



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Büro für Flugunfalluntersuchungen
Bureau d'enquête sur les accidents d'aviation
Ufficio d'inchiesta sugli infortuni aeronautici
Uffizi d'investigaziun per accidents d'aviatica

Aircraft accident investigation bureau

Rapport Final No. 1793

du Bureau d'enquête

sur les accidents d'aviation

concernant l'accident
de l'avion Avro 146-RJ 100, HB-IXM,
de la compagnie Crossair vol CRX 3597,
survenu le 24 novembre 2001
près de Bassersdorf/ZH

Informations générales concernant ce rapport

Conformément à l'Annexe 13 à la Convention relative à l'aviation civile internationale (OACI, Annexe 13), l'enquête sur un accident ou un incident grave a pour seul objectif la prévention de futurs accidents ou incidents. Cette activité ne vise nullement à la détermination des fautes ou des responsabilités.

Selon l'art. 24 de la loi fédérale sur l'aviation, l'enquête n'a pas pour objectif d'apprécier juridiquement les causes et les circonstances d'un accident ou d'un incident grave.

Pour des questions de protection des données et de simplification du texte, ce rapport est exclusivement rédigé au masculin générique.

Sans autre mention, toutes les heures indiquées dans ce rapport sont référées à l'heure universelle coordonnée (*universal time coordinated* – UTC). Au moment de l'accident, l'heure de l'Europe centrale (*Mitteleuropäische Zeit* – MEZ) était en vigueur en Suisse, qui correspondait à l'heure locale (*local time* – LT). La relation entre LT, MEZ et UTC est: $LT = MEZ = UTC + 1 \text{ h}$.

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

Le Bureau d'enquête sur les accidents d'aviation remercie les autorités et les organismes pour leur soutien au cours de l'enquête.

Table des matières

Bref exposé des faits	11
Enquête	12
1 Renseignements de base	14
1.1 Déroulement du vol	14
1.1.1 Faits antérieurs	14
1.1.1.1 Avion	14
1.1.1.2 Equipage	15
1.1.1.2.1 Commandant	15
1.1.1.2.2 Copilote	15
1.1.2 Déroulement du vol	16
1.1.2.1 Préparation du vol	16
1.1.2.2 Vol de Berlin-Tegel à Zurich	16
1.2 Tués et blessés	20
1.3 Dommages à l'aéronef	20
1.4 Autres dommages	20
1.5 Renseignements sur le personnel	21
1.5.1 Commandant	21
1.5.1.1 Formation professionnelle	22
1.5.1.2 Formation et activités aéronautiques	22
1.5.1.2.1 Premier cours de transition sur MD 80	24
1.5.1.2.2 Deuxième cours de transition sur MD 80	24
1.5.1.2.3 Cours de transition sur Avro RJ 85/100	24
1.5.1.3 Activité d'instructeur de vol	25
1.5.1.4 Evénements particuliers survenus pendant la carrière professionnelle du commandant	26
1.5.1.4.1 Généralités	26
1.5.1.4.2 Rétraction involontaire du train d'atterrissage au sol	26
1.5.1.4.3 Interruption d'un contrôle lors d'un vol de ligne	27
1.5.1.4.4 Relèvement de la fonction de <i>training captain</i>	27
1.5.1.4.5 Approche aux instruments de nuit à Lugano	27
1.5.1.4.6 Erreur de navigation durant un vol de plaisance	28
1.5.1.5 Attitude vis-à-vis du travail et des subordonnés	29
1.5.2 Copilote	29
1.5.2.1 Formation professionnelle	30
1.5.2.2 Formation aéronautique	30
1.5.2.3 Sélection du copilote par Crossair	30
1.5.2.4 Cours de transition sur Avro RJ 85/100	31
1.5.2.5 Evénements particuliers survenus pendant la carrière professionnelle du copilote	32
1.5.3 Membre de l'équipage de cabine A	32
1.5.4 Membre de l'équipage de cabine B	32
1.5.5 Membre de l'équipage de cabine C	32
1.5.6 Contrôleur de la circulation aérienne A	32
1.5.7 Contrôleur de la circulation aérienne B	33
1.5.8 Contrôleur de la circulation aérienne C	33
1.5.9 Contrôleur de la circulation aérienne D	33
1.5.10 Contrôleur de la circulation aérienne E	34
1.6 Renseignements sur l'aéronef	34
1.6.1 Avion HB-IXM	34
1.6.1.1 Généralités	34
1.6.1.2 Réacteur N° 1	35

1.6.1.3	Réacteur N° 2	35
1.6.1.4	Réacteur N° 3	35
1.6.1.5	Réacteur N° 4	35
1.6.1.6	Groupe auxiliaire de puissance (APU)	36
1.6.1.7	Aides à la navigation	36
1.6.1.8	Télécommunications	36
1.6.2	Masse et centrage	36
1.6.3	Commandes de vol	37
1.6.3.1	Commandes principales	37
1.6.3.2	Commandes secondaires	37
1.6.4	Réacteurs	37
1.6.4.1	Contrôle visuel	37
1.6.4.2	Analyse des paramètres de l'enregistreur de données de vol (DFDR) et de ceux du calculateur de durée de vie moteur (ELC)	38
1.6.4.3	Montage de l'indicateur d'huile	38
1.6.5	Groupe auxiliaire de puissance (APU)	38
1.6.5.1	Contrôle visuel	38
1.6.5.2	Documents d'entretien	38
1.6.6	Système avertisseur de givrage	39
1.6.7	Système de guidage de vol (FGS)	39
1.6.7.1	Système d'instruments de vol électroniques (EFIS)	39
1.6.7.1.1	Description du système	39
1.6.7.1.2	Mémoires non volatiles	40
1.6.7.2	Commandes automatiques de vol (AFS)	40
1.6.7.2.1	Description du système	40
1.6.7.2.2	Mémoires non volatiles	42
1.6.7.2.3	Utilisation du système AFS	42
1.6.7.3	Système de gestion de la navigation (NMS)	42
1.6.7.3.1	Description du système	42
1.6.8	Equipements de navigation	44
1.6.8.1	Système de référence à inertie (IRS)	44
1.6.8.1.1	Description du système	44
1.6.8.2	Système de navigation VHF	46
1.6.8.2.1	Description du système	46
1.6.8.3	Dispositif de mesure de distance (DME)	47
1.6.8.3.1	Description du système	47
1.6.8.4	Système anémobarométrique (ADS)	47
1.6.8.4.1	Description du système	47
1.6.8.4.2	Mémoires non volatiles	48
1.6.8.5	Radioaltimètre (RADALT)	49
1.6.8.5.1	Description du système	49
1.6.9	Etat des instruments relevés dans l'épave	50
1.6.9.1	Système d'instruments de vol électroniques (EFIS)	50
1.6.9.2	Système de référence à inertie (IRS)	50
1.6.9.3	Système de navigation VHF	50
1.6.9.4	Système anémobarométrique (ADS)	51
1.6.10	Système avertisseur de proximité du sol (GPWS)	51
1.6.11	Transpondeur ATC	52
1.6.12	Entretien de l'avion	53
1.6.13	Analyse du carburant utilisé	53
1.7	Conditions météorologiques	53
1.7.1	Résumé	53
1.7.2	Situation générale	53
1.7.3	Conditions sur l'étape Berlin – Zurich	54
1.7.4	Conditions dans la zone d'approche	55
1.7.4.1	Couverture nuageuse	55
1.7.4.1.1	Dépôts des équipages	55

1.7.4.1.2	Mesures du télémètre de nuages _____	55
1.7.4.1.3	Synthèse des dépositions des équipages et des mesures des télémètres de nuages _____	56
1.7.4.2	Visibilité en vol et visibilité météorologique _____	56
1.7.4.3	Profil des vents _____	56
1.7.4.4	Profil des températures _____	56
1.7.4.5	Givrage _____	57
1.7.4.6	Avis de danger _____	57
1.7.5	Conditions sur le lieu de l'accident _____	57
1.7.5.1	Couverture nuageuse _____	57
1.7.5.2	Précipitations _____	58
1.7.5.3	Visibilité _____	58
1.7.5.4	Vent _____	58
1.7.6	Conditions à l'aéroport de Zurich _____	58
1.7.6.1	Déroulement de la journée _____	58
1.7.6.2	Conditions météorologiques au moment de l'accident _____	58
1.7.6.3	Message d'observation météorologique régulière pour l'aviation (METAR) _____	59
1.7.6.4	Prévision d'aérodrome (TAF) _____	59
1.7.7	Informations météorologiques diffusées _____	60
1.7.7.1	Renseignements météorologiques destinés aux aéronefs en vol (VOLMET) _____	60
1.7.7.2	Service automatique d'information de région terminale (ATIS) _____	61
1.7.8	Messages météo diffusés entre 20:00 et 21:00 UTC _____	63
1.7.9	Données astronomiques _____	64
1.7.9.1	Position du soleil _____	64
1.7.9.2	Position de la lune _____	64
1.7.10	Portée visuelle de piste et visibilité au sol _____	64
1.7.10.1	Portée visuelle de piste _____	64
1.7.10.2	Visibilité météorologique _____	65
1.7.10.3	Relation entre visibilité météorologique et portée visuelle de piste _____	65
1.7.10.4	Observation des nuages _____	65
1.8	Aides à la navigation _____	65
1.8.1	Restrictions générales _____	65
1.8.2	Aides de navigation pour l'approche standard VOR/DME 28 _____	66
1.8.3	Autres aides de navigation aérienne _____	67
1.8.4	Surveillance radar des approches aux instruments _____	67
1.9	Télécommunication _____	68
1.9.1	Organes de contrôle de la circulation aérienne impliqués _____	68
1.9.1.1	Généralités _____	68
1.9.1.2	Contrôle d'approche (APP) _____	68
1.9.1.3	Contrôle d'aérodrome (TWR) _____	68
1.9.2	Enregistrement des conversations _____	69
1.9.3	Installations de communication _____	69
1.10	Renseignements sur l'aéroport _____	69
1.10.1	Généralités _____	69
1.10.2	Equipements des pistes _____	70
1.10.3	Règlement d'exploitation _____	70
1.10.4	Service de sauvetage et service du feu _____	71
1.11	Enregistreurs de bord _____	72
1.11.1	Enregistreur de données de vol (DFDR) _____	72
1.11.1.1	Descriptif technique _____	72
1.11.1.2	Entretien et surveillance _____	73
1.11.2	Enregistreur de conversations de poste de pilotage (CVR) _____	73
1.11.2.1	Descriptif technique _____	73
1.11.2.2	Entretien _____	74
1.11.3	Lecture des enregistreurs de bord _____	74

1.11.3.1	Qualité des enregistrements CVR	74
1.11.3.2	Qualité des enregistrements DFDR	74
1.12	Renseignements sur l'épave et sur l'impact	74
1.12.1	Impact	74
1.12.2	Champ de débris	75
1.13	Renseignements médicaux et pathologiques	75
1.13.1	Commandant	75
1.13.1.1	Anamnèse et résultats des examens médicaux	75
1.13.1.2	Résultats des examens médico-légaux	75
1.13.2	Copilote	76
1.13.2.1	Anamnèse et résultats des examens médicaux	76
1.13.2.2	Résultats des examens médico-légaux	76
1.14	Incendie	76
1.14.1	Examen des traces de feu constatées sur les débris de l'avion	76
1.14.2	Déclarations des témoins oculaires	77
1.15	Questions relatives à la survie des occupants	77
1.15.1	Généralités	77
1.15.2	Chute	77
1.15.3	Alarme et sauvetage	78
1.15.4	Emetteur de localisation d'urgence (ELT)	79
1.16	Essais et recherches	79
1.16.1	Notions et définitions	79
1.16.1.1	Point de descente à vue (VDP)	79
1.16.1.2	Point d'approche interrompue (MAP)	79
1.16.1.3	Altitude/hauteur minimale de descente (MDA/H)	79
1.16.2	Analyse de l'approche standard VOR/DME 28	79
1.16.2.1	Introduction	79
1.16.2.2	Segment d'approche initiale	79
1.16.2.3	Segment d'approche intermédiaire	80
1.16.2.4	Segment d'approche finale	80
1.16.2.5	Segment d'approche interrompue	81
1.16.2.6	Carte d'approche selon AIP Suisse	81
1.16.2.7	Conclusion	81
1.16.3	Vols de comparaison en simulateur	82
1.16.3.1	Généralités	82
1.16.3.2	Résultats	82
1.17	Renseignements sur les organismes et la gestion	83
1.17.1	Entreprise de transport aérien Crossair	83
1.17.1.1	Généralités	83
1.17.1.2	Structure du département Flight Operations	84
1.17.1.3	Service de la sécurité de vol	85
1.17.1.4	Culture aéronautique	86
1.17.1.5	Procédure de sélection des copilotes	86
1.17.1.5.1	Exigences des Codes communs de l'aviation (JAR)	86
1.17.1.5.2	Déroulement de la procédure chez Crossair	88
1.17.1.6	Gestion des ressources de l'équipage (CRM)	90
1.17.1.7	Cours de transition sur MD 80	91
1.17.1.9	Prescriptions concernant les références visuelles pour les approches classiques	92
1.17.1.10	Approche LOC DME piste 03 à Lugano (aujourd'hui approche IGS piste 01)	93
1.17.1.11	Processus d'entretien des avions	94
1.17.1.11.1	Maintenance des altimètres	94
1.17.1.11.2	Calibrage du DFDR	94
1.17.1.11.3	Recherche de pannes sur l'APU	95
1.17.2	Autorité de surveillance	95

