôle TWR

⁵ ft AMSL – *feet above mean sea level*: altitude en pieds calculée à partir du niveau de la mer

1.2 Tués et blessés

Blessures	Membres d'équipage	Passagers	Autres personnes
Mortelles	1	-	-
Graves	-	-	-
Légères/Aucune	-	-	-

1.3 Dommages à l'aéronef

L'appareil a été détruit.

1.4 Autres dommages

Les dégâts concernent surtout les cultures et les champs. Afin de protéger la Glatt, on a érigé des barrages à hydrocarbures en aval du lieu de l'accident. Selon l'office cantonal zurichois des déchets, des eaux, de l'énergie et de l'air (AWEL), la pollution des eaux qui en est résultée peut être considérée comme minime.

1.5 Renseignement sur le personnel

1.5.1 Pilote

Données personnelles:	+Citoyen suisse, né en 1957
Licences:	Licence de pilote professionnel délivrée par l'Office fédéral de l'aviation civile, valable jusqu'au 22.10.2000 <i>Commercial Pilot Licence for multiengine airplane land and instrument airplane</i> , délivrée par la Federal Aviation Administration (FAA) des Etats-Unis d'Amérique
Autorisations:	Avions monomoteurs certifiés monopilotes et multimoteurs à pistons certifiés monopilotes et avec une masse maximale admissible au décollage n'excédant pas 5700 kg, équipés de volets d'atterrissage, d'une hélice à pas variable et d'un train d'atterrissage escamotable. Inscription de type pour Piper PA31/42, acquise à l'occasion d'un contrôle IFR du 24.5.00, valable jusqu'au 24.5.01
Extensions:	Vol de nuit, licence internationale de radiotéléphoniste navigant pour vol à vue (VFR)

Dernier contrôle <i>IFR</i> ⁶ :	24.5.00, valable jusqu'au 24.5.01
Dernier examen médical AMC:	12.4.2000, déclaré apte sans restrictions
Langues:	Français: langue maternelle
	Anglais: bonnes connaissances orales et écrites
	Allemand: niveau scolaire

1.5.1.1 Expérience de vol

Au total:	Environ 1119 h
Sur le type d'avion accidenté:	Environ 9 h
Au cours des 180 derniers jours:	Environ 39 h, dont 9 h avec l'avion accidenté
Début de la formation aéronautique:	1985

1.5.1.2 Données aéronautiques et personnelles

L'entourage du pilote et les passagers l'ont décrit comme quelqu'un de sérieux, d'attentif et de correct. Lors du *contrôle IFR* du 24 mai 2000, les experts ont noté ses capacités aéronautiques avec la note 2+ , soit „*marginal plus*“ (faible à moyen) sur une échelle de 1 à 4⁷.

1.5.2 Responsable de l'avitaillement B

Données personnelles:	Citoyen allemand, né en 1955
Expérience professionnelle:	Employé depuis 1990 chez Jet Aviation en tant que responsable de l'avitaillement.
Licences de vol:	Aucune
Langues:	Allemand: langue maternelle
	Anglais: niveau scolaire
	Français: aucune connaissance

⁶ IFR – *instrument flight rules*: règles de vol aux instruments

⁷ Système de notation: 1 = *not qualified* – non qualifié, 2 = *marginal* - faible, 3 = *standard* - moyen, 4 = *high standard* – supérieur à la moyenne.

1.5.3 Responsable de l'avitaillement C

Données personnelles:	Citoyen allemand, né en 1957
Expérience professionnelle:	Deux années de service en tant que soldat contractuel dans la Bundeswehr allemande, responsable de l'avitaillement des hélicoptères d'un escadron de l'armée. Employé depuis 1990 chez Jet Aviation en tant que responsable de l'avitaillement.
Licences de vol:	Aucune
Langues:	Allemand: langue maternelle Anglais: bonnes connaissances orales Français: bonnes connaissances orales

1.6 Renseignements sur l'aéronef

Fabricant:	New Piper Aircraft Corporation
Type d'aéronef:	PA31-350 Navajo Chieftain <i>modifié en</i> Panther II
Caractéristiques:	Avion bimoteur à ailes basses de construction métallique, avec train d'atterrissage escamotable (train tricycle). Le cockpit comprend deux places assises tandis que la cabine passagers offre six places.
Numéro d'usine:	31-7952003
Année de construction:	1979
Certificat de navigabilité à l'exportation:	E361826, établi par la Federal Aviation Administration (FAA)
Certificat de navigabilité:	Etabli le 24.5.2000 par l'Office fédéral de l'aviation civile, valable jusqu'à révocation
Certificat d'immatriculation:	Etabli le 28.3.2000 par l'Office fédéral de l'aviation civile
Champ d'utilisation:	Opérations techniques particulières : VFR de jour et de nuit, IFR; B-RNAV ⁸

⁸ B-RNAV – *basic area navigation*: Navigation de surface – Méthode de navigation permettant le vol sur toute trajectoire voulue, à condition que celle-ci se trouve à proximité des aides à la navigation, c'est-à-dire que les systèmes de bord soient en mesure de définir constamment une position suffisamment précise.

Moteur gauche:	Textron Lycoming Division, moteur à pistons à 6 cylindres opposés (type Boxer), à refroidissement à air et à compresseur, modèle TIO-540-J2BD, n° d'usine L-8550-61A
Moteur droit:	Textron Lycoming Division, moteur à pistons à 6 cylindres opposés (type Boxer), à refroidissement à air et à compresseur, modèle TIO-540-J2BD, n° d'usine L-1726-68A
Hélice gauche:	Hartzell, hélice à régime constant et commande hydraulique, type HC-C4YR-2/FC 7663DB-6Q, numéro d'usine FH 740, année de fabrication 1995
Hélice droite:	Hartzell, hélice à régime constant et commande hydraulique, type HC-C4YR-2L/FJC 7663DB-6Q, numéro d'usine FH 718, année de fabrication 1994
Heures d'exploitation:	Environ 8387:30 h
Entretien:	Le 10.5.00, un contrôle des 100 h a été effectué alors que l'appareil comptait 8380:48 heures d'exploitation.
Examen de l'appareil:	Etant donné que l'appareil a été importé des Etats-Unis avant d'être mis en circulation en Suisse, l'Office fédéral de l'aviation civile a procédé le 8 mars et le 15 mai 2000 à deux examens techniques de l'avion HB-LTC. A cette occasion, il a constaté plusieurs défauts minimes. Ces anomalies ne concernaient toutefois pas le système des ceintures de sécurité.
Carburant:	AVGAS 100LL
Réserves de vol:	Le plein a été effectué à Zurich le 25 mai 2000. Pour voler de Zurich à Béziers, les moteurs ont consommé environ 305 l de carburant, compte tenu du manuel de vol de l'avion (<i>aeroplane flight manual</i> – AFM). Le 26 mai 2000, à Béziers, 107 l de carburant AVGAS 100LL ont encore été ajoutés. On admet que pour le retour sur Zurich, la consommation de carburant a été identique. Partant, avant le décollage pour Genève, il devait encore rester environ 220 l d'AVGAS 100LL dans les réservoirs, ce qui correspond à une réserve de vol d'environ 1:40 h.

Poids et centre de gravité: Pour cet appareil, la masse maximale admise au décollage était de 3342 kg. Partant, avec une seule personne à bord et 320 l de carburant, le poids et le centre de gravité se trouvaient dans les limites autorisées.

1.7 Conditions météorologiques

1.7.1 Situation météorologique générale

Entre une faible haute pression centrée sur la Pologne et un couloir dépressionnaire s'étendant du golfe de Gascogne à la Scandinavie par-dessus les îles britanniques, de l'air toujours plus humide s'écoulait du sud-ouest en direction des Alpes. Une dépression secondaire était centrée sur la Manche. Au moment de l'accident, la Suisse se situait dans le secteur chaud du front polaire lié à cette dépression.

1.7.2 Conditions météorologiques sur les lieux et au moment de l'accident

Météo/Nébulosité: 1 – 2/8 avec base à 5500 ft AMSL, 3 – 4/8 avec base à 7500 ft AMSL, 5 – 7/8 avec base à 9500 ft AMSL, faibles ondées

Visibilité: 10 km

Vent: Au sol, provenance de 230° à 5 kt
A 1700 ft AMSL, provenance de 230° à 8 kt
A 2100 ft AMSL, provenance de 200° à 6 kt

Température/point de rosée: 21 °C/15 °C

Pression barométrique: QNH 1013 hPa

Dangers: Aucun

Position du soleil: Azimut: 295° Angle: 17°

1.7.3 Informations météorologiques de l'aéroport

Au moment de l'accident, le METAR suivant (informations météorologiques de l'aéroport) était en vigueur:

261820Z 23005KT 9999 –SHRA FEW040 SCT060 BKN080 21/15 Q1013 TEMPO NSW

En texte clair, cela donne: le 26 mai 2000 à 18:20 UTC = 20:20 heures locales, les conditions météorologiques suivantes ont été observées à l'aéroport de Zurich:

Vent: Provenance de 230° à une vitesse de 5 nœuds

Visibilité météorologique: Supérieure à 10 km

Précipitations:	Faibles ondées
Nébulosité:	1-2/8 à 4000 pieds au-dessus de l'aéroport 3-4/8 à 6000 pieds au-dessus de l'aéroport 5-7/8 à 8000 pieds au-dessus de l'aéroport
Température:	21 °C
Point de rosée:	15 °C
Pression barométrique:	1013 hPa, Pression réduite au niveau de la mer selon les valeurs de l'atmosphère standard définies par l'OACI.
Prévisions à court terme:	Dans les deux heures, il faut s'attendre aux conditions météorologiques suivantes: durant une certaine période, pas des éléments de temps significatif. La durée du changement devrait être inférieure à une heure.

1.7.4 Conditions météorologiques selon les témoins

Plusieurs témoins ont évoqué une ondée, voire une forte pluie, au moment où le HB-LTC faisait le plein le 26 mai 2000, très probablement entre 19:45 et 20:00.

1.8 Aides à la navigation

Non concernées.

1.9 Télécommunications

Le contact radio entre le pilote et les contrôleurs des différents organes du contrôle de la circulation aérienne s'est déroulé conformément aux procédures normales. Les enregistrements des conversations radio qui concernent directement le vol accidenté figurent dans l'annexe 1.

1.10 Renseignements sur l'aérodrome

1.10.1 Généralités

L'aéroport UNIQUE Zurich Airport dispose de trois pistes:

Piste 16/34	dimensions 3700 x 60 m Altitude du revêtement de la piste 1390 ft/1386 ft AMSL
Piste 14/32	dimensions 3300 x 60 m Altitude du revêtement de la piste 1402 ft/1402 ft AMSL
Piste 10/28	dimensions 2500 x 60 m Altitude du revêtement de la piste 1391 ft/1416 ft AMSL

L'altitude de référence de l'aéroport est à 1416 ft AMSL, tandis que la température de référence est fixée à 24,0 °C.

1.10.2 Equipement des pistes

Les pistes 14 et 16 sont réservées aux approches de précision CAT III B.

Les autres pistes ne sont pas équipées pour de telles approches.

1.10.3 Services de sauvetage et du feu

Les services du feu de l'aéroport sont classés en catégorie 9.

1.11 Enregistreurs de bord

Non installés, non obligatoires.