1.17.2.1	Généralités	95
1.17.2.2	Structure	95
1.17.2.3	Audit de sécurité de l'OACI	96
1.17.2.4	Dispositions relatives aux périodes de travail du personnel navigant	97
1.17.2.5	Rapports entre Crossair et l'autorité de surveillance	97
1.17.3	Ecole Horizon Swiss Flight Academy	98
1.17.4	Service de la navigation aérienne	98
1.17.4.1	Généralités	98
1.17.4.2	Contrôle d'approche	99
1.17.4.3	Contrôle d'aérodrome	99
1.17.5	Flughafen Zürich AG (Unique)	99
1.17.5.1	Généralités	99
1.17.5.2	Service de gestion d'aire de trafic (<i>apron control</i>)	99
1.17.5.3	Rôle de Unique dans la mise en œuvre du traité germano-suisse	100
1.17.5.4	Influence de Unique sur le déroulement du trafic aérien	100
1.17.6	Météo Suisse	101
1.17.6.1	Généralités	101
1.17.6.2	Processus Météorologie aéronautique	101
1.17.6.3	Service de météorologie aéronautique de l'aéroport de Zurich	101
1.18	Renseignements supplémentaires	102
1.18.1	Dispositifs d'entraînement	102
1.18.2	Signalisation des obstacles sur les cartes d'approche	103
1.18.3	Recommandations de sécurité faites lors d'enquêtes précédentes	103
1.18.3.1	Introduction	103
1.18.3.2	Accident du vol Alitalia AZA 404 au Stadlerberg, Zurich	103
1.18.3.3	Accident du vol Crossair CRX 498 près de Nassenwil, Zurich	103
1.19	Techniques d'enquêtes utiles ou efficaces	104
1.19.1	Analyse des mémoires non volatiles (NVM)	104
1.19.1.1	Introduction	104
1.19.1.2	Centrale anémobarométrique (ADC)	104
1.19.1.3	Générateur de symboles EFIS (SG EFIS)	104
1.19.1.4	Ordinateur du système de guidage de vol (DFGC)	105
2	Analyse	106
2.1	Aspects techniques	106
2.1.1	Système de guidage de vol (FGS)	106
2.1.1.1	Système d'instruments de vol électroniques (EFIS)	106
2.1.1.1.1	Fiabilité	106
2.1.1.1.2	Disponibilité pendant le vol CRX 3597	106
2.1.1.2	Commandes automatiques de vol (AFS)	106
2.1.1.2.1	Fiabilité	106
2.1.1.2.2	Disponibilité pendant le vol CRX 3597	106
2.1.1.3	Système de gestion de la navigation (NMS)	107
2.1.1.3.1	Fiabilité	107
2.1.1.3.2	Disponibilité pendant le vol CRX 3597	107
2.1.2	Commandes de vol	108
2.1.3	Equipements de navigation	108
2.1.3.1	Système de référence à inertie (IRS)	108
2.1.3.1.1	Fiabilité	108
2.1.3.1.2	Disponibilité pendant le vol CRX 3597	108
2.1.3.2	Système de navigation VHF	108
2.1.3.2.1	Fiabilité	108
2.1.3.2.2	Disponibilité pendant le vol CRX 3597	109
2.1.3.3	Dispositif de mesure de distance (DME)	109
2.1.3.3.1	Fiabilité	109
2.1.3.3.2	Disponibilité pendant le vol CRX 3597	109
2.1.3.4	Système anémobarométrique (ADS)	110

2.1.3.4.1	Fiabilité	110
2.1.3.4.2	Disponibilité pendant le vol CRX 3597	110
2.1.3.5	Radioaltimètre (RADALT)	110
2.1.3.5.1	Fiabilité	110
2.1.3.5.2	Disponibilité pendant le vol CRX 3597	110
2.1.3.6	Transpondeur ATC	110
2.1.3.6.1	Fiabilité	110
2.1.3.6.2	Disponibilité pendant le vol CRX 3597	111
2.1.4	Entretien	111
2.1.5	Navigabilité	111
2.1.6	Questions relatives à la survie des occupants	111
2.2	Aspects humains et opérationnels	112
2.2.1	Le modèle «SHEL»	112
2.2.2	Commandant (L)	113
2.2.2.1	Faits antérieurs	113
2.2.2.2	Comportement pendant le vol CRX 3597	114
2.2.2.3	Aspects médicaux	116
2.2.3	Copilote (L)	117
2.2.3.1	Généralités	117
2.2.3.2	Aspects médicaux	117
2.2.4	Interactions entre le commandant et le copilote (L-L)	117
2.2.4.1	Généralités	117
2.2.4.2	Poursuite du vol sous l'altitude minimale de descente	118
2.2.4.3	Gestion des ressources de l'équipage (CRM)	119
2.2.5	Interactions entre l'équipage et l'avion (L-H)	119
2.2.5.1	Généralités	119
2.2.5.2	Utilisation des dispositifs de guidage de vol et de navigation	120
2.2.5.3	Avertisseurs	122
2.2.5.4	Avertissements vocaux (<i>call outs</i>)	122
2.2.5.5	Obstacles non signalés sur les cartes d'approche	122
2.2.6	Comportement de l'équipage vis-à-vis des procédures (L-S)	123
2.2.6.1	Généralités	123
2.2.6.2	Passage des règles de vol IFR aux règles VFR	123
2.2.6.3	Configuration pendant une approche classique (NPA)	124
2.2.6.4	Calage de l'altitude pendant une approche classique (NPA)	124
2.2.7	Influence des facteurs extérieurs sur l'équipage (L-E)	124
2.2.7.1	Généralités	124
2.2.7.2	Avions précédents	124
2.2.7.3	Conditions météorologiques et minima	125
2.2.7.4	Service de la navigation aérienne	125
2.2.7.4.1	Affectation du personnel	125
2.2.7.4.2	Choix de la procédure d'approche	126
2.2.7.4.3	Exécution de l'approche standard VOR/DME 28	126
2.2.7.5	Géométrie de l'approche standard VOR/DME 28	127
2.2.7.6	Entreprise de transport aérien	127
2.2.7.7	Autorité de surveillance	129
3	Conclusions	130
3.1	Faits établis	130
3.1.1	Aspects techniques	130
3.1.2	Equipage	130
3.1.3	Déroulement du vol	131
3.1.4	Cadre général	132
3.2	Causes	133

4	Recommandations de sécurité et mesures adoptées pour améliorer la sécurité aérienne	135
4.1	Recommandations de sécurité du 11 avril 2002	135
4.1.1	Composition de l'équipage (<i>crewpairing</i>)	135
4.1.1.1	Déficit de sécurité	135
4.1.1.2	Recommandation de sécurité 2002-1 (No 33)	135
4.1.1.3	Prise de position de l'Office fédéral de l'aviation civile du 6 mai 2002	135
4.1.2	Examen des performances des pilotes	136
4.1.2.1	Déficit de sécurité	136
4.1.2.2	Recommandation de sécurité 2002-2 (No 34)	137
4.1.2.3	Prise de position de l'Office fédéral de l'aviation civile du 6 mai 2002	137
4.1.2.4	Recommandation de sécurité 2002-3 (No 35)	137
4.1.2.5	Prise de position de l'Office fédéral de l'aviation civile du 6 mai 2002	137
4.1.3	Calage de l'altitude pendant une approche classique	138
4.1.3.1	Déficit de sécurité	138
4.1.3.2	Recommandation de sécurité 2002-4 (No 36)	138
4.1.3.3	Prise de position de l'Office fédéral de l'aviation civile du 6 mai 2002	138
4.1.4	Système d'avertissement et d'alarme d'impact	138
4.1.4.1	Déficit de sécurité	138
4.1.4.2	Recommandation de sécurité 2002-5 (No 37)	139
4.1.4.3	Prise de position de l'Office fédéral de l'aviation civile du 6 mai 2002	139
4.1.5	Système d'observation météorologique	139
4.1.5.1	Déficit de sécurité	139
4.1.5.2	Recommandation de sécurité 2002-6 (No 38)	139
4.1.5.3	Prise de position de l'Office fédéral de l'aviation civile du 5 décembre 2003	139
4.1.6	Installation d'un système d'avertissement d'altitude minimale de sécurité pour le secteur d'approche de la piste 28 à Zurich-Kloten	140
4.1.6.1	Déficit de sécurité	140
4.1.6.2	Recommandation de sécurité 2002-7 (No 39)	140
4.1.6.3	Prise de position de l'Office fédéral de l'aviation civile du 5 décembre 2003	140
4.1.7	Signalisation des obstacles dans le manuel de routes Jeppesen	141
4.1.7.1	Déficit de sécurité	141
4.1.7.2	Recommandation de sécurité 2002-8 (No40)	141
4.1.7.3	Prise de position de l'Office fédéral de l'aviation civile du 5 décembre 2003	141
4.2	Recommandations de sécurité du 2 octobre 2003	142
4.2.1	Définition et publication d'un point de descente à vue	142
4.2.1.1	Déficit de sécurité	142
4.2.1.2	Recommandation de sécurité No 94	142
4.2.2	Portées visuelles minimales publiées pour les approches classiques	142
4.2.2.1	Déficit de sécurité	142
4.2.2.2	Recommandation de sécurité No 95	142
4.2.3	Représentation du profil du terrain sur les cartes d'approche	142
4.2.3.1	Déficit de sécurité	142
4.2.3.2	Recommandation de sécurité No 96	143
4.2.4	Temps de service d'équipage	143
4.2.4.1	Déficit de sécurité	143
4.2.4.2	Recommandation de sécurité No 97	143
4.2.5	Amélioration du système de management de la qualité des entreprises de transport aérien	143
4.2.5.1	Déficit de sécurité	143
4.2.5.2	Recommandation de sécurité No 98	144
	La prise de position de l'OFAC est en attente	144
4.2.6	Exécution des contrôles de compétence des pilotes	144
4.2.6.1	Déficit de sécurité	144
4.2.6.2	Recommandation de sécurité No 99	144

4.3 Mesures adoptées depuis l'accident pour améliorer la sécurité aérienne __ 145

4.3.1	Prise de position de Swiss du 14 février 2003	145
4.3.2	Prise de position de Swiss du 8 décembre 2003	148

- Annexe 1: Chronologie des événements marquants
- Annexe 2: Installation de l'indicateur d'huile
- Annexe 3: Warning Envelope of the Ground Proximity Warning System (GPWS)
- Annexe 4: Profile d'approche du vol CRX 3597
- Annexe 5: Reconstitution au simulateur de l'approche pour la piste 28
- Annexe 6: Localizer DME piste 03 à Lugano (aujourd'hui approche IGS piste 01)
- Annexe 7: Carte d'approche AIP Suisse, LSZH AD 2.24.10.7-1
- Annexe 8: Carte d'approche 13-2 Zurich, Suisse, Jeppesen Inc.
- Annexe 9: Représentation graphique des résultats du commandant de ses line, route et simulator checks
- Annexe 10: Profile d'approche détaillé du vol CRX 3597
- Annexe 11: Représentation graphique du segment final de l'approche standard VOR/DME pour la piste 28

Rapport final

Exploitant:	Crossair, S.A. pour l'exploitation de lignes aériennes régionales européennes, CH-4002 Bâle
Type d'aéronef et modèle:	Avro 146-RJ 100
Nationalité:	Suisse
Marque d'immatriculation:	HB-IXM
Propriétaire:	Crossair, S.A. pour l'exploitation de lignes aériennes régionales européennes, CH-4002 Bâle
Lieu de l'accident:	Geissbühl, commune de Bassersdorf/ZH Lieu du premier impact avec la cime des arbres Coordonnées suisses: 689 607/256 564 Latitude: N 47° 27' 14" Longitude: E 008° 37' 37" Cime des arbres: 565 m AMSL 1854 ft AMSL Position moyenne de l'épave Coordonnées suisses: 689 350/256 600 Latitude: N 47° 27' 15" Longitude: E 008° 37' 24" Altitude locale: 515 m/M 1690 ft AMSL 4050 m avant le seuil de piste 28 de l'aéroport de Zurich, 150 m au Nord de l'axe de la piste
Date et heure de l'accident:	24 novembre 2001, 21:07 UTC

Synopsis

Bref exposé des faits

Dans la nuit du 24 novembre 2003 à 20:01 UTC, l'Avro 146-RJ 100 de la compagnie aérienne Crossair immatriculé HB-IXM effectuant le vol de ligne Berlin-Zurich CRX 3597, décolle de la piste 26L de l'aéroport de Berlin-Tegel.

A 20:58:50 UTC, après un vol sans incident, l'appareil est autorisé à effectuer une approche standard VOR/DME pour la piste 28 de l'aéroport de Zurich.

L'équipage de l'Embraer EMB 145, vol CRX 3891, qui le précède dans la séquence d'approche communique à la tour de contrôle que les minima de visibilité requis pour l'approche VOR/DME 28 sont pratiquement atteints.

A 21:05:21 UTC, le vol CRX 3597 s'annonce sur la fréquence de la tour de contrôle. A 21:06:10 UTC, alors que l'appareil atteint l'altitude minimale de descente de 2390 ft QNH, le commandant mentionne au copilote qu'il a plus ou moins établi le contact visuel avec le sol et il continue à descendre.

A 21:06:36 UTC, l'avion heurte la cime des arbres puis s'écrase au sol.

L'avion prend feu lors de l'impact. Vingt et un passagers et trois membres d'équipage sont mortellement blessés sur le lieu de l'accident. Sept passagers et deux membres d'équipage survivent à l'accident.

Enquête

Le Bureau d'enquête sur les accidents d'aviation (BEAA) a constitué une équipe chargée d'enquêter sur un accident d'aviation à caractère catastrophique impliquant un grand avion.

Conformément à l'annexe 13 à la Convention relative à l'aviation civile internationale (OACI, Annexe 13) les Etats de conception et de construction de l'aéronef peuvent demander à être représentés dans le groupe d'enquête. Le Royaume Uni de Grande Bretagne et d'Irlande du Nord ainsi que la République Fédérale allemande, respectivement en tant que pays concepteur de l'avion et représentant des survivants de nationalité allemande, ont fait usage de cette possibilité.

L'accident est dû à la collision de l'appareil avec un relief boisé, sans perte de contrôle, lors de la phase finale de la procédure d'approche standard VOR/DME 28 parce que l'équipage a volontairement poursuivi la descente sous l'altitude minimale de descente, dans des conditions de vol aux instruments.

L'enquête a établi les facteurs de causalité de l'accident suivants:

- Le commandant est descendu consciemment sous l'altitude minimale de descente publiée pour la procédure d'approche standard VOR/DME 28.
- Le copilote n'a pas tenté d'empêcher la poursuite du vol sous l'altitude minimale de descente.
- L'équipage n'avait pas établi le contact visuel avec le dispositif lumineux d'approche ni avec la piste.

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

- Le secteur d'approche de la piste 28 de l'aéroport de Zurich n'était pas doté d'un système d'avertissement d'altitude minimale de sécurité (minimum safe altitude warning - MSAW).
- Sur une longue période, les personnes responsables concernées de la compagnie n'ont pas évalué de manière pertinente les performances aéronautiques du commandant. Les mesures adéquates n'ont pas été prises pour combler les lacunes constatées.

- La capacité du commandant de se concentrer, de prendre des décisions et d'analyser des processus complexes était diminuée par son état de fatigue.
- La répartition des tâches pendant l'approche dans le poste de pilotage n'était pas adéquate et ne correspondait pas aux procédures prescrites par la compagnie .
- Le relief heurté par l'avion n'était pas signalé sur la carte d'approche utilisée par l'équipage.
- La visibilité météorologique déterminée à l'aéroport n'était pas représentative pour l'approche de la piste 28 car elle ne correspondait pas à la visibilité en vol effective dans le secteur d'approche.
- Les minima de visibilité en vigueur lors de l'accident étaient inappropriés à l'exploitation de la procédure d'approche standard VOR/DME 28.

Dans le cadre de cette enquête, le BEAA a émis treize recommandations de sécurité sur les thèmes suivants:

- Calage de l'altitude pendant une approche classique
- Système d'avertissement et d'alarme d'impact (TAWS)
- Système d'observation météorologique
- Installation d'un système MSAW dans le secteur d'approche de la piste 28 à Zurich-Kloten
- Signalisation des obstacles dans le manuel de routes Jeppesen
- Publication d'un point de descente à vue (VDP)
- Portée visuelle minimale pour les approches classiques
- Profil du terrain sur les cartes d'approche
- Composition de l'équipage (*crewpairing*)
- Examen des performances des pilotes
- Temps de service d'équipage
- Amélioration du système d'assurance qualité des entreprises de transport aérien
- Contrôles de compétence des pilotes

1 Renseignements de base

1.1 Déroulement du vol

1.1.1 Faits antérieurs

1.1.1.1 Avion

Vols effectués par l'avion HB-IXM pendant les 24 heures qui ont précédé l'accident:

Date	N° de vol	Départ de	à (UTC)	Arrivée à	à (UTC)
23.11.01	LX 209	Salonique	03:00	Zurich	06:02
23.11.01	LX 3532	Zurich	06:57	Francfort	08:00
23.11.01	LX 3533	Francfort	09:12	Zurich	10:09
23.11.01	LX 3234	Zurich	11:17	Tunis	13:05
23.11.01	LX 3235	Tunis	14:00	Zurich	16:22
23.11.01	LX 3628	Zurich	17:37	Milan	18:35
23.11.01	LX 3629	Milan	19:10	Zurich	20:01
23.11.01	LX 208	Zurich	20:57	Salonique	23:17
24.11.01	LX 209	Salonique	03:10	Zurich	06:03
24.11.01	LX 3790	Zurich	07:00	Amsterdam	08:25
24.11.01	LX 3791	Amsterdam	08:55	Zurich	10:10
24.11.01	LX 3450	Zurich	11:15	Ljubljana	12:14
24.11.01	LX 3451	Ljubljana	13:03	Zurich	14:09
24.11.01	LX 3596	Zurich	17:54	Berlin-Tegel	19:30

Les annotations suivantes ont été relevées dans le registre DDL (deferred defect list):

- *ATA 21* *Flt. Deck temp. in auto mode difficult to control. In full cool duct temp. rises up to 70 – 80°. Please use man. temp. control, xfer to DD acc MEL 21-60-5.*
- *ATA 49* *Crew reported APU needs always two attempts to start. Following parts are already replaced:*
 - *Igniter plugs*
 - *Fuel filter*
 - *Start fuel manifold*
 - *FCU*
 - *APU bleed valve*
 - *Start solenoid**Further T/S needed.*
- *ATA 30* *Please perform reinspection of aileron and elevator after use of de-icing fluid type IV acc. P/H 1.3 "WINTER OPS"*

1.1.1.2 Equipage

1.1.1.2.1 Commandant

Le 23 novembre 2001 aux alentours de 05:00 UTC, le commandant rencontre un élève-pilote au GAC (*general aviation center*) de l'aéroport de Zurich. C'est là le début de son activité aéronautique pour cette journée. De 06:15 à 07:20 UTC, sous mandat de l'école Horizon Swiss Flight Academy, il effectue un vol d'instruction IFR à destination de Friedrichshafen (D) en tant qu'instructeur. L'avion reprend l'air à 07:34 UTC pour le vol de retour vers Zurich, où il atterrit à 08:57 UTC.

Ensuite, le commandant effectue quatre vols de ligne pour la compagnie Crossair. A 11:02 UTC, il décolle pour Tirana (AL) où il atterrit à 13:09 UTC. Le vol de retour pour Zurich commence à 13:53 UTC et s'achève à 16:16 UTC. Le commandant repart à 17:37 UTC pour un aller-retour sur Milano-Malpensa (I). Il y atterrit à 18:35 UTC et en repart à destination de Zurich à 19:10 UTC. Après l'atterrissage à Zurich à 20:01 UTC, il termine sa journée de travail à 20:31 UTC après une période de service de vol de 15 heures et 31 minutes. Compte tenu de la distance qui sépare l'aéroport du domicile du commandant et des bonnes conditions de circulation, on peut estimer la durée du parcours à environ une demi-heure.

Le 24 novembre 2001, après une période de repos de 10 heures et 59 minutes, le commandant recommence sa journée de travail au GAC de l'aéroport de Zurich à 07:30 UTC pour un nouveau vol d'instruction IFR avec une élève-pilote, sous mandat de l'école Horizon Swiss Flight Academy. Leur avion décolle de Zurich à 09:34 UTC et atterrit à Donaueschingen-Villingen (D) à 10:20 UTC. Une demi-heure plus tard, à 10:50 UTC, il repart pour Friedrichshafen où il arrive à 11:36 UTC. Le vol de retour pour Zurich commence à 11:53 UTC et s'achève à 12:27 UTC. Selon le témoignage de l'élève-pilote, à 13:30 UTC le debriefing du vol était terminé.

Le vol Crossair CRX 3596 à destination de Berlin-Tegel, prévu à 17:20 UTC, décolle de Zurich à 17:54 UTC.

1.1.1.2.2 Copilote

Le 23 novembre 2001, le copilote effectue quatre vols de ligne Crossair. Il prend son service à 11:50 UTC et décolle de Zurich à 13:23 UTC à destination de Budapest, où son avion atterrit à 15:04 UTC. De 16:07 à 17:45 UTC il revient à Zurich, d'où il repart à 18:40 UTC pour Düsseldorf. A 20:05 UTC, il atterrit à Düsseldorf d'où il redécolle à 20:30 UTC à destination de Zurich. Il atterrit à Zurich à 21:35 UTC et termine sa journée à 22:05 UTC après une période de service de vol de 10 heures et 15 minutes. On peut estimer la durée du trajet entre l'aéroport et son domicile à environ 45 minutes.

La compagne du copilote a déclaré dans sa déposition que son compagnon avait trouvé sa journée de travail très difficile et s'était déclaré épuisé.

Après une période de repos de 18 heures et 15 minutes, le copilote reprend son service à l'aéroport de Zurich le 24 novembre 2001 à 16:20 UTC. Le vol Crossair CRX 3596 à destination de Berlin-Tegel, prévu à 17:20 UTC, décolle de Zurich à 17:54 UTC.

1.1.2 Déroutement du vol

1.1.2.1 Préparation du vol

Le 24 novembre 2001, juste avant le vol fatal, l'appareil HB-IXM effectue le vol de ligne CRX 3596 de Zurich à Berlin-Tegel, où il atterrit 19:25 UTC. Le vol suivant portant le numéro de vol CRX 3597 sera effectué par le même équipage. Après l'atterrissage à Berlin, l'aéronef accoste à la passerelle 11 à 19:30 UTC, c'est-à-dire 40 minutes après l'horaire prévu, et les passagers débarquent. Comme il dispose encore d'une quantité de kérosène (*actual block fuel*) de 5650 kg et que le plan de vol prévoit une quantité totale embarquée (*minimum block fuel*) de 4893 kg pour le vol de retour, il n'est pas avitaillé en carburant. Conformément aux pratiques standard, la restauration passagers pour le retour avait été embarquée au départ de Zurich.

Pendant l'escale, la cabine est nettoyée. L'agent de trafic remet le devis de masse et centrage (*load sheet*) à l'équipage. Cet employé a déclaré que le commandant avait quitté l'avion, vraisemblablement pour effectuer une inspection extérieure de routine, et qu'il avait échangé quelques mots avec lui. Le comportement du commandant lui avait alors paru normal et il n'avait remarqué aucun signe de stress ou de fièvre. Pendant ce temps, le copilote reste à bord de l'avion.

Vingt-huit passagers et vingt-trois bagages sont enregistrés sur le vol CRX 3597. D'après les réservations, quarante-neuf passagers étaient prévus mais un groupe de vingt et un voyageurs ne s'est pas présenté. Aucun fret n'est transporté. Les passagers embarquent entre 19:40 et 19:45 UTC.

1.1.2.2 Vol de Berlin-Tegel à Zurich

Le commandant est pilote en fonction (PF) et le copilote est pilote non en fonction (PNF). A ce titre, ce dernier sera responsable des liaisons radio avec les organes du contrôle de la circulation aérienne (organes ATC) pendant tout le vol.

Pendant le vol de Berlin-Tegel à Zurich, toutes les communications radio entre l'équipage du vol CRX 3597 et les divers organes ATC se déroulent en anglais. En revanche, les conversations entre les membres de l'équipage dans le poste de pilotage se font principalement en suisse allemand. Aucun indice ne permet de conclure à un malentendu entre les pilotes ou entre les contrôleurs de la circulation aérienne et l'équipage.

A 19:48 UTC, l'équipage demande l'autorisation de mise en route et de repoussage de l'appareil (*start up and push back clearance*) et confirme avoir reçu par la même occasion l'information ATIS «GOLF». Le contrôle sol répond alors que l'information en cours est «INDIA» et accorde l'autorisation de mettre les moteurs en route. L'autorisation reçue est la procédure de départ aux instruments (SID) «Magdeburg 4L» avec le code transpondeur 3105.

A 19:50 UTC, soit 10 minutes après l'heure prévue, la passerelle 11 est retirée et 2 minutes plus tard le vol CRX 3597 peut être repoussé, après qu'un autre appareil a accosté à la passerelle 10 voisine.

A 19:56 UTC, l'équipage reçoit l'autorisation de rouler au point d'attente de la piste 26L «*via the bridge*». Les barres d'arrêt de la piste 26L restent allumées alors que le vol CRX 3597 reçoit l'autorisation de s'aligner. L'équipage signale cette anomalie et ne s'engage sur la piste qu'une fois les barres d'arrêt éteintes. Le vol CRX 3597 décolle à

20:01 UTC et est autorisé par le contrôle d'approche (APP) à monter au niveau de vol 160.

Dans cette première phase, les conversations radio et le profil de vol ne présentent aucune particularité.

Les enregistrements du CVR débutent à 20:36 UTC. L'avion se trouve alors au niveau de vol 270 dans la région de contrôle de *Rhein Radar*. De 20:36:48 à 20:37:23 UTC, le copilote déchiffre le bulletin de piste (*runway report*) de l'aéroport de Zurich. Lorsqu'il constate que l'action de freinage estimée n'y figure pas, le commandant se lance dans une explication détaillée d'une durée d'environ deux minutes sur l'interprétation d'un bulletin de piste.