1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact

1.12.1 Lieu de l'accident

L'épave de l'avion reposait sur le dos dans la rivière Glatt. La position des débris montrait que l'engin est dans un premier temps entré en collision avec des arbres, cela à quelques mètres du sol sur le flanc nord-ouest de la petite forêt située à proximité. Des éléments de l'aile gauche ont été retrouvés dans un sapin tandis qu'une partie de l'aile droite pendait entre les branches d'un noyer. On a pu observer des arbres étêtés et des branches cassées jusqu'au chemin longeant la rive gauche. La plupart des débris étaient dispersés dans la tranchée produite par l'avion dans la forêt.

L'allure de la déformation des hélices a montré que les deux moteurs étaient à l'arrêt ou qu'ils fonctionnaient à un régime très réduit, lorsque les pales des hélices sont entrées en contact avec des obstacles situés dans le couloir de chute.

Le train d'atterrissage était sorti.

1.12.2 Epave

L'épave recueillie a été transportée à l'aéroport de Zurich pour y être examinée en détail. Cela a notamment permis de faire les constatations suivantes:

- Toutes les surfaces nécessaires à la portance de l'appareil et les commandes existaient.
- Un contrôle de visu du manche, du palonnier, des poulies de déviation, des câbles de commande et des tendeurs a montré que l'on ne pouvait conclure à un fonctionnement incorrect des commandes.
- A environ 20 cm des orifices des réservoirs (*inboard main cells*), il y avait des plaquettes distinctives de couleur ocre sur lesquelles figurait en lettres noires „CAUTION USE 100/130 GRADE FUEL OR HIGHER ONLY“ (cf. figure annexe 2).
- Il était possible de prélever du carburant à partir du filtre principal du système gauche d'amenée de carburant ainsi qu'à partir des pompes électriques des systèmes gauche et droit.

- Les deux clapets de sélection des réservoirs étaient en position „INBD TANK ON“ – *inboard tank on*. De la sorte, chacun des réservoirs situés dans les ailes à proximité de la carlingue (*inboard main cells*) était relié à un moteur.
- La vanne d'intercommunication (*crossfeed valve*) qui relie les deux systèmes de carburant était fermée, si bien que le système de carburant gauche était séparé de celui de droite.
- Les aiguilles indiquaient toutes deux que le niveau des réserves dans les réservoirs principaux (*inboard main cells*) se situait entre $\frac{1}{2}$ et $\frac{3}{4}$.
- Les manettes des gaz des deux moteurs se trouvaient tous deux près de la position la plus avancée, correspondant à la puissance de décollage maximale.
- Les deux manettes de commande du pas étaient en avant, dans la position qui correspond à un régime maximum, correspondant à un angle d'attaque réduit des pales.
- Les leviers des commandes de mélange des deux moteurs ont été retrouvés dans la position „plein riche“.
- Les quatre magnétos des deux moteurs étaient enclenchées.
- Les pompes électriques des deux systèmes de carburants étaient enclenchées.
- Une bougie d'allumage présentait une électrode cassée. Plusieurs bougies étaient encrassées.
- Les volets de capot (*cowl flaps*) du moteur gauche étaient fermés. Quant à la position de ces volets sur le moteur droit, elle n'a pas pu être définie.

1.13 Renseignements médicaux et pathologiques

Le corps du pilote a été transféré à l'Institut de médecine légale de l'Université de Zurich où il a été soumis à une autopsie qui comportait également des examens d'ordre chimique et toxicologique. L'expertise formule les conclusions suivantes:

« L'autopsie a montré que le pilote, âgé de 43 ans (nom du pilote), était décédé directement des suites de l'accident. La mort est due à une crise cardiaque suite à la dissection traumatique de la branche inter-ventriculaire antérieure de l'artère coronaire gauche. Il n'a pas été possible de déceler de maladie des organes internes antérieure à l'accident. »

« Les analyses chimico-toxicologiques n'ont pas mis en évidence de substances étrangères qui auraient eu des effets négatifs sur les fonctions intellectuelles et/ou physiques de (nom du pilote) au moment de l'accident. »

1.14 Incendie

Lorsque l'appareil a heurté le sol, du carburant a giclé et s'est enflammé. Le feu a surtout endommagé les parties de l'appareil non immergées dans la „Glatt“ et consumé les flaques de carburant et d'huile qui se sont formées à la surface de l'eau. Le service du feu de l'aéroport a éteint l'incendie en quelques minutes.

1.15 Questions relatives à la survie des occupants

1.15.1 Mesures de sauvetage

Le service de contrôle *aerodrome controller* (ADC) a immédiatement alerté le service du feu de l'aéroport et les forces de sauvetage sont rapidement arrivés sur place. Une fois éteint l'incendie consécutif au choc, on a pratiqué une ouverture dans la carlingue, faute de pouvoir entrer dans l'appareil par les portes, les sorties de secours ou les fenêtres.

A l'endroit où s'est produit l'accident, la Glatt présentait alors une profondeur de 70 à 100 cm. C'est pourquoi l'intérieur de l'appareil n'était que partiellement inondé. Les forces de sauvetage ont trouvé le corps du pilote dans la partie arrière de l'avion. Cela indique qu'après le choc, le pilote a encore pu quitter le cockpit.

L'émetteur de localisation d'urgence (*emergency location transmitter* - ELT) s'est déclenché lors du choc et a fonctionné.

1.15.2 Causes des blessures

Etant donné que la machine a été freinée sur un tronçon d'environ 50 m, la sollicitation qui en est résultée n'était pas a priori mortelle. Le pilote portait un système de ceintures de sécurité comportant une ceinture au niveau du bassin ainsi que des bretelles (cf. également chap. 1.16.5). Mais le mécanisme de retenue n'a pas fonctionné, si bien que la partie supérieure du corps du pilote a été précipitée contre les commandes durant la phase de freinage. Très probablement, ce choc est à l'origine de la dissection (séparation) traumatique de l'artère coronaire inter-ventriculaire antérieure qui a conduit à la crise cardiaque et est apparue lors de l'autopsie.

1.16 Essais et recherches

1.16.1 Trajectoire de vol

Le vol n'a duré qu'environ une minute et demie et la hauteur de vol du HB-LTC n'a pas sensiblement excédé 50 m AGL, de sorte qu'aucun des systèmes de radar qui surveillent la zone de l'aéroport n'a été en mesure d'en reproduire des éléments. Quant aux instruments de navigation par satellite GARMIN GNS 430 trouvés dans l'appareil, ils n'enregistrent pas la trajectoire de vol. Ils ne retiennent que les plans de vol et certains réglages au moyen d'une RAM⁹ alimentée par batteries. Dans le cas présent, on n'y a retrouvé aucune donnée après l'accident, parce que la batterie n'avait plus fonctionné. La trajectoire suivie par l'appareil jusqu'aux arbres à l'ouest de la rivière « Glatt » a été reconstituée à l'aide des observations des témoins.

Pour déterminer la configuration exacte au moment de la collision avec les obstacles se trouvant dans la trouée, le service scientifique (« Wissenschaftlicher Dienst » WD) de la police municipale de Zurich s'est servi de la photogrammétrie à images multiples. On a ainsi reconstitué la dernière phase de vol de l'appareil

⁹ RAM – *random access memory*: mémoire passagère dont le contenu s'efface lorsqu'on coupe l'alimentation.

accidenté (cf. annexe 3). Au moment de la première collision avec les arbres, l'appareil se trouvait à une hauteur d'environ 10 m AGL. Son inclinaison était alors de 12° - 13° vers la gauche. Ensuite le HB-LTC s'est dirigé d'environ 4° vers le bas. Etant donné sa position finale, il faut admettre qu'en traversant la forêt, la machine s'est retournée vers la gauche d'environ 180° dans l'axe de vol. Cela est confirmé par le fait qu'un groupe de sapins se trouvant dans la trouée a été abîmé (branches arrachées) sur une assez longue distance du côté opposé à la direction de vol, et courbé dans cette direction. L'extrémité de l'aile droite ayant été arrachée lors du contact initial avec les arbres à l'orée de la forêt, le moignon d'aile subsistant à droite a glissé vers le haut sur les troncs recourbés. Ce contact unilatéral a eu pour effet de retourner la machine dans le sens contraire des aiguilles d'une montre.

1.16.2 Echantillons de carburant

Le WD a analysé des échantillons de liquide prélevés dans le filtre principal de l'amenée gauche de carburant et dans les pompes électriques des deux groupes. Les composants volatils de ces échantillons ont été identifiés à l'aide de la spectrométrie de masse par chromatographie gazeuse. Le rapport à ce sujet constate:

1.16.2.1 Echantillon prélevé dans le filtre principal de l'amenée de carburant à gauche

« Les analyses indiquent que le liquide se trouvant dans le filtre de carburant gauche est un mélange d'AVGAS 100LL et de kérosène JET A-1. Les composants très volatils de l'AVGAS s'étaient déjà partiellement évaporés.

A l'intérieur de ce filtre, les deux types de carburant se trouvent dans un rapport d'environ 35 – 45 % vol. AVGAS 100LL pour 65 – 55 % vol. kérosène JET A-1. »

1.16.2.2 Echantillons prélevés dans les pompes de carburant

« Dans les deux cas, il s'agit d'un mélange d'AVGAS 100LL et de kérosène JET A-1. Les composants très volatils de l'AVGAS s'étaient déjà partiellement évaporés.

Les deux types de carburant se trouvent dans un rapport d'environ 60–80 % vol. AVGAS 100LL pour 40–20 % vol. kérosène JET A-1. »

1.16.3 Moteurs

Démontés, les deux moteurs Lycoming (L)TIO-540-J2BD ont été examinés avec l'aide d'un spécialiste du laboratoire pour moteurs à combustion interne et techniques de combustion de l'Institut des techniques énergétiques de l'Ecole polytechnique fédérale (EPF) de Zurich. Les constatations ci-après ont été faites:

- Les bielles avaient une coloration brune allant en s'accroissant du niveau de l'hélice vers l'arrière. Cela n'a rien d'extraordinaire, car les cylindres postérieurs d'un moteur boxer refroidi par air sont moins refroidis que ceux de l'avant. Ainsi les bielles se recouvrent d'une couche de plus en plus épaisse de vernis gras lorsque la température augmente. Ce vernis produit la coloration observée.
- La face supérieure des pistons examinés n'était ni déformée ni abîmée. On y a parfois observé une fine couche de suie.

- On n'a trouvé aucune marque de détérioration sur les cylindres examinés. De même, la zone des soupapes d'admission et d'échappement ne présentait aucune particularité.
- Rien n'indique des dégâts antérieurs à l'accident.
- A part une bougie d'allumage à l'électrode cassée, aucun dommage mécanique n'indique que les moteurs aient cogné. Cela s'explique vraisemblablement par leur faible durée de fonctionnement avec le mélange AVGAS / JET A-1. Il faut admettre qu'ils ont rapidement perdu de leur puissance, parce que le mélange de carburant n'était plus guère détonant, comme c'est le cas lorsque la part de kérosène dépasse 30 %.