A 20:40 UTC, le vol CRX 3597 reçoit l'autorisation de débiter la descente vers le niveau de vol 240, puis, à 20:42 UTC, de la poursuivre jusqu'au niveau de vol 160. Pendant cette phase, en sa qualité de PF, le commandant expose au copilote le briefing pour l'approche (*approach briefing*) : il prévoit une approche aux instruments ILS standard pour la piste 14 de Zurich-Kloten. Pendant ce briefing, le copilote signale que la vitesse est trop élevée (20:43:44 UTC) : «Mer chömed glaub mit de *speed* ächli in rote Bereich ine» (Je crois qu'on arrive un peu dans la zone rouge avec la *speed*). Le commandant répond : «Ja, ja, ja, uuh, ja, isch mer devo gloffe, sorry. Mues en echli zrugg näh... so, das isch... zwenig zrugg gschrubet, hä.» (Oui, oui, oh là, oui, j'avais pas vu, excuse-moi. Il faut un peu le ralentir... voilà... ça y est... pas assez, là.). Le commandant laisse ensuite le réglage des instruments de navigation (*NAV settings*) au gré du copilote : «Denn, äh, s'NAV *setting* isch up to you. Final NAV *setting* wär zwei Mal d'ILS. » (Bon, après, le *NAV setting* c'est up to you. Le *final NAV setting* c'est deux fois l'ILS.).

Entre 20:20 et 20:36 UTC, l'équipage reçoit l'information ATIS «KILO» qui prévoit une approche aux instruments pour la piste 14. A 20:40:10 UTC, la nouvelle information ATIS «LIMA» signale le changement suivant pour la piste d'atterrissage : «*Landing runway 28, VOR/DME standard approach*». L'information ATIS suivante, «MIKE», diffusée à 20:44:56 UTC comporte une mise à jour de l'heure du bulletin de piste. Ce bulletin de piste n'apporte aucune modification du contenu par rapport au précédent.

A 20:44:38 UTC, le vol CRX 3597 prend contact avec l'organe ATC *Zurich Radar* et poursuit sa descente vers le niveau de vol 160. L'équipage reçoit l'ordre de réduire la vitesse à 240 KIAS, puis de descendre au niveau de vol 130. A 20:47:56 UTC, le contrôle du vol est transféré à *Zurich Arrival East Sector*. Lors de la première prise de contact, le copilote confirme la réception de l'information ATIS «KILO». Le contrôleur de la circulation aérienne ne signale pas à l'équipage qu'entretemps l'information ATIS «MIKE» est entrée en vigueur. Il l'informe des changements significatifs par rapport à l'information « KILO » et que le vol CRX 3597 est prévu pour une approche standard VOR/DME sur la piste 28. A 20:48:39 UTC, le commandant dit : «Ou ****, das äno, guet, ok.» (Oh, ****¹, et ça encore... bon, ok.).

L'information ATIS «NOVEMBER» entre en vigueur à 20:50:00 UTC. Les différences portent entre autres sur une amélioration de la visibilité météorologique (3500 m) et sur un abaissement du plafond (5-7/8 à 1500 AAL). Le contrôleur de la circulation aérienne de *Zurich Arrival East Sector* ne communique pas cette modification à l'équipage.

¹ Les expressions spontanées en rapport avec la situation et les commentaires personnels sans rapport direct avec le déroulement de l'accident sont remplacés par des ****.

Peu après, le vol CRX 3597 reçoit l'instruction de se diriger sur le point de cheminement RILAX pour un circuit d'attente. Une fois entré dans le circuit d'attente, entre 20:51:56 et 20:52:52 UTC le commandant fait un briefing pour l'approche standard VOR/DME 28: «Guet, dän gäb's es *re-briefing runway two eight...* das wär d'Charte drizäh zwei. Känsch guet de achtezwänzger Aaflug?» (Bon, alors on fait le *re-briefing runway two eight...* c'est la carte treize deux [13-2]. Tu la connais bien l'approche vingt-huit?). Réponse du copilote: «Ja, i has e paar mal scho gmacht, gell» (Oui, je l'ai déjà faite quelques fois). Le commandant poursuit: «Es gaat via Trasadinge, Züri Oscht sächstuusig Fuess, dänn abe uf föiftuusig, dänn *turn inbound to Chlote radial Zwei Föifesibzig*» (On passe par Trasadingen, Zurich Est six mille [6000] pieds, puis on descend à cinq mille [5000], et ensuite *turn inbound to Kloten radial deux septante-cinq [275]*). Le copilote confirme: «Jawohl» (Exact) et le commandant continue: «Wämer en *self line-up* würd mache, heted mer föiftuusig nach Züri Oscht, dänn viertuusig abe. Wämer de *turn* macht bi Ko... Komma Sächs Meile, Sächs Komma Föif Meile *left turn* und dänn dä Aaflug da gemäss Profil: Viertuusig verlah bi acht Meile und bi sächs Meile Drüü Drüü Sächzig und s'neu Minimum isch Zwei Drüü Nünzig mit drüühundert am *radio altimeter*. *Go around* via Chlote *radial Two Füfelfüßzg intercept Zero One Two from Willisau proceed to EKRIT climb to six thousand feet* uf der APA.» (Si on faisait un *self line-up*, on aurait cinq mille [5000] direction Zurich Est, puis descente à quatre mille [4000]. Si on fait le *turn* à vir... virgule six nautiques, six virgule cinq nautiques, *left turn* et puis approche selon le profil: quitter quatre mille [4000] à huit nautiques et à six nautiques trois trois soixante [3360] et le nouveau minimum est deux trois nonante [2390] avec trois cents [300] sur le *radio altimeter*. [procédure Crossair: le radioaltimètre est calé sur 300 ft RA pour les approches classiques et les approches visuelles] *Go around* via Kloten *radial Two cinquante-cinq [255], intercept Zero One Two [012] from Willisau proceed to EKRIT climb to six thousand [6000] feet* sur l'APA.). Le copilote confirme la procédure par «*checked, jawohl*» (*checked*, c'est bon).

Le réglage des instruments de navigation a été discuté de la manière suivante: «*S'NAV-setting* bitte zweimal Chloote für de *approach* bis deet ane isch's *up to you*, hä.» (Le *NAV setting*: s.v.p. deux fois Kloten pour l'*approach*. Jusque-là c'est *up to you*, hein!).

A 20:53:42 UTC, le vol CRX 3597 reçoit l'ordre de virer à droite au cap 180°. Deux minutes plus tard, il reçoit l'instruction suivante de l'organe ATC: «*CRX 3597, on present heading intercept, follow ZUE VOR radial 125 inbound*». Le copilote répète: «*Present heading, intercept inbound to ZUE, radial 152, CRX 3597*». Le contrôleur de la circulation aérienne répond: «*No, radial 125*». Le copilote confirme: «*125, CRX 3597*». Cette instruction surprend l'équipage car le commandant interprète «*radial 125*» comme «*track 125*» (route 125), mais il ne demande pas confirmation au contrôleur de la circulation aérienne.

A 20:57:18 UTC, le vol CRX 3597 reçoit l'autorisation de descendre à 6000 ft QNH. Le commandant indique ensuite que son altimètre principal est calé sur 1024 hPa QNH. Pendant les vérifications pour l'approche (*check for approach*), l'équipage procède à un contrôle croisé des affichages des altimètres. Le copilote ajoute encore: «*Fuel panel... set. Remaining*, mer händ no Drüütuusig Zweihundert.» (*Fuel panel... set. Remaining*, il nous reste encore trois mille deux cent.) [remarque: 3200 kg de kérosène].

A 20:58:50 UTC, l'appareil est autorisé à effectuer une approche standard VOR/DME 28. Après avoir ordonné à l'équipage de réduire sa vitesse indiquée à 180 kt, *Zurich Arrival* transfère le vol CRX 3597 au contrôleur d'aérodrome ADC1 (*Zurich Aerodrome Control 1, Zurich Tower*) à 21:03:01 UTC. Pendant cette phase, l'appareil

HB-IXM, qui se situe entre 5000 et 4000 ft QNH, continue à descendre et vire à droite pour intercepter et s'aligner sur l'axe d'approche de 275° du VOR/DME KLO. Au moment du transfert à *Zurich Tower*, l'avion se trouve à environ 11 NM à l'Est de l'aéroport. Pendant le virage à droite, le commandant signale au copilote qu'il a établi le contact visuel avec le sol.

A 21:03:29 UTC, un Embraer EMB 145, vol CRX 3891, atterrit sur la piste 28 et communique l'information suivante sur la fréquence de *Zurich Tower* à 21:04:31 UTC: «*Ja, just for information, ähm..., the weather at... for RWY 28 ist äh... pretty minimum; so we had runway in sight about 2.2 NM distance away.*» (Oui, petite information, hem... la visibilité à... pour la piste vingt-huit [28] est, hem... pratiquement au minimum; nous avons aperçu la piste à environ 2,2 nautiques.). Cet appareil est le premier qui effectue l'approche standard VOR/DME 28 ce soir-là. Cette information météorologique n'a pas été relayée par l'organe ATC aux vols suivants. Selon les enregistrements du CVR de 21:05:59 et 21:06:22 UTC, il s'avère que le commandant du vol CRX 3597 en avait pris conscience.

A 21:04:23 UTC, le copilote constate: «*Jetzt simmer acht Meile denn, chömmer vier tuusig verlaa.*» (Maintenant on est à huit [8] nautiques, ensuite on peut quitter quatre mille [4000].).

A 21:04:27 UTC, le commandant répond: «*Jawohl, guet, established simmer... sächs tuusig ine bitte, go around altitude... vertical, sorry... vertical at tuusig.*» (Exact, bien, on est *established*... régler sur six mille [6000] s.v.p., *go around altitude... vertical, sorry... vertical at... mille [1000]*). Le copilote confirme par «oui» l'ordre de régler l'altitude de remise des gaz à 6000 ft sur le panneau de commande de modes.

A 21:04:36 UTC, l'appareil quitte l'altitude de 4000 ft QNH, sa vitesse est alors de 160 kt. Au début, son taux de descente (ROD) est de 1000 ft/min, puis il augmente à 1200 ft/min. Il ne sera plus modifié si ce n'est juste avant l'impact.

A 21:05:21 UTC, l'équipage du vol CRX 3597 appelle ADC1: «*Tower, gueten Aabig, CRX 3597, established VOR/DME runway 28.*» (*Tower, bonsoir, CRX 3597, established VOR/DME runway 28*). L'avion est à une altitude de 3240 ft QNH et à une distance DME de 6 NM du radiophare omnidirectionnel VOR/DME KLO. Peu après, l'équipage achève la liste de vérifications finales (*final check*) en préparation à l'atterrissage. A 21:05:27 UTC, le commandant observe: «*Sächs Meile drüü drüü isch checked.*» (Six nautiques trois trois [3300]... *checked*).

L'avion se rapproche de l'altitude minimale de descente (MDA), ce que le commandant confirme à 21:05:55 UTC en remarquant qu'il a plus ou moins le contact visuel avec le sol: «*Zwei vier, ground contact hämmer, hä.*» (Deux quatre [2400], on a le *ground contact*, hein). Le copilote répond: «*Jawohl*» (Exact). A 21:05:59 UTC, le commandant observe: «*Mä hät gseit, Pischte hät er spaht gseh da... approaching minimum descent altitude... da hämmer ächli ground contact...*» (On a dit qu'ici, il a vu la piste tard... *approaching minimum descent altitude*... ici on a un peu de *ground contact*...). A 21:06:10 UTC l'appareil atteint la MDA de 2390 ft QNH et le commandant dit: «*...zwo vier, s'Minimum... ground contact han ich... mer gönd wiiter im Moment... es chunnt füre, ground contact hämer... mer gönd wiiter...*» (...deux quatre [2400], le minimum... j'ai le *ground contact*... pour le moment on continue... ça se rapproche, on a le *ground contact*... on continue...). Simultanément, le copilote marmonne: «*Zwei Vier*» (deux quatre). La descente se poursuit sous la MDA sans aucun changement. A 21:06:22 UTC, la voix synthétique du dispositif avertisseur de proximité de sol (GPWS) indique que, selon les mesures du radioaltimètre, la hauteur de 500 ft AGL est atteinte. Juste après, le commandant remarque: «******, zwee Meile hät er gseit, gseht er d'Pischte.*» (*****, il a dit qu'il voyait la piste à deux nautiques.). A 21:06:31 UTC, le commandant

remarque que l'altitude de 2000 ft est atteinte: «Zwöi Tuusig» (deux mille). Une seconde plus tard, lorsque le radioaltimètre mesure 300 ft, une nouvelle alerte du GPWS retentit. Le contrôleur d'aérodrome ADC1 donne l'autorisation d'atterrissage au vol CRX 3597 à 21:06:32 UTC. Pendant cette communication radio, le commandant dit tout doucement: «Sölled mer en *go around* mache?» (Est-ce qu'on devrait faire un *go around*?). A 21:06:34 UTC, le commandant ordonne de remettre les gaz et l'avertisseur sonore lié à la désactivation du pilote automatique retentit. Quelques fractions de seconde plus tard, le copilote exprime de la même manière l'intention de remettre les gaz. Les données enregistrées par le FDR révèlent que l'équipage a poussé les manettes de puissance vers la position de puissance de remise des gaz et que le régime des moteurs a augmenté. Une seconde plus tard, le CVR commence à enregistrer le bruit d'une collision. Peu après, les enregistrements du CVR cessent.

Les premières traces d'impact de l'aéronef ont été relevées à la cime d'un arbre culminant à 1854 ft AMSL. L'avion s'est écrasé environ 200 m plus loin, à une altitude de 1690 ft AMSL, après avoir pris feu pendant cette ultime phase du vol.

Au moment où le contrôleur d'aérodrome délivre l'autorisation d'atterrissage, il voit l'appareil sur son écran de contrôle. Il attribue l'absence de confirmation de l'équipage CRX 3597 à l'autorisation d'atterrissage au fait que les pilotes sont très occupés pendant cette phase du vol et qu'ils ne peuvent donc pas répondre immédiatement.

Après cette communication radio, le contrôleur d'aérodrome doit effectuer d'autres opérations avant de pouvoir s'occuper à nouveau du vol CRX 3597. Il constate alors que l'appareil a disparu de son écran de contrôle et se met immédiatement en contact avec le contrôleur sol afin de savoir où se trouve le vol CRX 3597. A 21:10:32 UTC, soit 4 minutes après l'autorisation d'atterrissage, il déclenche l'alarme maximale.

Les premiers véhicules des sapeurs-pompiers de l'aéroport de Zurich arrivent sur le lieu de l'accident à 21:22 UTC avec les services de sauvetage.

1.2 Tués et blessés

Blessures	Membres d'équipage	Passagers	Autres personnes
Mortelles	3	21	---
Graves	1	4	---
Légères/Aucune	1	3	

1.3 Dommages à l'aéronef

Lors de l'impact et de l'incendie qui s'en est suivi, le poste de pilotage, les sections avant et centrale du fuselage ainsi que des parties importantes des ailes ont été détruites. Seule l'arrière du fuselage comprenant l'empennage, s'est détaché du reste de l'aéronef et a été épargné par le feu.

1.4 Autres dommages

L'accident a provoqué d'importants dégâts à la forêt. Entre-temps, le site de l'accident a été régénéré.

1.5 Renseignements sur le personnel

1.5.1 Commandant

Données personnelles	+nationalité suisse, année de naissance 1944
Temps de service d'équipage	Début du service à l'école Horizon Swiss Flight Academy le 23.11.01: 05:00 UTC Fin du service auprès du transporteur aérien Crossair le 23.11.01: 20:31 UTC Période de service de vol le 23.11.01: 15:31 h Période de repos: 10:59 h Début du service à l'école Horizon Swiss Flight Academy le jour de l'accident: 07:30 UTC Période de service de vol au moment de l'accident: 13:37 h
Licence	Licence de pilote de ligne <i>ATPL (A)/ JAR</i> délivrée par l'OFAC, valable jusqu'au 02.05.2006
Qualifications	Radiotéléphonie internationale <i>RTI (VFR/IFR)</i> Vol de nuit <i>NIT (A)</i> Vol aux instruments <i>IFR (A)</i>
Qualifications à proroger	Avions monomoteurs à pistons <i>SE piston</i> Motoplaneurs <i>TMG</i> Avions multimoteurs à pistons <i>ME piston</i> Qualification de type Avro RJ/BAe 146 PIC Qualification de type Saab 340 PIC Instructeur de vol <i>FI (A)</i> Instructeur de vol aux instruments <i>IRI (A)</i>
Qualifications de vol aux instruments	SE piston, CAT I, valable jusqu'au 11.02.2002 ME piston, CAT I, valable jusqu'au 11.02.2002 Avro RJ/BAe 146 PIC, CAT III, valable jusqu'au 28.05.2002 Saab 340 PIC, CAT II, valable jusqu'au 11.02.2002
Qualification nationale	Extension au vol de virtuosité <i>ACR (A)</i>
Dernier contrôle de compétence (<i>proficiency check</i>)	<i>Semi-annual recurrent check</i> chez Crossair le 24.10.2001

Dernier contrôle en ligne (<i>line check</i>)	Qualification commandant (<i>CDR type rating</i>) chez Crossair le 22.06.2001
Certificat médical d'aptitude	Dernier examen périodique le 10.08.2001, valable à partir du 11.08.2001, classes 1 et 2
Expérience de vol	19555:29 h au total
sur avion à moteur	19441:31 h
sur planeur	113:58 h
comme commandant	19341:08 h
sur le modèle accidenté	287:13 h
au cours des 90 derniers jours	193:14 h
dont sur le modèle accidenté	163:06 h
la veille de l'accident	8:47 h
dont sur le modèle accidenté	6:19 h
le jour de l'accident	4:57 h
dont sur le modèle accidenté	2:51 h
Début de la formation aéronautique	1961

1.5.1.1 Formation professionnelle

Après l'école primaire, le commandant fréquente l'école secondaire. Il interrompt cette formation après deux ans pour effectuer un apprentissage de mécanicien-ajusteur. Il obtient son certificat de fin d'apprentissage en 1964.

1.5.1.2 Formation et activités aéronautiques

A 17 ans, le commandant s'inscrit à l'Instruction aéronautique préparatoire (IAP), mais il ne passe pas le premier examen d'admission. L'Institut de médecine aéronautique des Forces aériennes refuse une nouvelle demande déposée pour la session d'examen de 1963 et deux demandes en 1965 pour cause de connaissances scolaires lacunaires.

Pendant son apprentissage, le commandant prend des cours de pilotage privés sur planeur et sur avion monomoteur. L'Office fédéral de l'air lui délivre la licence de pilote de planeur le 17 août 1963 et celle de pilote privé le 19 février 1964. Il participe ensuite à un cours théorique pour la qualification de vol aux instruments et pour la licence de pilote professionnel. Par la suite, après avoir suivi les formations correspondantes, il obtient l'extension au vol de virtuosité le 12 avril 1966 et la licence de pilote professionnel le 16 août 1966.

Au printemps 1966, le commandant passe les examens d'aptitudes pour devenir instructeur de vol à moteur. Après avoir fréquenté le cours correspondant et effectué un stage pratique d'environ six mois, le 31 janvier 1967 il obtient l'autorisation de former des pilotes privés.

Entre 1967 et 1970, il est très actif comme instructeur aux règles de vol à vue (VFR) pour pilote privé. Son expérience passe ainsi de 200 à plus de 2000 h de vol VFR.

De 1965 à 1970, il effectue avec succès des transitions sur six autres types d'avion, dont cinq sont essentiellement utilisés dans des conditions VFR.

Il commence la formation de vol aux instruments (IFR) en 1966, mais échoue à plusieurs reprises aux examens théoriques complémentaires et à l'examen pratique entre 1967 et 1969. Les experts de l'Office fédéral de l'air jugent notamment que ses connaissances générales sont insuffisantes et qu'il n'utilise pas correctement les instruments de navigation. Il obtient le permis spécial de vol aux instruments le 10 juillet 1969 avec la note « *average* ».

A partir de cette date, et jusqu'en 1979, le commandant effectue régulièrement des vols affrétés pour diverses entreprises de transport aérien sur Cessna 337 et Cessna 414. En automne 1972 il est admis à un cours pour instructeur de vol IFR par l'Office fédéral de l'air. Par la suite, et jusqu'au jour de l'accident, il formera régulièrement des élèves-pilotes au vol aux instruments en dehors de son activité chez Crossair.

La majeure partie des contrôles IFR périodiques qu'il passe entre 1969 et 1979 sont notés « *average* » par les experts, qui constatent qu'occasionnellement les listes de vérifications (*check-lists*) ne sont pas suivies systématiquement, que les procédures ne sont pas respectées et que les instruments de navigation ne sont pas utilisés à bon escient. Des remarques analogues sont faites au sujet de son activité d'instructeur de vol.

Le 28 janvier 1979, le commandant postule pour une place de pilote chez Crossair. Aucun document concernant un test d'aptitude n'a pu être produit. Au printemps 1979, il participe à un cours de transition chez *Flight Safety International* pour le type d'avion SA 226 TC Metroliner II utilisé alors par Crossair. Le 5 avril 1979, avec 4490 h de vol à son actif, il passe l'examen de qualification pour ce type d'avion avec la note « *below average – average* ».

Le commandant est ensuite employé chez Crossair, d'abord comme pilote à temps partiel du 15 juin au 31 août 1979, puis à plein temps du 1^{er} septembre 1979 au 31 mai 1982. Au printemps 1981, il suit un cours de transition sur SA 227 AC Metroliner III. Il officiera ensuite comme commandant, instructeur de vol, expert lors de vols de contrôle (*route check pilot*) et expert. Simultanément il était suppléant du chef pilote de l'entreprise. Dans le même temps il reste enregistré comme instructeur de vol et comme pilote dans le manuel d'exploitation (FOM) de trois autres transporteurs aériens. Il quitte Crossair le 31 mai 1982 à sa demande. Les prestations aéronautiques du commandant sont alors qualifiées comme supérieures à la moyenne par son employeur.

Entre le 1^{er} juin 1982 et le 31 mai 1991, le commandant travaille pour Crossair sous sept contrats de collaborateur extérieur différents. Le 12 août 1987, il obtient la qualification pour le type d'avion Saab 340. Du 1^{er} juin 1991 au 31 décembre 1993, il est employé à temps partiel (83 %) par Crossair, puis de nouveau à 100 % à partir du 1^{er} janvier 1994 et jusqu'à l'accident. Il existait en outre un contrat de travail à temps partiel signé le 11 septembre 1981 entre le commandant et l'école d'aviation Horizon Swiss Flight Academy pour son activité d'instructeur de vol.

1.5.1.2.1 Premier cours de transition sur MD 80

En 1993 et 1994, il est question à trois reprises d'inscrire le commandant à un cours de transition sur le type d'avion British Aerospace 146 «Jumbolino». Pour diverses raisons, ces cours n'ont pas lieu et le commandant reste opérationnel sur Saab 340.

Courant 1995, le commandant est désigné pour un cours de transition sur MD 80. Il n'y a ni procédure de sélection ni test d'aptitudes. Le cours de transition commence le 2 janvier 1996. Peu après le début des entraînements sur simulateur, le commandant a de la peine à fournir les prestations attendues. Il se voit alors proposer deux séances supplémentaires de simulateur, mais même après celles-ci il subsiste des lacunes en termes de vue d'ensemble et de capacité de coordination. Les progrès étant trop lents, l'entreprise décide d'interrompre le cours et propose au commandant de commencer un nouveau cours de transition sur MD 80 quelques mois plus tard.

Une réflexion approfondie sur les motifs de l'échec au cours de transition n'a pas eu lieu. Le commandant est alors réintégré sur Saab 340 et affecté au trafic de ligne.

1.5.1.2.2 Deuxième cours de transition sur MD 80

Le 24 juin 1996, le commandant est convoqué à un second cours de transition sur MD 80. Aucun test d'aptitudes n'a lieu avant ce cours. Dès la deuxième séance de simulateur, il a de gros problèmes avec le système de guidage de vol numérique (DFGS) du MD 80, ce qui réduit considérablement l'ensemble de ses prestations. Les problèmes s'aggravent encore après la quatrième séance et il doit se soumettre à un exercice supplémentaire sur simulateur. Un exercice supplémentaire a du ensuite être planifié après la session de simulateur suivante ainsi que lors du huitième entraînement.

Le 15 août 1996, le commandant échoue au contrôle final qui sanctionne le cours de transition (*type rating check*). Les insuffisances constatées concernent, entre autres, le pilotage manuel et l'utilisation systématique du dispositif de guidage de vol. Les experts relèvent aussi des capacités limitées en termes d'analyse et de prise de décision.

Le commandant est de nouveau réintroduit sur Saab 340 et affecté au trafic de lignes à partir du 1^{er} septembre 1996. Il n'y aura ni vérification de ses capacités ni analyse des raisons de ce nouvel échec.

1.5.1.2.3 Cours de transition sur Avro RJ 85/100

En 1993 et 1994, un cours de transition sur Avro RJ 85/100 avait déjà été envisagé pour le commandant mais, pour diverses raisons, cela ne s'était pas réalisé. Après les tentatives de transition infructueuses sur MD 80, le commandant reste opérationnel sur Saab 340. Courant 2000, lorsque Crossair planifie le retrait du Saab 340 de sa flotte, l'entreprise recherche activement un autre type d'avion pour que le commandant puisse continuer à travailler, d'autant que ce dernier a déjà exprimé le souhait de piloter jusqu'à 65 ans. Le commandant se propose donc à nouveau pour le MD 80, mais comme la compagnie n'a pas besoin de pilotes sur ce type d'avion à ce moment-là, cette transition n'entre pas en ligne de compte. Les responsables de l'entreprise décident de reconvertir le commandant sur Avro RJ 85/100 en invoquant comme raison la relative simplicité du pilotage de cet avion.

Le commandant n'est soumis à aucun test d'aptitudes avant le cours de transition sur Avro RJ 85/100. L'instructeur en chef sur l'Avro RJ 85/100 a déclaré ignorer que le commandant avait déjà tenté à deux reprises, sans succès, la transition sur un autre type d'avion à réaction.

Le 6 mai 2001, le commandant commence le cours de transition sur Avro RJ 85/100. Le contrôle de compétence (*proficiency check*) commence le 28 mai 2001. Suite à une panne du simulateur, la fin de l'examen a lieu le 4 juin 2001 sur un autre simulateur. La phase d'adaptation en ligne suit directement et s'achève après vingt étapes, par un contrôle en ligne (*line check*) le 22 juin 2001. Le 24 octobre 2001, le commandant passe son dernier contrôle périodique bi-annuel (*semi-annual recurrent check*) sous forme de contrôle de compétence. Les formulaires remplis lors de ces contrôles ne contiennent que des remarques positives sur le travail du commandant. Selon ces documents, lors du contrôle de compétence et du contrôle en ligne, de même que lors de la phase d'adaptation aux routes sous surveillance, le commandant n'a pas commis d'erreur et aucun point pouvant encore faire l'objet d'améliorations n'a pu être relevé.