1.16.4 Instruments

Parmi les instruments déposés après l'accident, le WD n'a pu étudier que le tachymètre des deux moteurs ainsi qu'un instrument multiple indiquant la pression de l'huile, sa température et celle des têtes de cylindres. Les experts ont retenu ceci:

1.16.4.1 Tachymètre

« Extérieurement, l'instrument est intact. Les aiguilles se rapportant aux moteurs gauche et droit sont placées l'une au-dessus de l'autre, l'aiguille « gauche » dessous.

Dans ces conditions, seule cette aiguille « gauche » peut imprimer une trace sur le cadran. L'aiguille « droite » en est trop éloignée.

Une trace en arc de cercle a été observée dans la zone „11 h“ de l'extrémité arrondie de l'aiguille « gauche ». Cela correspond au contrepoids d'équilibrage de cette aiguille (fig. 1 sup. et inf.). Il en résulte une indication proche de « zéro » RPM. Quant à la position de l'aiguille „droite“ au moment de l'impact, on ne peut pas se prononcer, vu les raisons indiquées plus haut (renvoi à la figure) »

1.16.4.2 Instrument multiple pour la surveillance des moteurs

« Cet instrument à 3 fonctions est également en bon état, extérieurement. Le boîtier avec inscription a été dévissé pour les besoins de l'enquête.

Sur l'instrument donnant la température des têtes de cylindres, on a décelé au bord du cadran des dépôts de peinture blanche provenant de l'aiguille de même couleur. Cette trace va de la position correspondant approximativement à 260 °F jusqu'à environ 100 °F. Ainsi au moment de l'impact, l'aiguille se trouvait aux alentours de 260 °F (fig. 2 en haut et au milieu).

Quant aux premières traces blanches des aiguilles indiquant la température de l'huile, elles se situent dans la zone de 150 °F. D'autres traces ponctuelles ont été discernées jusqu'au niveau d'environ 50 °F. On peut donc admettre qu'à l'origine, l'aiguille marquant approximativement 150 °F (fig. 2 en haut et en bas).

L'aiguille de la pression d'huile „PSI“ peut être déplacée librement sur le cadran. Une défectuosité due probablement à la chute de l'avion fait qu'elle n'est plus solidaire du mécanisme d'entraînement situé en-dessous. On n'observe aucune trace de l'aiguille sur le cadran. Dès lors, il n'existe pas, à ce niveau-là, d'indice de la position de l'aiguille au moment de l'accident (renvoi à la figure). »

1.16.5 Ceintures de sécurité

1.16.5.1 Enquête

Les blessures subies par le pilote indiquent que le système des ceintures de sécurité n'a pas fonctionné à satisfaction. Le WD a donc été chargé d'examiner en détail cet accessoire. Le rapport à ce sujet parvient aux conclusions ci-après:

« Etant donné les traces relevées sur la ceinture ventrale et sur les ceintures d'épaules, il faut admettre qu'elles étaient bouclées au moment de l'accident.

Les traces d'élongation sur l'ensemble des ceintures d'épaules indiquent que celles-ci ne se sont pas bloquées au moment de l'impact, mais qu'elles se sont déroulées entièrement avant de retenir le pilote.

Le non-bloquage du rouleau semble imputable à l'usure de ses composants métalliques. »

1.16.5.2 Examen et entretien de l'appareil

Etant donné que l'appareil a été importé des Etats-Unis avant d'être mis en circulation en Suisse, l'Office fédéral de l'aviation civile a procédé le 8 mars et le 15 mai 2000 à deux examens techniques de l'avion HB-LTC. A cette occasion, il a constaté plusieurs défauts minimes. Ces anomalies ne concernaient toutefois pas le système des ceintures de sécurité.

Lors du dernier contrôle des 100 h, le 10 mai 2000, on avait vérifié l'état des ceintures de sécurité et le fonctionnement du mécanisme enrouleur, selon le responsable de l'entreprise chargée des travaux. Il n'a été procédé au remplacement d'aucune pièce de ce système.

Les prescriptions d'entretien du fabricant de l'appareil (*Navajo Chieftain service manual*) comportent la disposition ci-après concernant un tel contrôle des ceintures: „*Inspect seats, seat belts, security and condition of brackets and bolts*“. Aux dires du responsable de l'entreprise chargée de l'entretien, il n'y a pas d'autre prescription du fabricant concernant l'entretien des ceintures.

1.16.6 Détermination du type de carburant et des plaquettes distinctives

1.16.6.1 Généralités

Pour pouvoir reconnaître immédiatement un type de carburant et en distinguer les différentes catégories, les sociétés pétrolières du monde entier ont adopté pour l'aviation les désignations et les couleurs proposées par l'American Petroleum Institute (API)¹⁰.

En vertu de ce système, au moment de l'accident, il existait dans le commerce trois catégories d'essence d'aviation (AVGAS) appelées „AVGAS 80“, „AVGAS 100“ et „AVGAS 100LL“. Ces catégories se différencient par les quatre caractéristiques ci-après :

¹⁰ cf. *Bulletin API 1542: Airport Equipment Marking for Fuel Identification, sixth edition, 1996*

- a) Indice d'octane dans un mélange pauvre (*lean mixture rating*)
- b) Indice d'octane dans un mélange riche (*rich mixture rating*)
- c) Teneur en tétraéthyle de plomb
- d) Coloration

Ainsi le type AVGAS 100LL possède un *lean mixture rating* de 100, un *rich mixture rating* de 130, on y mélange au maximum 2,0 ml de tétraéthyle de plomb par gallon américain et on le teint en bleu.

Pour les trois types de carburant, on indique systématiquement, en lettres blanches sur fond rouge, les *lean mixture ratings* sur des plaquettes spéciales. Chaque type d'AVGAS est muni d'une couleur déterminée: AVGAS 80 est teint en rouge, AVGAS 100 en vert et AVGAS 100LL en bleu, comme on vient de le voir.

Le système des désignations et colorations de l'API s'étend également à trois types de kérosène utilisés dans l'aviation civile pour l'alimentation des turbomoteurs. Des plaquettes distinctives indiquent, en lettres blanches sur fond noir, les catégories JET A, JET A-1 et JET B. Tous ces carburants sont livrés sans addition de colorant. Leur apparence naturelle va de l'incolore à une coloration jaunâtre.

Afin d'éviter les erreurs d'avitaillement, la General Aviation Manufacturers Association (GAMA) a introduit depuis assez longtemps déjà des désignations et des plaquettes distinctives s'appuyant sur le système de l'API¹¹. Les directives à ce sujet prévoient notamment que les plaquettes pour l'essence d'aviation doivent être bordées de rouge et porter le texte „AVGAS ONLY“. Pour le kérosène en revanche, ces plaquettes doivent être bordée de noir et porter le texte „JET FUEL ONLY“. De même, les instructions de la GAMA exigent que le pistolet d'avitaillement soit peint en rouge (AVGAS) ou en noir (kérosène).

1.16.6.2 Plaquettes distinctives sur l'appareil

Les prescriptions FAR¹² 23.1557(c)1 applicables au moment de la certification du PA31-350 exigeaient que le mot „FUEL“ fût inscrit sur l'orifice d'alimentation ou à proximité. Sur les avions à moteur à pistons, on doit aussi indiquer l'indice d'octane minimal du carburant. Une coloration particulière n'est pas exigée.

Depuis le 7 septembre 1993, la prescription FAR 23.1557(c) veut que sur les avions à moteur à pistons, le mot „AVGAS“ et l'indice d'octane minimal du carburant utilisé figurent sur le bouchon de réservoir ou à proximité. De leur côté, les bouches d'alimentation des turbomoteurs doivent être marquées „Jet Fuel“.

Environ 20 cm en avant des bouches d'alimentation des *inboard main cells*, on avait collé des plaquettes de couleur ocre avec l'inscription en lettres noires :

¹¹ cf. GAMA *Specification No. 3 Specification for Decal to Minimize the Misfueling of General Aviation Aircraft*, issued: July 1, 1982

¹² FAR – *Federal Aviation Regulations*: exigences de la FAA touchant la construction d'avions

„CAUTION USE 100/130 GRADE FUEL OR HIGHER ONLY“ (cf. figure dans l'annexe 2).

Ainsi les plaquettes distinctives fixées sur l'avions correspondaient aux directives applicables au moment de la certification. Elles étaient toutefois relativement peu visibles, leur couleur ne se détachant pas particulièrement du blanc des ailes.

1.16.7 Bouches d'alimentation

L'appareil HB-LTC possédait des bouches d'alimentation modifiées. Leur ouverture avait été munie d'une calotte qui en réduisait le diamètre maximal à 63,5 mm (2.5 inch). On avait en effet voulu diminuer l'ouverture initiale ayant 76 mm (3 inch) de diamètre afin de rendre impossible l'erreur d'une alimentation en kérosène. La transformation s'appuyait sur le *service bulletin* (SB) 797A, publié par le fabricant, la Piper Aircraft Corporation, le 2 avril 1985. Le 1er septembre 1987, ce même fabricant remplaçait le SB 797A par le SB 797B, qui déclarait la modification désormais obligatoire. Le 2 novembre 1987, les FAA adoptaient la consigne de navigabilité (*airworthiness directive* – AD) FAA AD 87-21-01, qui prescrivait l'application du SB 797B dans le délai d'une année. En conséquence, le 16 décembre 1987, l'OFAC mettait en vigueur l'AD HB-231, qui se rapportait au même objet.

Le SB et l'AD susmentionnés s'inscrivaient dans un programme de mesures prises à l'époque par l'industrie aéronautique afin d'empêcher les erreurs d'alimentation des avions. Parallèlement, les sociétés pétrolières s'efforçaient d'équiper tous les systèmes utilisés pour l'avitaillement en kérosène en les équipant d'embouts d'un diamètre extérieur de 67 à 75 mm.

Les inscriptions relatives à l'entretien du HB-LTC ne mentionnent pas l'exécution de la susdite modification. Les FAA AD 87-21-01 et le SB 797A/SB 797B sont déclarés „non applicable“. Etant donné le numéro d'usine de l'appareil, ils sont toutefois bel et bien applicables et ils ont du reste été appliqués, sans cependant que la modification soit inscrite dans le journal d'entretien.

1.16.8 Dispositif d'avitaillement

1.16.8.1 Camion-citerne

L'appareil HB-LTC a été alimenté en kérosène le 26 mai 2000 par le camion-citerne FL 7. Ce véhicule est équipé pour l'avitaillement à l'air libre d'avions en JET A-1. Il portait le logo de la firme Jet Aviation Zurich SA et était partiellement peint aux couleurs du fournisseur Shell. Sur les côtés et à l'arrière du véhicule, on avait monté les plaquettes distinctives conformes aux couleurs du système API ; on pouvait y lire l'inscription „JET A-1“ en lettres blanches sur fond noir (cf. fig. annexe 4). Ces autocollants aux dimensions de 10 x 38 cm présentaient un bon contraste par rapport à l'arrière-plan blanc.

Le camion-citerne FL 7 disposait sur le côté droit d'un tambour sur lequel s'enroulait le tuyau d'alimentation. Celui-ci se terminait par un pistolet muni d'un simple manchon dont le diamètre extérieur était de 44 ± 0.5 mm et la longueur de 142 ± 2 mm (cf. fig. annexe 5). Le pistolet tout entier, non peint, avait la couleur des matériaux constitutifs (couleurs gris métal/laiton).

1.16.8.2 Embouts

Il y a quelques années, après une série d'accidents survenus en Angleterre parce que des appareils à moteur à pistons avaient été alimentés par erreur en kérosène, la SA Jet Aviation Zurich a modifié les embouts des camions-citernes servant à l'alimentation en JET A-1. Les embouts transformés avaient un diamètre extérieur de 67 mm.

Or l'aéroport de Zurich accueillait également des appareils nécessitant du JET A-1 dont l'ouverture des réservoirs avait un diamètre inférieur à 67 mm, de sorte qu'après environ une demi-année, les pistolets d'avitaillement ont été rééquipés d'un embout d'environ 45 mm de diamètre extérieur.

Après l'accident, on a trouvé chez Jet Aviation Zurich un manchon modifié à partir d'un tube de sortie d'environ 45 mm de diamètre extérieur. Sur l'extrémité destinée à pénétrer dans l'ouverture du réservoir, on avait soudé radialement deux bandes métalliques d'environ 50 mm de largeur chacune, conférant au manchon un diamètre extérieur maximal de $67,5 \pm 0,5$ mm (cf. figure annexe 5). Ce manchon modifié n'aurait pas pu être introduit dans l'ouverture du réservoir du HB-LTC (cf. figure annexe 5).

1.16.9 Procédure d'avitaillement

1.16.9.1 Généralités

A l'époque où l'accident s'est produit, l'aéroport de Zurich connaissait les us et coutumes suivants pour l'avitaillement des appareils du trafic général (*general aviation*):

- L'ordre d'avitaillement était transmis par l'équipage à la SA Jet Aviation Zurich AG généralement par téléphone ou par radio. Seules les commandes passées par téléscripneur avaient la forme écrite.
- Pour l'avitaillement des appareils dont l'ouverture du réservoir ne comportait aucune plaquette distinctive, il existait une formule „FUEL ORDER FORM – BETANKUNGSauftrag“.
- Une fois l'opération terminée, l'acquéreur de carburant recevait un bordereau de livraison ou une quittance.

1.16.9.2 Quittances d'achat de carburant pour le HB-LTC

La SA Jet Aviation Zurich utilisait des fiches de quittance brun clair que le pompiste de service remplissait et donnait ensuite à signer au destinataire du carburant. Ces fiches comportaient un certain nombre de cases, dont deux réservées à l'indication du type de carburant livré. Dans la partie supérieure figuraient les propriétés physiques du carburant (densité, température et quantité), tandis que le bas était réservé à l'indication du montant payé. Les qualités de carburant JET A-1 et AVGAS 100LL apparaissaient dans des cases différentes, le pompiste devant remplir selon le cas la case „JET A-1“ ou la case „AVGAS 100LL“.

Le 25 mai 2000 (vol vers Béziers), le pompiste A a ravitaillé le HB-LTC au moyen de 372 l de AVGAS 100LL et remis au pilote une quittance sur laquelle il avait porté notamment les indications ci-après (*les indications manuscrites* sont reproduites ci-dessous dans des caractères différents):

- Case „AVGAS 100LL“: Density 705, 16 °C, Quantity in figures Lt 372
- Case facture, sur la ligne „AVGAS 100LL“: 372 Lt. à Fr. 1,06, Fr. 394,30

Sur la même quittance, le pilote a précisé ce qui suit :

Case „Customer“: *LEMANAiR Executive*

- Case „I acknowledge receipt of the above quantities Signature“: *signature*

Le lendemain 26 mai 2000, le ravitaillement du HB-LTC au moyen de 100 l de kérosène JET A-1 a fait l'objet d'une même quittance, sur laquelle on trouve en particulier les inscriptions suivantes, faites par le pompiste C (*les indications manuscrites sont reproduites dans des caractères différents*):

- Case „JET A-1“: Density 795, 24 °C, Quantity in figures Lt 100
- Case facture, sur la ligne „JET A-1“: 100 Lt. à Fr. 1,44, Fr. 144.-

Dans la case „JET A-1“, le timbre „VERZOLLT“ figure en caractères noirs de 6 mm de hauteur.

Sur la même quittance, le pilote a précisé ce qui suit :

- Case „Customer“: *LEMANAiR Executive, GENEVA Airport*
- Case „I acknowledge receipt of the above quantities Signature“: *signature*

1.16.10 Formation du personnel chargé du ravitaillement

L'enquête a montré que les pompistes A et B de la SA Jet Aviation qui ont ravitaillé le HB-LTC à Zurich avaient reçu une formation comparable:

Cette formation portait en particulier sur la conduite des différents véhicules-citernes servant à l'avitaillement à l'air libre et s'étendait à l'emploi de l'installation d'avitaillement sous pression, utilisée surtout pour les avions de ligne. Le nouveau collaborateur était instruit « sur le tas », son travail étant suivi et surveillé pendant quelques jours par un collègue expérimenté. Selon les indications de la SA Jet Aviation Zurich, tous les collaborateurs chargés de l'avitaillement des avions avaient participé à un cours sur le transport des marchandises dangereuses.

Quant au problème du ravitaillement erroné, les deux pompistes ont déclaré qu'ils avaient été instruits sur les différentes qualités de carburants et sur le sens de leur coloration spécifique. Pour distinguer les appareils ayant un moteur à pistons de ceux qui ont un turbomoteur, on leur a indiqué les caractéristiques suivantes: le capot d'un moteur à pistons est généralement plus carré que celui d'un turbomoteur ; et l'hélice du premier se laisse tourner facilement à la main, alors que la résistance de la compression se fait sentir sur celle du second.

Rien n'indique que les connaissances professionnelles de ce personnel aient jamais été vérifiées par un examen. Il n'y a pas eu non plus d'instruction systématique sur les différents types d'avions et sur leurs moteurs.

On a également constaté que les prescriptions du fournisseur de carburant concernant le ravitaillement n'apparaissaient qu'en anglais.

1.17 Renseignements sur les organismes et la gestion

1.17.1 Lemanair Executive SA

La SA Lemanair Executive était une entreprise d'aviation pour voyages d'affaires. Au moment de l'accident, le HB-LTC était son seul appareil.

L'Office fédéral de l'aviation civile (OFAC) avait suspendu le 9 novembre 1999 l'autorisation d'exploitation pour le transport commercial de personnes et de marchandises, après la vente de l'unique avion, un Piper PA34 Seneca. Après l'acquisition du HB-LTC, Lemanair Executive SA a demandé une licence de transporteur aérien (*air operator certificate – AOC*) afin de faire remettre en vigueur ou octroyer à nouveau l'autorisation d'exploitation. L'OFAC lui a fait savoir le 20 avril 2000 que les documents présentés par l'entreprise ne pourraient pas être examinés avant la fin de mai 2000. L'office a alors précisé que l'entreprise se verrait proposer avant cette échéance une date en vue de fixer la marche à suivre pour la remise en vigueur de l'autorisation d'exploitation. Ainsi, au moment de l'accident, l'appareil HB-LTC n'était admis qu'au transport de passagers privé.

Il ressort des documents de Lemanair Executive SA trouvés dans l'appareil que le vol fatal avait lieu à vide (*positioning*).

1.17.2 Jet Aviation Zurich SA

1.17.2.1 Service d'avitaillement

Au moment de l'accident, la SA Jet Aviation Zurich opérait sur l'aéroport de Zurich comme entreprise d'entretien d'avions, à laquelle était rattaché un service d'avitaillement. Elle disposait pour cela d'une licence de son fournisseur Shell.

Selon les indications fournies par la SA Jet Aviation, l'activité du service d'avitaillement était régie par les directives de la firme Shell et par les „*Guidelines for Aviation Quality Control and Operating Procedures for Joint into-plane fuelling services*“.

Le service d'avitaillement était dirigé par un *refuelling manager*, qui réglait l'engagement des pompistes. Ses collaborateurs travaillaient par équipes ; ils assuraient tant le ravitaillement des avions de ligne (avitaillement sous pression) que celui des appareils de *general aviation* (avitaillement à l'air libre).

1.17.2.2 Assurance qualité

La SA Jet Aviation Zurich disposait de sa propre assurance qualité interne. L'entreprise n'exécutait pas d'audits internes sur son service d'avitaillement.

Il n'a pas été trouvé de documents attestant que le fournisseur Shell aurait soumis le service d'avitaillement de Jet Aviation à un examen ou à un audit.

1.17.3 Office fédéral de l'aviation civile

1.17.3.1 Directives et prescriptions

Selon l'OFAC, il n'existe ni directives ni prescriptions concernant la formation des pompistes d'avions. On n'a pas fixé en particulier l'ampleur des connaissances ou de la formation exigées d'eux. Toujours selon l'OFAC, les entreprises sont responsables elles-mêmes de la formation.

Il n'existe pas de prescriptions de l'OFAC régissant l'apposition de plaquettes distinctives du carburant sur les avions. Les seules dispositions à ce sujet se trouvent dans les *Federal Aviation Regulations*.

Au moment de l'accident, il n'existait pas de directives ou de prescriptions de l'OFAC concernant la couleur à donner aux pistolets d'avitaillement. Après l'accident, une directive a été adaptée dans ce sens (cf. ch. 4.2.2).

Les directives de l'OFAC ne portent pas sur les dimensions des embouts des pistolets d'avitaillement ni sur celles des orifices d'avitaillement des avions.

1.17.3.2 Inspections

L'OFAC est responsable de l'inspection des entreprises d'avitaillement.

Le service d'avitaillement de Jet Aviation Zurich n'a jamais été inspecté par l'OFAC avant le 26 mai 2000. Après l'accident, un responsable du processus Installations de l'OFAC a visité les équipements le 22 janvier 2001.

1.17.3.3 Examen de l'appareil

L'admission à la circulation et l'examen des aéronefs incombent à l'Office fédéral de l'aviation civile.

Etant donné que l'appareil a été importé des Etats-Unis avant d'être mis en circulation en Suisse, l'Office fédéral de l'aviation civile a procédé le 8 mars et le 15 mai 2000 à deux examens techniques de l'avion HB-LTC. A cette occasion, il a constaté plusieurs défauts minimes. Ces anomalies ne concernaient toutefois pas le système des ceintures de sécurité.

1.18 Renseignements supplémentaires

1.18.1 Capacité et utilisation des réservoirs du PA31-350

Le système d'alimentation du modèle PA31-350 comprend deux groupes de réservoirs, assurant à chaque moteur sa propre alimentation. En cas de besoin, les deux groupes peuvent être reliés par une vanne d'intercommunication (*cross-feed valve*) ; les deux moteurs sont alors alimentés par un seul groupe.

Chacun des deux groupes de réservoirs montés dans les ailes comporte un réservoir principal (*inboard main cell*), proche de la carlingue et un réservoir auxiliaire (*outboard auxiliary cell*), plus éloigné d'elle. Les *inboard main cells* ont chacun une capacité de 212 l, dont 200 l peuvent être consommés. Les *outboard auxiliary cells* ont une capacité de 151 l chacun et leur volume utile est de 144 l. Ainsi la capacité maximale de carburant du PA-31-350 dans l'exécution décrite est de 726 l, dont 688 l utilisables, au maximum.