Pendant la période où il a piloté le type d'avion Avro RJ 85/100, le commandant a effectué les exercices d'approche classique (NPA) suivants, sur l'entraîneur de procédures (CPM), au simulateur (SIM) et lors des différents contrôles:

Date	Exercice	Nombre et genre d'approches
26.04.2001	CPM, leçon 5	2 approches NPA
04.05.2001	CPM, leçon 8	1 approche NPA
12.05.2001	SIM, leçon 1	1 approche VOR, Zurich
13.05.2001	SIM, leçon 2	1 approche VOR, Genève
14.05.2001	SIM, leçon 3	2 approches NDB, Stuttgart
20.05.2001	SIM, leçon 5	1 approche indirecte LOC/DME 1 approche VOR, Milano-Linate
25.05.2001	SIM, leçon 9	2 approches NDB, Bâle
28.05.2001	Contrôle de compétence	1 approche VOR, Zurich
10.07.2001	Contrôle en ligne Qualification de type commandant	1 approche standard VOR/DME 28, Zurich
29.10.2001	Contrôle périodique bi-annuel	1 approche LOC/DME, Zurich

Le commandant n'a fait aucune NPA pendant la phase d'adaptation en ligne. Ainsi, au cours de sa formation sur Avro RJ 85/100 il a effectué quatorze NPA en tant que PF, dont deux approches standard VOR/DME 28 à Zurich, une fois sur simulateur et une fois en vol.

1.5.1.3 Activité d'instructeur de vol

Le commandant a travaillé pendant vingt ans comme instructeur de vol à l'école Horizon Swiss Flight Academy. Il s'occupait principalement de la formation des futurs pilotes professionnels avec qualification de vol aux instruments. A sa demande, il prenait

en charge presque exclusivement des modules de formation en vol et il était donc rare qu'il instruisse sur simulateur.

Le 22 septembre 1992, le commandant est nommé expert pour les examens de vol en vue de l'obtention de la qualification IFR. Quatre ans plus tard, le 13 août 1996, il est autorisé à faire passer l'examen de vol VFR.

Entre 1990 et 1993, il exerce comme instructeur dans des cours de formation de l'OFAC pour instructeurs de vol IFR.

Pendant l'automne 1998, il répète le cours pour instructeur de vol à moteur VFR de l'OFAC, qui dure deux semaines, afin de récupérer son permis d'instructeur de vol VFR qui était périmé depuis le 15 décembre 1986.

Depuis l'introduction des JAR-FCL 1 entre 1999 et 2002, les instructeurs de vol doivent passer périodiquement un contrôle de compétence pour le renouvellement de certaines qualifications. Ainsi chaque instructeur de l'école Horizon Swiss Flight Academy doit passer un contrôle de compétence pour avions multimoteurs à pistons sur le simulateur de l'école. Selon les déclarations de plusieurs personnes, le commandant n'appréciait guère les simulateurs et passait donc ce contrôle aux commandes d'un avion.

Le 28 avril 2000, le commandant effectue deux vols de formation en tant qu'instructeur de vol avec l'élève qui sera son copilote lors de l'accident du vol CRX 3597. A cette époque, ce dernier préparait sa licence de pilote professionnel avec qualification de vol aux instruments.

Comme le montrent ses notes relatives à son activité de vol, le commandant faisait parfois des vols d'instruction le matin et enchaînait avec plusieurs engagements en tant que pilote de ligne le même jour. Par exemple, le 13 novembre 2001 le commandant a fait quatre vols avec deux élèves-pilotes entre 06:00 et 13:00 UTC puis deux vols chez Crossair, pour terminer son service après 13 heures et 34 minutes. Ni l'entreprise de transport aérien (Crossair), ni l'école d'aviation (Horizon Swiss Flight Academy) ne disposaient d'une vue d'ensemble des périodes de service de vol et des périodes de repos du commandant tenant compte des deux activités.

1.5.1.4 Événements particuliers survenus pendant la carrière professionnelle du commandant

1.5.1.4.1 Généralités

Comme l'enquête l'a montré, la carrière professionnelle du commandant est jalonnée d'incidents à partir de 1967 et jusqu'à l'accident. Ci-après, nous n'évoquerons que les événements majeurs qui se sont produits durant son activité chez Crossair et dont certains n'ont été révélés qu'après l'accident.

1.5.1.4.2 Rétraction involontaire du train d'atterrissage au sol

Le 21 février 1990, le commandant effectuait un entraînement comme instructeur à bord du Saab 340 HB-AHA. Il dispensait une instruction sur les systèmes de cet avion à un copilote. La discussion s'est portée sur la procédure à appliquer en cas de dysfonctionnement du mécanisme de rétraction du train d'atterrissage. Le commandant pensait que, l'avion étant au sol et le train sous charge, ce mécanisme serait bloqué comme c'est le cas sur de plus petits avions. En réalité, le verrouillage empêche uniquement d'actionner le levier du train d'atterrissage. Le commandant a déverrouillé cette fonction en pressant sur le bouton *down lock release* et le copilote a actionné le levier vers la position de rétraction. Contrairement aux attentes du

commandant, les pompes hydrauliques se sont mises en route et le processus de rétraction n'a plus pu être interrompu. L'avion s'est affaissé et a subi un dommage intégral. Le commandant s'en est tiré avec une blessure à la tête alors que les autres personnes qui se trouvaient à l'intérieur et à l'extérieur s'en sont sorties indemnes.

Cet incident avait fait l'objet d'une enquête interne et, par la suite, la compagnie n'a plus fait appel aux services du commandant en tant qu'instructeur. Cet événement n'a pas eu d'autres conséquences dans l'évolution de sa carrière.

1.5.1.4.3 Interruption d'un contrôle lors d'un vol de ligne

Le 25 juin 1991, alors qu'il passait un contrôle en ligne, le commandant a ignoré pendant plusieurs minutes la vitesse imposée par le contrôleur de la circulation aérienne. A cause de cette omission, l'appareil est entré dans le tourbillon de sillage (*wake turbulence*) d'un B-747 pendant la phase finale de l'approche. Les vérifications pour l'approche (*check for approach*) et la vérification finale pour l'atterrissage (*final check*) avaient été oubliées; un membre de l'équipage de cabine était encore debout dans le couloir au moment de l'atterrissage. L'expert avait jugé la vue d'ensemble du commandant insuffisante et avait interrompu le contrôle qui a dû être répété ultérieurement.

1.5.1.4.4 Relèvement de la fonction de *training captain*

Fin 1991, ses prestations ne répondant plus aux attentes, le commandant a été relevé de sa fonction de *training captain*.

1.5.1.4.5 Approche aux instruments de nuit à Lugano

Cet incident a été rapporté par le copilote qui assistait le commandant en décembre 1995, alors qu'il effectuait une approche de nuit en IMC sur l'aérodrome de Lugano en tant que PF. Peu avant que le Saab 340 n'atteigne le point de cheminement PINIK à une altitude de 7000 ft QNH, l'appareil a été configuré pour l'atterrissage: train sorti, volets positionnés à 35°. Pour la descente, le commandant a utilisé le mode de vitesse verticale du pilote automatique en sélectionnant un taux de descente de 4000 ft/min. Etant donné qu'habituellement cette approche se fait à un taux de descente inférieur à 2000 ft/min, le copilote lui avait demandé la raison de cette valeur particulièrement élevée. Le commandant lui avait expliqué que l'on pouvait exécuter la procédure de cette manière. Pendant la descente qui s'est ainsi poursuivie jusqu'à une hauteur de 300 ft RA au-dessus du lac, la vitesse de l'avion est passée de 135 à plus de 200 KIAS. Lorsque l'appareil s'est rétabli en vol horizontal à la hauteur de 300 ft RA, la rive et les flancs de la montagne étaient visibles. Le vol s'est poursuivi à cette hauteur vers l'aérodrome de Lugano jusqu'à ce que la piste soit en vue et que l'avion atterrisse.

Le commandant avait désactivé les avertisseurs de survitesse (*overspeed warning*) et de proximité du sol (GPWS) avant la descente.

Cet incident n'a été révélé qu'après l'accident. Des vols de reconstitution en simulateur ont montré qu'une telle approche est réalisable.

1.5.1.4.6 Erreur de navigation durant un vol de plaisance

Crossair proposait à ses collaborateurs de leur louer des avions pour effectuer des vols privés. Les règles applicables pour ces vols, effectués la plupart du temps dans des conditions VFR, étaient définies dans le manuel d'exploitation (FOM). D'une manière générale, les normes étaient les mêmes que pour les vols de ligne. Le commandant a accompli plusieurs vols au-dessus des Alpes avec un Saab 340 loué. Le recrutement des passagers était généralement du ressort de l'équipage.

Le 21 mars 1999, le commandant a effectué un tel vol avec un copilote et un membre du personnel de bord sur le Saab 340 HB-AKI. Il y avait trente passagers dans l'appareil. Le plan de vol prévoyait un passage au-dessus des Alpes avec départ et arrivée à Zurich et atterrissage intermédiaire à Sion.

A Zurich la couverture nuageuse était assez dense, mais les conditions météorologiques étaient bonnes sur les Alpes.

Pendant le vol aller à destination de Sion, opéré sous le numéro de vol Crossair CRX 4718, le commandant était PF. Le décollage de Zurich s'est fait selon les règles de vol aux instruments. Une fois au-dessus des nuages, le vol s'est poursuivi en direction des Alpes bernoises selon les règles de vol en vue.

Des déclarations de témoins ainsi qu'un document filmé indiquent que le commandant avait donné des informations très détaillées sur l'itinéraire de vol et que les passagers avaient pu visiter le poste de pilotage.

Alors que l'appareil se trouvait à une altitude d'environ 12 000 ft QNH au-dessus des Alpes savoyardes, le copilote s'est mis en contact radio avec la tour de contrôle de Sion. Peu après, le commandant a constaté que le temps de vol prévu jusqu'à Sion était pratiquement écoulé. Il a donc immédiatement entrepris un vol de descente en direction d'un aérodrome visible au loin. Il s'agissait de l'aérodrome d'Aoste (I), qui se trouve à une cinquantaine de kilomètres au Sud de Sion, dans une vallée située sur l'autre versant, le versant Sud des Alpes. Il n'y a pas eu de discussion au sujet de l'approche et les principaux points des listes de vérifications ont été expédiés de manière intuitive, sans respecter la séquence prévue. Le copilote a essayé à plusieurs reprises de se mettre en rapport avec la tour de contrôle de Sion, sans succès vu la topographie locale. Le commandant n'a pas réagi aux interventions du copilote. Il a effectué plusieurs virages descendants au-dessus de l'aérodrome d'Aoste et a poursuivi son approche sans contact radio. Alors que l'appareil était en phase finale d'approche, les passagers ont pu se rendre compte qu'ils étaient en Italie en lisant les panneaux de signalisation routiers. A ce moment, le commandant a engagé une remise des gaz et s'est dirigé dans la vallée du Rhône via le Grand-Saint-Bernard, avant d'atterrir à Sion.

L'erreur de navigation avait été expliquée aux passagers mais Crossair n'en avait pas été informée. Celle-ci n'a appris l'incident qu'après l'accident du vol CRX 3597. Rien ne permet de soupçonner que l'équipage ait eu des problèmes de santé lors de cet incident.

1.5.1.5 Attitude vis-à-vis du travail et des subordonnés

Les témoignages de quelques copilotes révèlent que, lorsqu'il était PF, le commandant pilotait parfois l'avion tout seul (*one man operation*) et n'intégrait pas systématiquement le copilote dans les procédures opérationnelles et décisionnelles. Il est également prouvé qu'il était important pour lui d'atterrir à l'heure prévue, surtout lors dernier vol de la journée.

Il ressort des dossiers des cours de transition et de divers témoignages que le commandant avait une attitude de rejet vis-à-vis des systèmes techniques complexes et qu'il avait souvent de la difficulté à s'en servir.

Tous les témoignages présentent le commandant comme une personne très calme et plutôt distante. Des copilotes ont pu ressentir un fossé relationnel lors de leur collaboration avec le commandant. Ils attribuaient cela à sa grande expérience.

1.5.2 Copilote

Données personnelles	+nationalité suisse, année de naissance 1976
Temps de service d'équipage	Début du service le 23.11.01: 11:50 UTC
	Fin du service le 23.11.01: 22:05 UTC
	Période de service de vol le 23.11.01: 10:15 h
	Période de repos: 18:49 h
	Début du service le jour de l'accident: 16:20 UTC
	Période de service de vol au moment de l'accident: 4:47 h
Licence	Licence de pilote professionnel <i>CPL (A)/JAR</i> délivrée par l'OFAC, valable jusqu'au 06.07.2005
Qualifications	Radiotéléphonie internationale <i>RTI</i> (VFR/IFR) Vol de nuit <i>NIT (A)</i> Vol aux instruments <i>IFR (A)</i>
Qualifications à proroger	Avions monomoteurs à pistons <i>SE piston</i> Avions multimoteurs à pistons <i>ME piston</i> Qualification de type Avro RJ/BAe 146 COPI
Qualifications de vol aux instruments	SE piston, CAT I, valable jusqu'au 12.05.2002
	ME piston, CAT I, valable jusqu'au 12.05.2002
	Avro RJ/BAe 146 COPI, CAT III, valable jusqu'au 31.03.2002

Dernier contrôle de compétence (<i>proficiency check</i>)	<i>Semi-annual recurrent check</i> chez Crossair le 02.07.2001
Dernier contrôle en ligne (<i>line check</i>)	<i>F/O first line check</i> chez Crossair le 12.05.2001
Certificat médical d'aptitude	Dernier examen périodique le 18.12.2000, valable à partir du 20.01.2001, classes 1 et 2
Expérience de vol	490:06 h au total
sur avion à moteur	490:06 h
comme commandant	81:55 h
sur le modèle accidenté	348:20 h
au cours des 90 derniers jours	120:22 h
la veille de l'accident	5:49 h
le jour de l'accident	2:51 h
Début de la formation aéronautique	1999

1.5.2.1 Formation professionnelle

Après l'école primaire et l'école secondaire, le copilote fréquente le gymnase cantonal et achève ce cycle d'études en 1997 en obtenant la maturité en mathématiques/sciences naturelles. Il commence le Technicum en automne 1998 mais interrompt ces études après six mois au profit de sa formation aéronautique.