Les listes de contrôle du PA31-350 Chieftain modified to Panther II prévoient l'alimentation des moteurs par les réservoirs principaux (*inboard main cells*) du démarrage jusqu'au passage en vol de croisière, ainsi que du début du vol en descente jusqu'à l'arrêt. En croisière, le manuel de vol (AFM) recommande d'utiliser d'abord les réservoirs extérieurs (*outboard auxiliary cells*), tant que le centre de gravité de l'appareil se situe relativement en arrière. Cela tend à être le cas en situation de charge maximale.

1.18.2 Ressemblance apparente de différents modèles

Il n'est pas rare que des séries d'appareils de l'aviation générale puissent être obtenus avec moteur à pistons comme aussi avec turbomoteur. Mais les différentes versions possèdent généralement des cellules et des voilures quasi identiques, de sorte qu'elles sont d'apparence très semblable, quel que soit le type de moteur. Le modèle en question ici, le PA31-350 Navajo Chieftain *modified to* Panther II, ressemble extérieurement au modèle PA31T Cheyenne du même constructeur. Or la série des Cheyenne, à la différence de celle des Navajo/Chieftain, est équipée de turbomoteurs, qui exigent du kérosène.

Par rapport à d'autres bimoteurs de taille comparable, le PA31-350 Navajo Chieftain *modified to* Panther II apparaissait plutôt rarement dans le ciel suisse.

2 Analyse

2.1 Aspects techniques

2.1.1 Mélange de carburant et panne des moteurs

Le 25 mai 2000, le HB-LTC a quitté Zurich avec le plein de 726 l d'AVGAS 100LL et est arrivé deux heures plus tard à Béziers (F). Si l'on admet que le pilote a agi conformément aux recommandations du constructeur, il aura alimenté ses moteurs à partir des réservoirs principaux (*inboard main cells*) dès le démarrage jusqu'au passage en vol de croisière, puis dès le début de la descente jusqu'à l'arrêt des moteurs après l'atterrissage. Avec huit personnes et quelques bagages à bord, l'appareil était relativement chargé et son centre de gravité se situait plutôt en arrière ; on peut donc encore admettre que le pilote a eu recours aux réservoirs extérieurs (*outboard auxiliary cells*) pour le vol de croisière.

Si l'on se réfère aux profils de vol et aux valeurs de consommations du manuel de vol (AFM), le vol de Zurich à Béziers aura nécessité quelque 305 l de carburant. Sur ce chiffre, approximativement 200 l se rapportent à la phase de croisière, pendant laquelle les moteurs ont été alimentés par les *outboard auxiliary cells*. Selon le raisonnement ci-dessus, les 105 l restants auront été tirés des *inboard main cells*.

Aussi bien les chiffres de l'AFM que le volume de carburant acheté à Béziers (107 l, dont le prix ne correspond pas à un montant arrondi) donnent à croire que le pilote a ainsi rempli les *inboard main cells*. Pour le retour, il disposait donc des réservoirs principaux, où il avait fait le plein, et des *outboard auxiliary cells* contenant chacun encore 50 l de carburant environ.

Pour le vol retour de Béziers à Zurich, on peut supposer que la première phase, jusqu'à l'altitude de croisière, a de nouveau été alimentée par les *inboard main cells*. Comme les réservoirs auxiliaires contenaient chacun environ 40 l de carburant utilisables, ils auront servi pour une partie du vol retour. Si le pilote les a à peu près vidés pour rebrancher ensuite l'alimentation sur les *inboard main cells*, ceux-ci devaient contenir encore, après l'atterrissage à Zurich, quelque 100 l chacun, auxquels il faut ajouter les 10 l restant dans chaque *outboard auxiliary cell*.

Après l'avitaillement erroné de Zurich, où 50 l de kérosène JET A-1 ont été introduits dans chacun des *inboard main cells*, ces réservoirs contenaient donc un mélange d'à peu près deux parts d'AVGAS pour une part de JET A-1. Combien de temps a-t-il fallu aux deux composants pour se mélanger, on ne le saura pas. Mais comme le kérosène a un poids spécifique plus élevé, on peut admettre qu'au point le plus bas du réservoir, où a lieu le prélèvement de carburant, le mélange comportait une part spécialement élevée de kérosène. Apparemment, l'essence d'aviation qui subsistait dans les conduites de carburant, les filtres et les pompes a permis de lancer les moteurs et de déplacer l'appareil jusqu'au start. Peu après le décollage, ce reste d'AVGAS utilisable s'est épuisé et les moteurs n'ont plus obtenu que du carburant comportant au moins 33 % en volume de kérosène. Tel est aussi le langage des échantillons de carburant prélevés après l'accident, qui contenaient respectivement 20 – 40 et 55 – 65 % en volume de kérosène.

Comme on l'a vu plus haut, ce mélange n'était pas approprié pour les moteurs à essence de l'appareil, ce qui a entraîné une rapide et massive perte de puissance et l'arrêt des moteurs. La symétrie des deux systèmes d'amenée de carburant a fait que la perte de puissance a été très probablement presque simultanée de part et d'autre, comme en témoignent les deux hélices retrouvées l'une et l'autre en position de faible ascension. Si un seul moteur avait d'abord failli, le pilote aurait sans doute engagé une procédure d'urgence en vue d'obtenir un vol ascendant avec un moteur. Afin de réduire la résistance de l'air, cette *engine inoperative procedure* comporte en effet la mise en drapeau de l'hélice arrêtée.

2.1.2 Ceintures de sécurité

La défaillance du mécanisme de blocage des ceintures d'épaules a fait qu'une collision qui aurait pu n'être pas mortelle a eu une issue fatale.

L'usure des composants métalliques qui a empêché le fonctionnement correct des ceintures d'épaules résulte de l'encrassement du mécanisme à l'usage. Peut-être les prescriptions d'entretien sont-elles trop peu détaillées, le mécanicien chargé des travaux ne se rendant pas compte que l'injonction faite par le producteur "*inspect (...) seat belts, (...)*" signifie qu'il faut aussi nettoyer le mécanisme de retenue.

Lors de cet examen effectué par l'Office fédéral de l'aviation civile, le défaut de fonctionnement des ceintures de sécurité n'a pas été constaté.

2.2 Facteurs de risque

2.2.1 Tubes de refoulement

La tentative entreprise il y a quelques années par la SA Jet Aviation Zurich d'empêcher les erreurs à l'avitaillement par des mesures techniques (cf. ch. 1.16.8.2) a été abandonnée après quelques mois. Comme les tubes de refoulement utilisés à l'époque avaient un diamètre extérieur de 67 mm et que certains avions nécessitant du kérosène avaient un orifice de remplissage au diamètre intérieur plus petit, on est revenu à des tubes de refoulement d'environ 45 mm de diamètre extérieur. Ces tubes relativement fins constituaient un facteur de risque, car ils offraient techniquement la possibilité d'avitaillement le HB-LTC malgré les pièces métalliques qui en réduisaient l'orifice d'avitaillement à 63.5 mm (2,5 in). Il est évident que l'absence de normes concernant les orifices de réservoirs et les tubes de refoulement a des conséquences négatives.

2.2.2 Formation des pompistes

Étant donné l'absence de sûretés techniques dans les installations d'avitaillement et la multiplicité des modèles d'avions, qui peuvent avoir des moteurs de type différent même si leurs carlingues se ressemblent, il faut instituer une formation systématique des pompistes d'avions. Dans le cas présent, il n'y a eu ni une instruction suffisante du personnel concerné ni vérification régulière de son savoir, avec au besoin le rappel des notions essentielles. Si le pompiste C s'est trompé, malgré des années d'expérience, sur les moteurs du HB-LTC et a conclu que la modification de l'appareil comportait sa conversion au turbomoteur, cela révèle un défaut dans sa formation ainsi qu'un manque de sensibilisation du personnel concerné par ce genre de problèmes.

Quant au fait que les directives et manuels en vigueur n'existent qu'en anglais, cela peut avoir constitué un obstacle pour le personnel qui aurait voulu acquérir par lui-même les connaissances requises.

Il convient de préciser toutefois qu'au moment de l'accident, il n'existait ni directives ni prescriptions de l'OFAC concernant la formation professionnelle et les qualifications des pompistes d'avions.

2.2.3 Assurance qualité et inspections

En ce qui concerne les défauts susmentionnés, il n'existe aucune prescription contraignante. Parmi les risques présentés, certains auraient pu être identifiés et écartés par le biais de mesures d'assurance qualité. Les employés concernés de Jet Aviation Zurich AG ainsi que ceux du fournisseur de carburant SHELL ne les avaient pas relevés. L'Office fédéral de l'aviation civile avait renoncé, avant l'époque de l'accident, à inspecter les opérations d'avitaillement de l'entreprise Jet Aviation Zurich AG

2.3 Aspects opérationnels

2.3.1 Commande de carburant

Les conversations téléphoniques de et pour la SA Jet Aviation Zurich ne sont pas enregistrées. Il n'a donc pas été possible de reconstituer les termes exacts de la commande de carburant.

Le pilote était autorisé à l'emploi d'avions à moteur à pistons uniquement et sa langue maternelle était le français. Dans ces conditions, on peut supposer qu'il n'a pas utilisé les termes de « *Flugpetrol* », de « *Kerosin* » ou de « *Jet Fuel* ». Il aura plus probablement parlé l'anglais et choisi le terme neutre de « *Fuel* » pour désigner le carburant. On peut penser également que le pompiste B, qui a pris la commande, a compris ce « *Fuel* » comme « *Jet Fuel* » et transmis une telle commande à son collègue C. Un troisième pompiste a entendu le message radio selon lequel le HB-LTC devait être avitaillé en carburant JET A-1.

2.3.2 Avitaillement

Au cours de l'avitaillement de l'appareil, tant le pompiste C que le pilote avaient plusieurs possibilités de prendre conscience du malentendu issu de la commande.

Manifestement le pompiste C n'a pas reconnu que le HB-LTC était un appareil équipé de deux moteurs à pistons. On peut admettre que les *winglets*, que l'on trouve effectivement sur de nombreux appareils modernes du trafic général à turbomoteurs, l'ont confirmé dans l'idée que le PA31-350 avait été converti à la turbopropulsion. Le modèle PA31-350 Navajo Chieftain *modified to Panther II* se voit rarement en Suisse et le HB-LTC n'avait jamais encore atterri à l'aéroport de Zurich – exception faite de l'épisode des 24/25 mai 2000 – ce qui peut avoir facilité cette erreur.

Environ 20 cm à l'avant des orifices des *inboard main cells* où le pompiste C a ajouté 50 l de kérosène JET A-1 de part et d'autre, figuraient les plaquettes distinctives exigées par la FAR. De par leur couleur, elles se détachaient cependant peu de la surface de l'aile, ce qui explique qu'elles n'aient pas été remarquées non plus par le pompiste A, qui avait avitaillé la machine le 25 mai 2000.

De son côté, le pilote n'a apparemment pas remarqué qu'il recevait un carburant autre que celui qu'il avait commandé. Les plaquettes distinctives montées sur le camion-citerne n'étaient très probablement pas bien visibles pour lui, qui est resté à l'intérieur de l'appareil, près de l'entrée arrière, pendant l'opération d'avitaillement. Or le camion-citerne s'était arrêté devant la proue du HB-LTC. Peut-être l'averse qui s'est produite à ce moment-là et la conversation téléphonique avec sa partenaire ont-elles déterminé le pilote à rester à l'intérieur à ce moment-là.

En recevant la quittance sur la fourniture de 100 l de kérosène JET A-1, il l'a signée sans remarquer l'erreur, probablement pressé par l'horaire.

2.3.3 Vol d'accident

La comparaison du décollage du HB-LTC le 25 mai 2000 avec son décollage immédiatement avant l'accident fait apparaître les données ci-après:

Phase	Décollage du 25 mai 2000		Décollage du 26 mai 2000	
	Temps [h:min:s]	Diff. temps [min:s]	Temps [h:min:s]	Diff. temps [min:s]
Autorisation de mettre en marche	08:18:42		20:10:00	
Prêt à rouler	08:26:25	7:43	20:13:50	3:50
Autorisation rouler	08:26:28	7:46	20:14:20	4:20
Prêt à décoller	08:32:01	13:19	20:17:30	7:30
Autorisation de décoller	08:45:27	26:45	20:20:58	10:58

On remarque que les intervalles entre l'autorisation de mettre en marche et les annonces „Prêt à rouler“, puis „Prêt à décoller“ ont été nettement plus brefs lors du vol fatal que lors du vol pour Béziers (F) le 25 mai 2000. Cette différence ne saurait être due uniquement au fait que lors du premier de ces deux décollages, des passagers se trouvaient à bord, les ceintures ayant certainement été bouclées et les passagers instruits avant la demande d'autorisation de mettre en marche. Cela dénote peut-être que le pilote était quelque peu pressé le 26 mai 2000.

Entre l'autorisation de rouler et l'annonce „Prêt à décoller“, 5 minutes 33 secondes se sont écoulées le 25 mai 2000, alors que le lendemain, le pilote n'a requis que 3 minutes et 10 secondes. Dans l'un et l'autre cas, il a dû à ce moment-là avancer de quelque 250 m jusqu'au point d'attente de la piste 28 et terminer les préparatifs de décollage. Les passagers du vol vers Béziers ont déclaré plus tard que le pilote avait encore procédé au contrôle des moteurs, tant le 25 mai 2000 qu'avant le vol retour, le lendemain. Personne n'a remarqué un tel test avant le vol fatal et au surplus, le temps pour le faire aurait été très mesuré ; il

faut donc admettre qu'il n'a pas eu lieu. Ce contrôle aurait vraisemblablement permis de découvrir l'erreur d'avitaillement.

Quant à l'intervalle plus court entre l'annonce „Prêt à décoller“ et l'autorisation de décoller pour le vol fatal, il est indépendant de la volonté du pilote. Ou bien la densité du trafic était plus faible au soir du 26 mai 2000 qu'au matin du jour précédent, ou bien la voie libre a pu être réalisée plus rapidement. Quoi qu'il en soit, le HB-LTC a pu être intégré au trafic sans délai le 26 mai 2000. S'il avait dû attendre, il n'est pas exclu que les moteurs auraient refusé leur service encore au sol, après avoir consommé l'essence d'aviation se trouvant dans les conduites.

Cela a dû être le cas peu après le décollage: les moteurs étaient désormais alimentés par un mélange de JET A-1 et d'AVGAS 100LL dont les proportions ne permettaient plus un allumage correct. Etant donné les observations des témoins, il faut admettre que les moteurs ont encore fourni pendant quelques secondes une puissance réduite. C'est ce qui aura amené le pilote à ne pas engager un atterrissage d'urgence sur le segment de piste subsistant ou en direction de la piste à l'ouest de la limite de l'aéroport. En lieu et place, il a commencé par virer à droite, pour amorcer ensuite une volte à gauche, probablement dans l'intention d'atterrir sur la piste 10.

Au cours de cette volte, les deux moteurs ont cessé de fonctionner, ou du moins leur puissance n'a plus suffi à poursuivre la volte à l'horizontale, après quoi le pilote n'a pas pu éviter la collision avec les obstacles qui se trouvaient sur sa trajectoire. A ce moment-là, la position de l'appareil en virage était de 12° - 13° vers la gauche. Cette faible inclinaison indique que jusqu'au choc avec les arbres, il n'y a pas eu perte de contrôle (capotage).

2.4 La chaîne des événements en bref

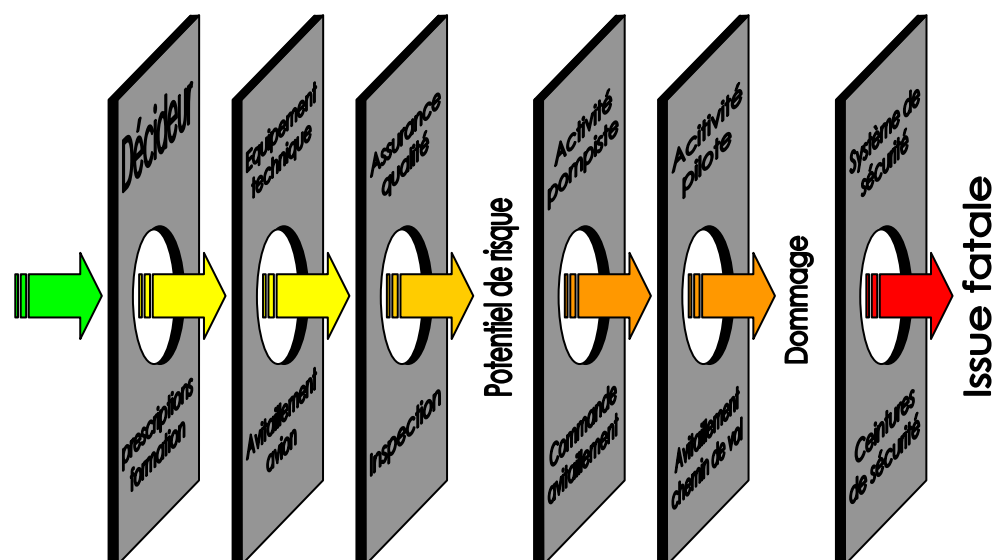
Comme c'est généralement le cas pour les accidents d'avion, l'accident du HB-LTC n'est pas dû à une cause unique. Trois éléments l'ont rendu possible en suscitant des défaillances et par voie de conséquence, un potentiel de risque:

- Des prescriptions inexistantes ou insuffisantes concernant la formation du personnel d'avitaillement des avions et l'équipement technique nécessaire, ce qui a permis des déficiences en la matière.
- La décision de la firme d'avitaillement d'utiliser des embouts d'un diamètre extérieur inférieur à 67 mm a réalisé une condition technique de l'avitaillement du HB-LTC.
- Les mesures d'assurance qualité de la firme d'avitaillement et de l'OFAC étaient inappropriées ou inexistantes, ou à tout le moins dénuées d'effet.

Ce potentiel de risque s'est ajouté à la défaillance humaine chez le personnel d'avitaillement et chez le pilote:

- La commande de carburant a été à l'origine d'un malentendu qui aurait pu être corrigé par le pompiste C si celui-ci avait reconnu les moteurs dont était équipé l'appareil ou observé les plaquettes distinctives fixées aux flancs de la carlingue.
- De son côté, le pilote n'a pas remarqué les plaquettes distinctives apposées sur le camion-citerne ni le type de carburant inadéquat figurant sur la quittance qu'il a signée.

La défaillance des ceintures de sécurité a provoqué les blessures mortelles du pilote.



3 Conclusions

3.1 Faits établis

- Le pilote était en possession d'une licence de vol valide.
- Rien n'indique que le pilote ait été atteint dans sa santé d'une quelconque manière durant le vol fatal.
- La masse de l'avion et son centre de gravité se situaient dans les limites admissibles.
- L'appareil HB-LTC a été avitaillé le 25 mai 2000 entre 07:20 et 07:30 à l'aéroport de Zurich par le pompiste A de la SA Jet Aviation Zurich au moyen de 372 l d'AVGAS 100LL.
- Après l'opération, le pilote a signé une quittance libellée pour 372 l d'essence d'aviation AVGAS 100LL.
- Le 26 mai 2000, entre 15:35 et 15:45, l'appareil a été avitaillé à Béziers (F) au moyen de 107 l d'AVGAS 100LL.
- Le pompiste B de la SA Jet Aviation Zurich maintient dans sa déposition: « *Er fragte mich ob er Kraftstoff JET A-1 haben könne* ».
- Les liaisons téléphoniques de et pour le service d'avitaillement de la SA Jet Aviation Zürich ne sont pas enregistrées.
- Selon le témoignage du pompiste C, le pompiste B a chargé par radio le pompiste C d'avitailler l'appareil HB-LTC au moyen de carburant JET A-1.
- Entre 19:45 et 20:00, il se produisait une ondée, voire une forte pluie.
- Selon le témoignage du pompiste C, le pilote se trouvait dans l'appareil pendant l'avitaillement.
- Entre 19:50:06 et 19:51:28, le pilote a eu une conversation au moyen de son téléphone mobile.
- Le 26 mai 2000 entre 19:45 et 20:00, le pompiste C de la SA Jet Aviation Zurich a injecté dans chacun des deux réservoirs principaux (*inboard main cells*) de l'appareil HB-LTC 50 l de kérosène JET A-1.
- Après l'avitaillement, le pilote a signé une quittance libellée pour 100 l de kérosène JET A-1.
- A 20:10:00, le pilote a reçu l'autorisation de mettre en marche.
- A 20:13:50, il a demandé l'autorisation de rouler.
- A 20:17:30, le pilote s'est annoncé prêt au décollage.
- A 20:20:58, il a reçu l'autorisation de décoller.

- Immédiatement après le décollage, le HB-LTC a cessé de monter et a amorcé un virage à gauche.
- Les traces relevées sur les hélices et les enregistrements des tachymètres montrent que les moteurs fournissaient peu ou pas de puissance au moment où l'appareil a touché les premiers obstacles sur sa trajectoire.
- Le HB-LTC a capoté dans la rivière „Glatt“, dont la profondeur à ce moment-là était de 70 à 100 cm.
- Au moment de l'accident, le pilote était attaché par les ceintures ventrale et d'épaules.
- Le mécanisme de retenue des ceintures d'épaules n'a pas fonctionné parce qu'il était encrassé par l'usure de ses composants métalliques.
- L'examen de la carlingue n'a révélé aucune trace d'insuffisance qui aurait pu contribuer à l'accident.
- L'appareil était admis à l'utilisation non commerciale.
- Environ 20 cm en avant des orifices de remplissage des *inboard main cells* se trouvaient des plaquettes de couleur ocre avec l'inscription en caractères noirs „CAUTION USE 100/130 GRADE FUEL OR HIGHER ONLY“ (cf. figure, annexe 2).
- Le camion-citerne FL 7 à partir duquel le HB-LTC a été avitaillé en kérosène JET A-1 était muni de plaquettes distinctives noires avec l'inscription en caractères blancs „JET A-1“.
- L'appareil HB-LTC disposait d'orifices d'avitaillement modifiés, d'un diamètre maximal de 63.5 mm (2.5 in).
- Le pistolet utilisé pour l'avitaillement du HB-LTC au moyen de kérosène JET A-1 n'était pas peint et son tube d'injection avait un diamètre extérieur de 44 ± 0.5 mm.
- Au moment de l'accident, la SA Jet Aviation Zurich disposait d'au moins un embout modifié de telle sorte qu'avec son diamètre extérieur de 67.5 ± 0.5 mm, il n'aurait pas pu être introduit dans l'orifice du réservoir du HB-LTC.
- Après l'accident, on a retrouvé les deux robinets de réservoirs sur „INBD TANK ON“ – *inboard tank on*.
- A l'exception d'une bougie d'allumage à l'électrode cassée, on n'a trouvé dans les moteurs aucun dommage mécanique qui aurait indiqué une combustion avec cognement.
- L'analyse des échantillons liquides prélevés dans le système d'amenée du carburant ainsi que le calcul de la consommation font supposer qu'au moment de l'accident, les *inboard main cells* contenaient chacun environ 100 l d'AVGAS 100LL et 50 l de kérosène JET A-1.
- Le personnel chargé de l'avitaillement n'avait pas été systématiquement instruit sur les différents types d'avions et sur leurs moteurs.