1.5.2.2 Formation aéronautique

Le copilote commence sa formation de pilote de ligne à l'école Horizon Swiss Flight Academy en janvier 1999 et il passe l'examen de vol pour pilote privé le 27 août 1999. Dans le cadre d'un cours intégré, conçu en conformité avec le Règlement du DETEC concernant les licences du personnel navigant de l'aéronautique (RPN), il passe l'examen théorique pour la licence de pilote professionnel et pour la qualification IFR le 10 juin 1999 et le 9 septembre 1999 respectivement. L'examen théorique pour la licence de pilote de ligne à lieu le 2 mai 2000. Le copilote passe enfin l'examen de vol pour l'obtention de la licence de pilote professionnel le 12 mai 2000, simultanément à l'examen pratique pour la qualification IFR.

Il résulte des dossiers de formation du copilote et des témoignages de ses collègues d'études que la formation reçue pour les approches classiques (NPA) se fondait sur les JAR-OPS 1. On peut donc partir du principe qu'il connaissait les références visuelles requises pour pouvoir franchir l'altitude minimale de descente (MDA).

1.5.2.3 Sélection du copilote par Crossair

Le 9 juillet 2000, le copilote postule chez Crossair. La première sélection, qui revêt la forme d'évaluations individuelles et de groupe, a lieu le 1^{er} septembre 2000. Les observations des quatre responsables en charge de ces tests divergent fortement sur certains points mais tous constatent la tendance du copilote à se soumettre.

Lors du test en simulateur réalisé le 21 septembre 2000 dans le cadre de la procédure de sélection, de petits problèmes de contrôle d'assiette sont détectés, mais les experts jugent qu'ils peuvent être corrigés. La personne qui a dirigé ce test et qui a eu un premier entretien avec le copilote fait une description très positive de sa personnalité. Elle lui reconnaît notamment une grande motivation et le juge conforme au profil attendu par l'entreprise.

L'examen psychodiagnostique effectué par un centre d'évaluation externe décrit le copilote comme une personne pleine de vitalité mais pas combative, sensible, bienveillante et recherchant l'harmonie. Il relève aussi des progrès à faire en matière de confiance en soi et de maturité.

Les résultats de ces évaluations sont transmis au comité de sélection de Crossair (*selection board*). Ce dernier, composé d'un membre de la direction et d'un spécialiste du secteur du recrutement des pilotes, se réunit le 26 novembre 2000. Le jugement est positif et le copilote est engagé. Il lui est assigné d'effectuer cinq séances d'entraînement supplémentaires de simulateur afin d'exercer en priorité le contrôle de l'assiette. Après l'accident, les membres du comité de sélection ont indiqué que les qualifications du copilote étaient bonnes par rapport au profil requis par Crossair.

1.5.2.4 Cours de transition sur Avro RJ 85/100

Le 8 janvier 2001, le copilote commence un cours pour les pilotes nouvellement engagés qui comprend, entre autres, une introduction de deux semaines concernant l'entreprise de transport aérien (*company introduction*). Cette partie de la formation comporte aussi une introduction théorique à la gestion des ressources de l'équipage (CRM).

Le 31 mars 2001, il passe le test de compétence (*skill test*) en simulateur et, après l'entraînement en vol, il est autorisé à poursuivre le 7 avril 2001 avec la phase d'adaptation en ligne. Il effectue le contrôle en ligne le 12 mai 2001 après avoir accompli quarante étapes. Il passe son dernier contrôle périodique bi-annuel (*semi-annual recurrent check*) le 2 juillet 2001. Les formulaires remplis lors de ces contrôles ne contiennent pratiquement que des remarques positives sur le travail du copilote.

Pendant la période où il a piloté le type d'avion Avro RJ 85/100, le copilote a effectué les exercices d'approche classique (NPA) suivants, sur l'entraîneur de procédures (CPM), au simulateur (SIM) et lors des différents contrôles:

Date	Exercice	Nombre et genre d'approches
02.03.2001	CPM, leçon 5	2 approches NPA
10.03.2001	CPM, leçon 8	1 approche LOC 16, Zurich
19.03.2001	SIM, leçon 2	1 approche VOR, Genève
22.03.2001	SIM, leçon 3	1 approche LOC, Stuttgart
29.03.2001	SIM, leçon 8	1 approche VOR, Bâle
30.03.2001	SIM, leçon 8a	1 approche VOR 23, Genève
31.03.2001	Contrôle de compétence	1 approche VOR 16, Zurich
02.07.2001	Contrôle périodique bi-annuel	1 approche NDB 25, Stuttgart

Aucune approche classique n'ayant été effectuée pendant la phase d'adaptation en ligne, le copilote a par conséquent exécuté un total de neuf NPA pendant sa période de transition sur Avro RJ85/100. Il est prouvé qu'il a effectué une approche sur la piste 28 de l'aéroport de Zurich comme PNF.

1.5.2.5 Événements particuliers survenus pendant la carrière professionnelle du copilote

Aucun événement particulier de sa carrière professionnelle n'est à signaler.

1.5.3 Membre de l'équipage de cabine A

Fonction	<i>Senior cabin attendant</i> SCA-CA 1
Données personnelles	+nationalité suisse, année de naissance 1974
Certificats	Cours périodique sur les procédures d'urgence (<i>emergency procedure refresher</i>) délivré par Crossair, valable jusqu'au 30 avril 2002

1.5.4 Membre de l'équipage de cabine B

Fonction	<i>Cabin attendant</i> CA 2
Données personnelles	nationalité suisse, année de naissance 1976
Certificats	Cours périodique sur les procédures d'urgence (<i>emergency procedure refresher</i>) délivré par Crossair, valable jusqu'au 31 août 2002

1.5.5 Membre de l'équipage de cabine C

Fonction	<i>Cabin attendant</i> CA 3
Données personnelles	nationalité suisse, année de naissance 1973
Certificats	Cours périodique sur les procédures d'urgence (<i>emergency procedure refresher</i>) délivré par Crossair, valable jusqu'au 31 décembre 2001

1.5.6 Contrôleur de la circulation aérienne A

Fonctions	Contrôleur d'approche (APE) jusqu'à 21:04 UTC Contrôleur d'aérodrome (ADC1) à partir de 21:06 UTC
Données personnelles	nationalité danoise, année de naissance 1961
Formation	Le contrôleur de la circulation aérienne A est entré chez swisscontrol le 13 mars 2000. Il était alors en possession d'une licence de contrôleur de la circulation aérienne

danoise. Après avoir suivi une formation complémentaire pour se familiariser avec les aspects spécifiquement suisses de son travail, il a effectué un stage de formation pratique. A l'issue de cette formation complémentaire, à la demande de skyguide l'OFAC lui a délivré la licence de contrôleur de la circulation aérienne.

Licence

Licence de contrôleur de la circulation aérienne délivrée par l'OFAC le 3 octobre 2000, renouvelée la dernière fois le 22 août 2001, valable jusqu'au 7 août 2002

1.5.7 Contrôleur de la circulation aérienne B

Fonctions

Contrôleur d'approche (APW)
jusqu'à 21:04 UTC
Contrôleur d'approche (APW+APE)
à partir de 21:04 UTC

Données personnelles

nationalité suisse, année de naissance 1974

Licence

Licence de contrôleur de la circulation aérienne délivrée par l'OFAC le 15 novembre 1996, renouvelée la dernière fois le 5 mars 2001, valable jusqu'au 13 février 2002

1.5.8 Contrôleur de la circulation aérienne C

Fonction

Contrôleur d'aérodrome (ADC1)
jusqu'à 21:06 UTC

Données personnelles

nationalité suisse, année de naissance 1949

Licence

Licence de contrôleur de la circulation aérienne délivrée par l'OFAC le 29 juin 1972, renouvelée la dernière fois le 29 juin 2001, valable jusqu'au 29 juin 2002

1.5.9 Contrôleur de la circulation aérienne D

Fonctions

Contrôleur sol (GRO) jusqu'à 21:03 UTC
Contrôleur sol (GRO) et chef de service tour de contrôle à partir de 21:03 UTC

Données personnelles

nationalité suisse, année de naissance 1972

Licence

Licence de contrôleur de la circulation aérienne délivrée par l'OFAC le 17 novembre 1998, renouvelée la dernière fois le 29 juin 2001, valable jusqu'au 20 juin 2002

1.5.10 Contrôleur de la circulation aérienne E

Fonction	Chef de quart, tour de contrôle jusqu'à 21:03 UTC
Données personnelles	nationalité suisse, année de naissance 1947
Licence	Licence de contrôleur de la circulation aérienne délivrée par l'OFAC le 29 août 1973, renouvelée la dernière fois le 21 septembre 2001, valable jusqu'au 29 août 2002

1.6 Renseignements sur l'aéronef**1.6.1 Avion HB-IXM**

1.6.1.1 Généralités

Type d'avion	Avro 146-RJ 100
Constructeur	British Aerospace Ltd., Woodford, Cheshire GB
Marque d'immatriculation	HB-IXM
Numéro de série	E3291
Année de construction	1996
Propriétaire	Crossair Limited Company for Regional European Air Transport, CH-4002 Bâle
Exploitant	Crossair, S.A. pour l'exploitation de lignes aériennes régionales, CH-4002 Bâle
Certificat de navigabilité	Délivré par l'OFAC le 23 août 1996, valable jusqu'à révocation
Certificat d'immatriculation	Délivré par l'OFAC le 23 août 1996
Heures de vol de la cellule	13194:30
Nombre de cycles de la cellule (att.)	11518
Réacteurs	4 Allied Signal LF507-1F
Groupe auxiliaire de puissance (APU)	Sundstrand 4501690A
Envergure	26,34 m
Longueur	31,0 m
Hauteur	8,59 m
Surface alaire	77 m ²
Poussée par réacteur	3175 kN
Consommation en croisière	1800 kg/h
Autonomie à pleine charge	3000 km
Altitude de croisière maximale	9400 m/M

1.6.1.2	Réacteur N° 1	
	Numéro de série	LF07623
	Durée d'utilisation depuis la fabrication	10474 h
	Nombre de cycles depuis la fabrication	9153
	Durée d'utilisation sur HB-IXM	10421 h
	Nombre de cycles sur HB-IXM	9108
1.6.1.3	Réacteur N° 2	
	Numéro de série	LF07572
	Durée d'utilisation depuis la fabrication	11218 h
	Nombre de cycles depuis la fabrication	9363
	Durée d'utilisation sur HB-IXM	3405 h
	Nombre de cycles sur HB-IXM	2972
1.6.1.4	Réacteur N° 3	
	Numéro de série	LF07434
	Durée d'utilisation depuis la fabrication	13336 h
	Nombre de cycles depuis la fabrication	11508
	Durée d'utilisation sur HB-IXM	501 h
	Nombre de cycles sur HB-IXM	407
1.6.1.5	Réacteur N° 4	
	Numéro de série	LF07391
	Durée d'utilisation depuis la fabrication	13778 h
	Nombre de cycles depuis la fabrication	11828
	Durée d'utilisation sur HB-IXM	2898 h
	Nombre de cycles sur HB-IXM	2529

1.6.1.6 Groupe auxiliaire de puissance (APU)

Numéro de série	SPE967480
Durée d'utilisation depuis la fabrication	10239 h
Nombre de cycles depuis la fabrication	12214
Durée d'utilisation sur HB-IXM	4242 h
Nombre de cycles sur HB-IXM	3739

1.6.1.7 Aides à la navigation

Les pilotes disposaient des systèmes d'aide à la navigation suivants:

- Double système de gestion de la navigation (NMS) de Global Wulfsberg
- Double système de référence à inertie (IRS) de Honeywell
- Double système de navigation VHF de Collins
- Double système DME de Collins
- Double système ADF de Collins
- Double système anémobarométriques (ADS) de Honeywell
- Double radioaltimètre (RADALT) de Collins
- Indicateur d'assiette de secours de Smith Industries
- Altimètre/Anémomètre de secours de Smith Industries

L'enquête s'est concentrée sur les systèmes de navigation qui auraient pu influencer sur le déroulement de l'accident lors de la phase d'approche du vol CRX 3597.

Le système de gestion de la navigation (NMS) a été considéré comme une partie du système de guidage de vol.

1.6.1.8 Télécommunications

Les équipements de communication se composaient des systèmes suivants:

- Système audio intégré
- Système de communications aux passagers
- Interphone cabine
- Double système de communication VHF
- Téléphone mobile

1.6.2 Masse et centrage

Le calcul de la masse et du centrage au moment de l'accident repose sur les données du devis de masse et centrage établi à Berlin-Tegel. Ces données ont été confirmées par les éléments recueillis sur le lieu de l'accident et par les enregistrements du CVR.