- L'Office fédéral de l'aviation civile n'a jamais inspecté la SA Jet Aviation Zurich avant l'accident.
- Avant l'accident, l'Office fédéral de l'aviation civile n'a émis aucune prescription concernant la formation du personnel d'avitaillement et sa qualification.
- Avant l'accident, l'Office fédéral de l'aviation civile n'a émis aucune prescription concernant les dimensions et l'exécution des tubes d'injection et des orifices d'avitaillement des avions.
- Avant l'accident, l'Office fédéral de l'aviation civile n'a émis aucune prescription concernant le marquage des pistolets et des orifices d'avitaillement des avions.

3.2 Causes

L'accident est imputable à une collision avec des obstacles après la panne des deux moteurs. Ces moteurs à pistons ont calé parce que l'appareil avait été par erreur avitaillé en kérosène JET A-1 et non en essence d'aviation AVGAS 100LL.

L'enquête a révélé les facteurs ci-après ayant causé l'accident:

- Un malentendu s'est produit lors de la commande de carburant.
- Le pompiste n'a pas reconnu les plaquettes distinctives dont était muni l'appareil.
- Le pompiste n'a pas remarqué que l'appareil était équipé de moteurs à pistons.
- Le pilote n'a pas reconnu l'inscription figurant sur le camion-citerne.
- Le pilote n'a pas remarqué l'erreur d'avitaillement en signant la quittance pour le carburant fourni.

Les facteurs ci-après ont rendu possible l'accident ou l'ont favorisé:

- L'embout du pistolet d'avitaillement avait un diamètre extérieur permettant d'avitaillement l'appareil.
- La formation du personnel concerné d'avitaillement et son niveau de connaissance étaient insuffisants.
- L'Office fédéral de l'aviation civile n'avait jamais inspecté l'entreprise d'avitaillement avant l'accident.
- Avant l'accident, l'Office fédéral de l'aviation civile n'avait émis aucune prescription concernant la formation du personnel d'avitaillement, la dimension des tubes d'injection et des orifices d'avitaillement des avions ainsi que le marquage des pistolets d'avitaillement et des orifices de réservoirs.

Les éléments ci-après ont peut-être aggravé l'issue de l'accident:

- Le pilote a choisi de faire un virage qui l'a fait entrer en collision avec des obstacles.
- Le mécanisme de retenue des ceintures d'épaules n'a pas fonctionné.

4 Recommandations et mesures adoptées pour améliorer la sécurité aérienne

4.1 Recommandations de sécurité

4.1.1 Prescriptions et directives concernant l'avitaillement des avions

4.1.1.1 Défaut de sécurité

L'enquête de cet accident a mis en évidence le fait que les prescriptions des points suivants ne sont pas complètes voire inexistantes:

- Formation et qualifications du personnel d'avitaillement
- Dimensions et exécution des embouts, pistolets et orifices d'avitaillement des avions selon le type de carburant requis
- Uniformité de désignation et de couleur non seulement des pistolets d'avitaillement, mais aussi des orifices de remplissage des réservoirs d'avions

4.1.1.2 Recommandation de sécurité 2003-1

L'Office fédéral de l'aviation civile devrait vérifier et compléter les prescriptions existantes relatives à l'avitaillement des aéronefs.

4.1.2 Harmonisation des équipements d'avitaillement et des systèmes de désignation

4.1.2.1 Défaut de sécurité

L'enquête de cet accident a montré que les dimensions des embouts et des pistolets n'étaient pas adaptés aux orifices de remplissage des réservoirs de l'avion. Ce manque d'harmonisation a rendu techniquement possible l'erreur d'avitaillement.

4.1.2.2 Recommandation de sécurité 2003-2

L'Office fédéral de l'aviation civile devrait définir des procédures qui rendent techniquement impossible une erreur de remplissage des réservoirs.

4.1.3 Amélioration des systèmes de ceintures de sécurité

4.1.3.1 Défaut de sécurité

L'enquête de cet accident a révélé qu'un composant essentiel du système des ceintures de sécurité n'a pas fonctionné.

4.1.3.2 Recommandation de sécurité 2003-3

L'Office fédéral de l'aviation civile devrait concevoir des mesures améliorant le fonctionnement des ceintures de sécurité.

4.2 Mesures prises depuis l'accident pour améliorer la sécurité aérienne

4.2.1 Jet Aviation Zurich SA

Après l'accident, la SA Jet Aviation Zurich a pris différentes mesures pour empêcher désormais les erreurs d'avitaillement:

- Les pistolets des véhicules-citernes de kérosène JET A-1 ont été munis d'embouts ayant un diamètre d'au moins 67 mm.
- Pour l'avitaillement des avions dont l'orifice du réservoir a un diamètre inférieur à 67 mm, on peut monter sur le pistolet un embout plus petit. Le rangement de cet embout spécial libère un dispositif de blocage (brake interlock system) qui fait que le véhicule ne peut reprendre sa course qu'une fois remis en place l'embout normal et rangé le plus petit.

4.2.2 Office fédéral de l'aviation civile

Après l'accident, l'Office fédéral de l'aviation civile a modifié la directive sur la construction et l'entretien des équipements d'avitaillement sur les aérodromes par le chiffre suivant:

- « 5.3.3 Afin d'éviter les erreurs lors de l'avitaillement des aéronefs, les prises d'essence et les pistolets de remplissage des citernes et des véhicules seront marqués - conformément aux normes internationales - par les couleurs suivantes:
- | | | |
|-----------|---|---------|
| - AVGAS | = | rouge |
| - JET A-1 | = | noire |
| - MOGAS | = | verte » |

Berne, le 16 juin 2003

Bureau d'enquête sur les accidents d'aviation

Ce rapport sert uniquement à la prévention des accidents. L'enquête n'a pas pour objectif d'apprécier juridiquement les causes et les circonstances de l'accident (art. 24 de la loi sur la navigation aérienne du 21 décembre 1948, LA, RS 748.0).

Annexe 1

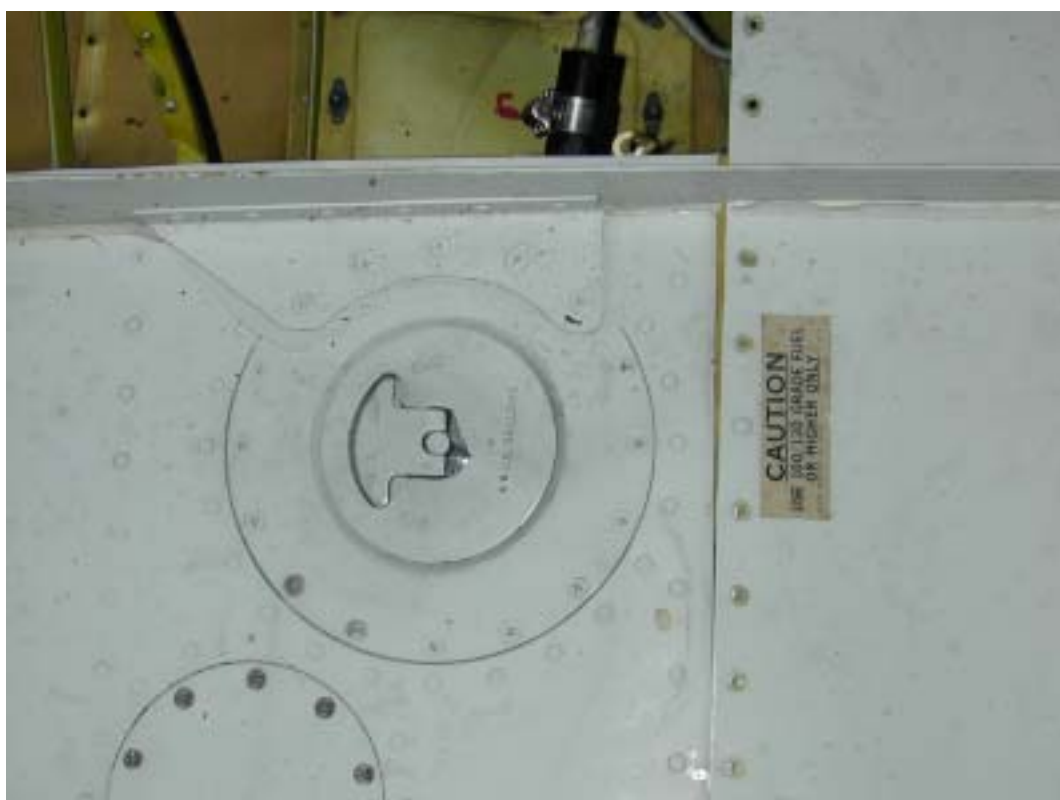
Transcription des conversations radio établies le 26 mai 2000 entre le pilote du HB-LTC et les différents services de contrôle de l'aéroport de Zurich, *Clearance Delivery* (CLD), *Apron* (APR) et *Tower* (TWR).

From	To	Time (UTC)	Communication
LTC	CLD	18:08:44	Zurich Delivery, Hotel Bravo Lima Tango Charly good evening
CLD	LTC	18:08:48	Hotel Bravo Lima Tango Charly, Zurich Delivery, good evening, go ahead
LTC	CLD	18:08:52	Hotel Tango Charly, passing GAC one, information Quebec received, and request start up clearance
CLD	LTC	18:08:59	Hotel Tango Charly, runway 28 to Geneva, ROTOS three yankee departure, squawk 3071
LTC	CLD	18:09:08	Cleared to Geneva, ROTOS three departure, and 3071, confirm the squawk, Hotel Tango Charly
CLD	LTC	18:09:15	Hotel Tango Charly, 3071 is correct, and ROTOS three yankee departure
LTC	CLD	18:09:20	ROTOS three yankee departure, Hotel Tango Charly
CLD	LTC	18:09:24	Hotel Tango Charly, for start up stand by on APRON, 121 decimal 75, good bye
LTC	CLD	18:09:28	12175, Hotel Tango Charly
APR	LTC	18:10:00	Hotel Bravo Lima Tango Charly, Apron, start-up ist approved
LTC	APR	18:10:04	Hotel Tango Charly start-up approved, thank you very much
			-- other stations --
LTC	APR	18:13:50	Hotel Tango Charly request taxi
			-- other stations --
APR	LTC	18:14:10	And Hotel Tango Charly confirm ready to taxi
LTC	APR		Affirm, Hotel Tango Charly
APR	LTC		Hotel Tango Charly, taxi to the holding point runway two eight
LTC	APR	18:14:20	Holding point runway two eight, Hotel Tango Charly
			-- other stations --
APR	LTC	18:15:00	Hotel Tango Charly, when ready to Tower one one eight one

From	To	Time (UTC)	Communication
LTC	APR	18:15:02	One one eight one, Hotel Tango Charly, bye bye
LTC	TWR	18:17:30	Tower, Hotel Bravo Lima Tango Charly, ...runway 28, ready for departure
TWR	LTC	18:17:33	Hotel Tango Charly, Grüezi, hold position, I call you back
LTC	TWR	18:17:37	Hotel Tango Charly
TWR	LTC	18:19:51	Hotel Tango Charly, taxi forward, but hold short of runway 28
LTC	TWR	18:19:57	Hold short of runway 28, Hotel Tango Charly
TWR	LTC	18:20:22	Hotel Tango Charlie, line up runway two eight
LTC	TWR	18:20:26	Lining up two eight, Hotel Tango Charlie
			4 communications between TWR and other aircraft
TWR	LTC	18:20:58	Hotel Tango Charlie, wind two three zero degrees, three knots, cleared take off two eight
LTC	TWR	18:21:03	Cleared take off two eight, Hotel Tango Charlie
			14 communications between TWR and other aircraft
TWR	LTC	18:22:08	Tango Charlie, normal operations?
LTC	TWR	18:22:12	(Ne)gative, Hotel Tango Charlie
TWR	LTC	18:22:13	Say again
TWR	LTC	18:22:19	Hotel Tango Charlie?
LTC	TWR	18:22:21	Mayday, mayday, mayday, Hotel Tango Charlie

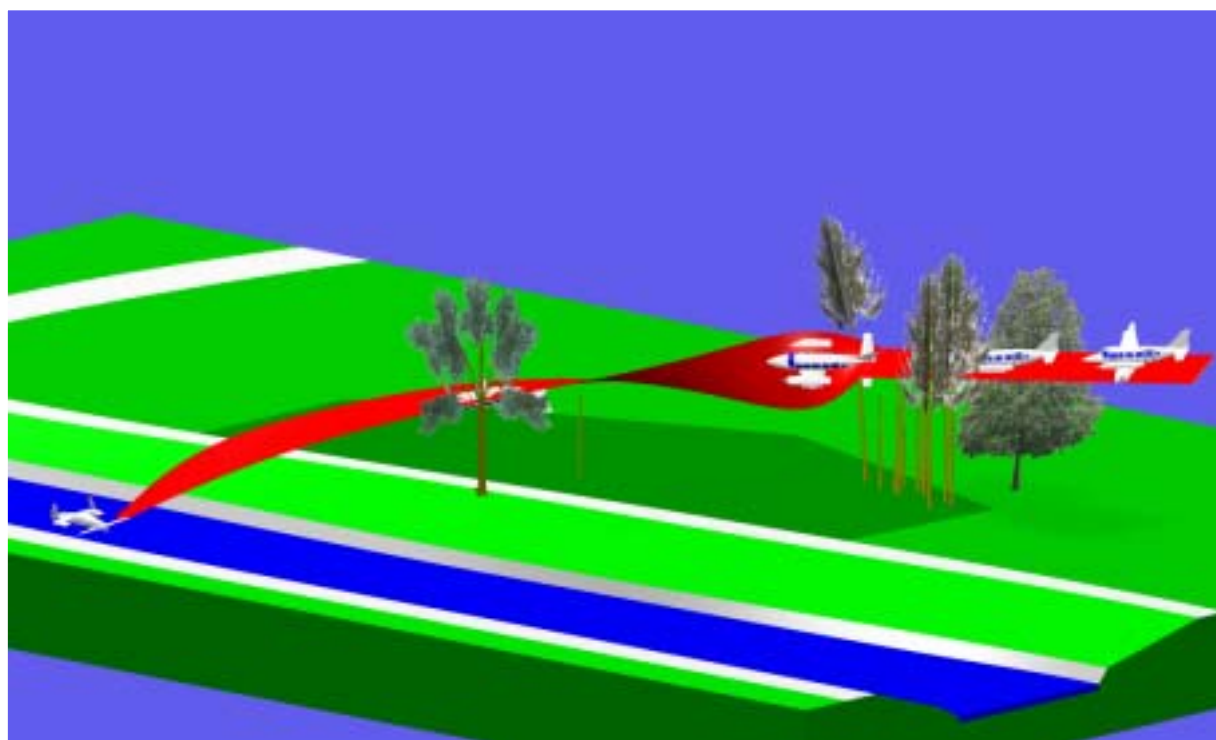
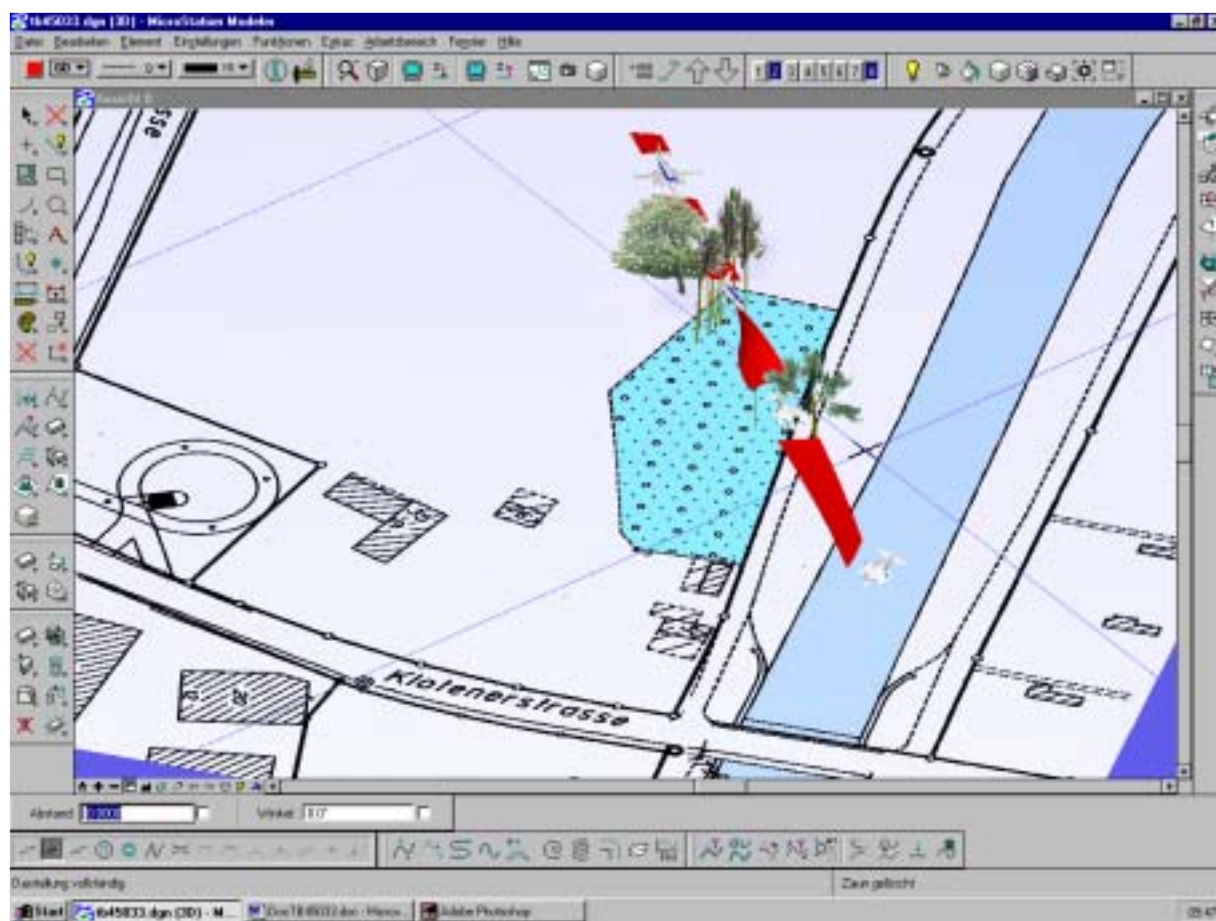
Annexe 2

Plaquettes distinctives situées à proximité des orifices des réservoirs (*inboard main cells*) du HB-LTC



Annexe 3

Reconstitution de la dernière phase de vol du HB-LTC.



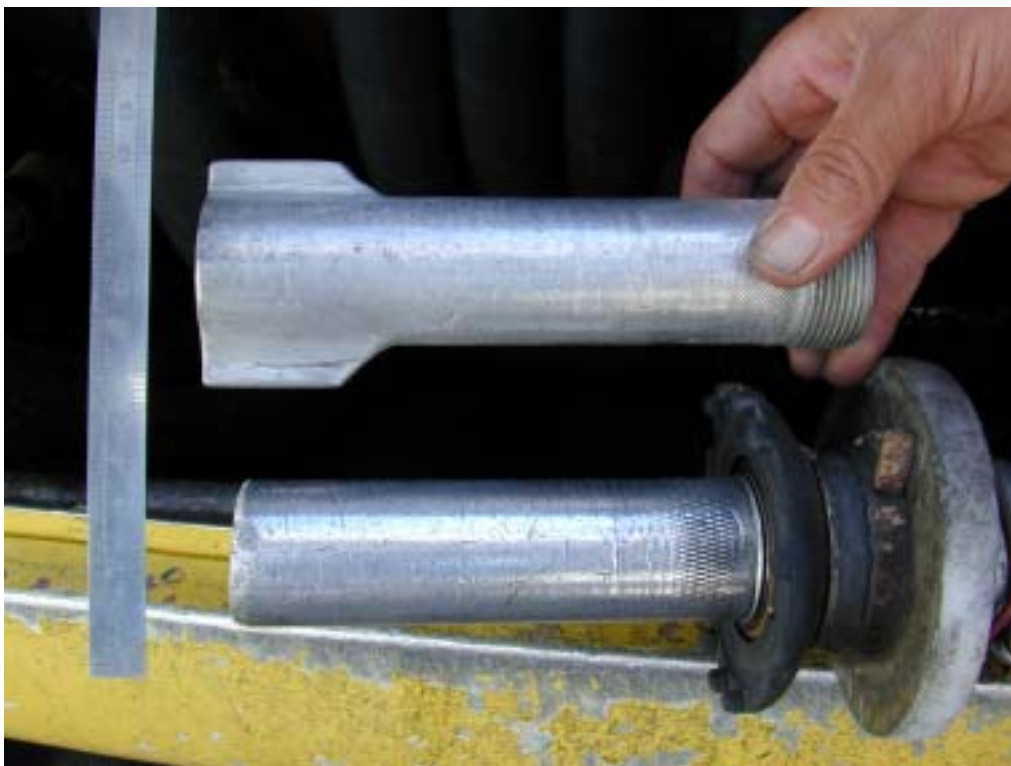
Annexe 4

Véhicule-citerne FL 7 pour avitaillement d'avions en JET A-1.



Annexe 5

Embout du véhicule-citerne FL 7 (ci-dessous) et comparaison avec l'embout modifié par l'entreprise en charge de l'avitaillement, ce dernier présente un diamètre extérieur agrandi (ci-dessus).



L'embout, dont le diamètre a été agrandi, ne peut pas être introduit dans les orifices des réservoirs du HB-LTC munis de pièces qui en réduisaient les diamètres.