<i>Total traffic load</i>	2477 kg	
<i>Dry operating mass</i>	26731 kg	
<i>Zero fuel mass actual</i>	29208 kg	max. 37421 kg
<i>Actual block fuel</i>	5650 kg	
<i>Take off fuel</i>	5400 kg	
<i>Take off mass actual</i>	34608 kg	max. 46039 kg
<i>Trip fuel</i>	2500 kg	
<i>Landing mass actual</i>	32108 kg	max. 40142 kg
<i>Dry operating index</i>	7	
<i>Deadload index</i>	14	
<i>Loaded index at zero fuel mass</i>	-7	
<i>Loaded index at take off mass</i>	18	
<i>Stabilizer setting for take off</i>	3,6	

La masse et le centre de gravité se situent dans les limites admises. Selon les informations enregistrées par le CVR au moment des vérifications pour l'approche, il y avait 3200 kg de carburant embarqué au moment de l'accident.

1.6.3 Commandes de vol

1.6.3.1 Commandes principales

Les enregistrements du DFDR concernant les ailerons ainsi que les gouvernes de profondeur et de direction n'ont pas pu être exploités. Les débattements de gouverne enregistrés pendant l'approche finale jusqu'au premier point de contact avec la cime des arbres ne correspondaient pas aux valeurs escomptées pour cette phase du vol.

De ce fait, le fonctionnement des commandes de vol principales a dû être vérifié par une analyse de paramètres de vol sécurisés (cf. ch. 2.1.2).

1.6.3.2 Commandes secondaires

Les enregistrements DFDR des commandes de vol secondaires étaient de bonne qualité et leur évaluation n'a montré aucune anomalie. Les positions correspondaient à la configuration prévue pour l'approche.

1.6.4 Réacteurs

1.6.4.1 Contrôle visuel

Les dommages mécaniques constatés sur les pales des rotors de soufflante des quatre réacteurs étaient minimes. Des brindilles de sapin mêlées à des branches un peu plus grosses ont été trouvées dans tous les réacteurs.

Les réacteurs 1 et 2 étaient très endommagés sur la partie inférieure et avaient des traces de feu importantes. Ils étaient encore fixés à la structure de l'aile gauche.

Les réacteurs 3 et 4 ont été arrachés de l'aile droite au premier contact avec le sol. Le carénage avant était fortement déformé et la zone d'admission d'air était partiellement remplie de terre.

Vu la déformation des rotors et des autres parties mobiles des réacteurs, on peut affirmer qu'au moment de l'impact tous les moteurs fournissaient une puissance moyenne.

1.6.4.2 Analyse des paramètres de l'enregistreur de données de vol (DFDR) et de ceux du calculateur de durée de vie moteur (ELC)

Sur la base des enregistrements du DFDR, la position des manettes de puissance (PLA) des réacteurs 1 à 4 a pu être comparée avec le régime du compresseur basse pression N1 pendant les quinze dernières minutes du vol.

La régulation de la puissance pendant les quinze dernières minutes de vol ne suscite aucun commentaire. D'un point de vue opérationnel, elle se situait dans la norme pour cette phase de vol. Deux secondes avant le dernier enregistrement, les manettes de puissance ont été déplacées en position de poussée de remise des gaz. Le régime de tous les réacteurs s'est aligné sur la nouvelle position des manettes avec le retard habituel. Sur l'épave, on a pu constater que les manettes de puissance se trouvaient pratiquement toutes en position de butée avant.

Les données de l' ELC lues le 23 novembre 2001 ont pu être exploitées et ont permis d'établir une comparaison entre les 1000 derniers vols. Les paramètres disponibles n'ont pas révélé de problème de réacteur.

1.6.4.3 Montage de l'indicateur d'huile

Dans l'épave, on a constaté que l'indicateur d'huile du réacteur 1 était renversé de 180° (cf. annexe 2). Selon l'enquête, la dernière intervention documentée sur cet instrument datait du 6 octobre 2001. A partir de cette date et jusqu'à l'accident, personne n'a signalé cette erreur de montage.

1.6.5 Groupe auxiliaire de puissance (APU)

1.6.5.1 Contrôle visuel

Le groupe auxiliaire de puissance a été extrait de l'empennage de l'épave. Il n'était pas endommagé extérieurement mais du feuillage aspiré a été trouvé sur la grille d'admission d'air, ce qui indique que ce système fonctionnait au moment de l'accident.

1.6.5.2 Documents d'entretien

L'étude du dossier technique du groupe auxiliaire de puissance a mis en évidence un taux de panne élevé de cet élément depuis la mise en service de l'avion. Sur la durée de vie de l'appareil accidenté, il a fait l'objet de plus d'une centaine de signalements.

Des employés Crossair ont indiqué que ces problèmes étaient fréquents sur tous les avions du type Avro 146-RJ 85/100 équipés de ce groupe auxiliaire de puissance.

Selon l'annotation inscrite dans le registre des pannes et défauts (DDL), le groupe de puissance auxiliaire ne démarrait qu'au deuxième essai. Lors du vol CRX 3597, il n'a effectivement démarré qu'à la deuxième tentative.

1.6.6 Système avertisseur de givrage

Aucun indice ne permet de conclure à un dysfonctionnement du système avertisseur de givrage.

1.6.7 Système de guidage de vol (FGS)

1.6.7.1 Système d'instruments de vol électroniques (EFIS)

1.6.7.1.1 Description du système

L'EFIS comporte quatre unités de visualisation identiques, deux générateurs de symboles, deux panneaux de commande et deux panneaux de variation d'intensité lumineuse.

Les unités de visualisation (DU) sont disposées par paires, l'une au-dessus de l'autre, en parties gauche et droite du tableau de bord. L'écran du haut a la fonction d'écran de visualisation des paramètres principaux de vol (PFD), celui du bas d'écran de visualisation des paramètres de navigation (ND).

Le PFD affiche les paramètres de vol suivants: *aircraft attitude, airspeed, speed trend, mach number, vertical speed, radio altitude, decision height, flight director, vertical deviation, lateral deviation, marker beacon*. Il affiche aussi les modes sélectionnés ou présélectionnés (roulis, tangage, poussée) des commandes automatiques de vol (AFS).

Le ND affiche les paramètres de navigation suivants: *heading, selected heading, course, bearing, deviation, distance*. Il offre les formats de visualisation *ROSE, ARC, MAP* et *PLAN* qui peuvent être sélectionnés sur le panneau de commande EFIS.

Le panneau de commande EFIS (ECP) sert à définir le format de visualisation (*ROSE, MAP, etc.*), les paramètres devant être affichés et leur source, ainsi que la portée de couverture (*RANGE*) valables pour le ND. En appuyant sur le bouton *2nd CRS* on peut choisir un second alignement, en plus de celui déjà sélectionné. Exemple: *course LNAV1, second course VOR2*. Les boutons *NAV data* servent à visualiser les informations telles que *nav aids, airports, etc.*

Le générateur de symboles (SG EFIS) reçoit des signaux de divers instruments (IRS, ADC, RADALT, VOR, ILS, NMS, WXR, FGS) et les affiche sous forme de symboles sur le PFD et le ND. Il surveille et compare aussi les signaux reçus. Les deux SG EFIS comparent ainsi les valeurs des paramètres *attitude, glide slope, localizer, radio altitude, airspeed* et marquent les paramètres invalidés. Exemple: en cas d'incompatibilité entre les paramètres de tangage et de roulis, le code „ATT” apparaît en jaune sur les deux PFD. Si une centrale de référence à inertie (IRU) envoie un signal erroné, le code „ATT” s'affiche en rouge sur le côté correspondant. Les données sont présentées sous forme analogique et numérique.

Sur son tableau de bord, le commandant dispose d'un sélecteur qui permet de se connecter sur le SG EFIS opérationnel en cas de dysfonctionnement de l'un des deux appareils (*BOTH1-NORM-BOTH2*).

Le fonctionnement de l'EFIS est surveillé en permanence par un système d'auto-contrôle. Les dysfonctionnements peuvent être repérés sur le PFD et le ND grâce à des codes d'erreur. Le SG EFIS peut stocker jusqu'à 20 messages d'erreur par vol pour 10 vols. Il est aussi possible d'effectuer un test de remise en service (*return-to-service test*).

L'EFIS1 est alimenté par le bus *ESS 115 VAC* et l'EFIS2 par la barre-bus *115 VAC2*.

1.6.7.1.2 Mémoires non volatiles

Des mémoires non volatiles intégrées dans les SG EFIS ont pu être exploitées pour enquêter sur l'état de ces appareils. L'analyse de ces mémoires a montré qu'aucun dysfonctionnement n'avait été enregistré pendant le vol CRX 3597 (cf. ch. 1.19).

1.6.7.2 Commandes automatiques de vol (AFS)

1.6.7.2.1 Description du système

Sur le type Avro 146-RJ 100, les commandes automatiques de vol sont regroupées dans un système de guidage de vol numérique (DFGS). Le DFGS se compose essentiellement de deux unités d'ordinateur, d'un panneau de commandes des modes, d'un indicateur de poussées nominales ainsi que d'une série de dispositifs asservis, de vérins et de capteurs pour mettre en œuvre les commandes générées par le système.

Les fonctions principales du DFGC sont les suivantes:

- affichage des commandes du directeur de vol
- pilote automatique trois axes incluant l'atterrissage automatique
- contrôle automanette de la vitesse et poussée incluant le calcul des limites de poussée nominales
- détection des cisaillements de vent et guidage de manœuvre de rétablissement
- compensateur de profondeur, compensation du réglage des volets
- amortisseur de lacet et coordination de virage
- avertisseur d'altitude sonore et optique
- système intégré de suivi des dysfonctionnements et de tests de maintenance

Le DFGC génère une commande de directeur de vol pour les fonctions suivantes:

- acquisition et maintien de la vitesse propre, du nombre de Mach, de la vitesse verticale et de l'altitude
- acquisition et maintien du cap sélectionné
- interception et maintien d'une radiale VOR sélectionnée ou du faisceau LOC d'un ILS
- interception et maintien d'un faisceau de descente d' ILS
- interception et suivi d'un plan de vol du NMS
- commandes pour le décollage et la remise des gaz
- guidage de manœuvre de rétablissement suite à des cisaillements de vent

Les commandes du directeur de vol sont affichées sur le PFD et suivies par le pilote. Si le pilote automatique est enclenché, les commandes calculées par le DFGC sont directement exécutées par les systèmes asservis.

Le panneau de commandes des modes (MCP) permet de sélectionner les modes suivants: *airspeed*, *mach*, *heading*, *clearance altitude*, *vertical speed*. C'est également sur le MCP que les modes de directeur de vol (DV) et de pilote automatique (A/P) sont

(pré)sélectionnés. Ces derniers sont aussi affichés sur le PFD pour confirmation. Le DV, l'A/P et l'automanette sont activés sur le MCP.

Le pilote automatique contrôle les mouvements de l'avion par le biais des ailerons, des gouvernes de profondeur et de la gouverne de direction. Les débattements de plus longue durée sur le tab de commande de profondeur sont réduits par le tab de compensation de profondeur.

La gouverne de direction est utilisée de deux manières. En mode sériel, elle a une fonction d'amortisseur de lacet et ses débattements sont fortement limités. En mode parallèle, la limitation des débattements est inactive pendant les phases d'atterrissage automatique, de décollage et de remise des gaz, car ces opérations peuvent nécessiter des débattements complets de la gouverne pour diriger l'aéronef au sol (roulage) ou pour réagir à une panne subite d'un réacteur. Dans le DFGC, les fonctions correspondantes (*autoland, take off, go around*) sont calculées par le biais de deux canaux distincts et comparées (système dit *fail safe*).

Le DFGC reçoit des signaux de l'IRS (*attitude, attitude rate, heading, ground speed, acceleration*), de l'ADC (*altitude, vertical speed, speed, mach*), du VOR, de l'ILS (*course, deviation*) et du NMS (*steering command*). A l'enclenchement de l'A/P, les sources de navigations respectives peuvent être sélectionnées au moyen des boutons-poussoirs NAV1 ou NAV2.

En mode vitesse/Mach ou poussée de l'automanette, le DFGC est couplé au système de régulation électronique numérique à pleine autorité du moteur (FADEC). Dans un premier temps, le DFGC calcule la valeur cible de poussée et amène les quatre manettes de puissance à la position correspondante au travers d'un servomoteur commun. Dans un deuxième temps, le FADEC régule individuellement le débit carburant de chaque réacteur en fonction de la valeur cible de poussée et compense les petits écarts automatiquement. La valeur cible de poussée est affichée sur l'écran de visualisation des paramètres principaux moteurs. Les réacteurs eux-mêmes sont surveillés en permanence par le FADEC. Cela étant, la limite de poussée (*TOGA MAX, TOGA REDU, MCT, CLB MAX, CLB NORM*) affichée sur l'indicateur de poussées nominales (TRP) est toujours respectée.

Pour chaque configuration de vol, le DFGC calcule une vitesse maximale et une vitesse minimale autorisées. Il existe aussi des valeurs limites pour l'assiette. L'une des tâches de l'A/P est de maintenir les paramètres de vitesse et d'assiette de l'avion dans l'enveloppe spécifiées par ces limites.

Une remise des gaz automatique peut être engagée d'une pression sur l'un des boutons placés sur les manettes de puissance 2 et 3, pour autant que l'A/P soit enclenché. Le régime des réacteurs est alors automatiquement amené à la poussée de remise des gaz, la route est maintenue et le profil de montée prend sa pente maximale.

L'A/P peut être désenclenché par pression sur l'un des deux boutons placé sur le manche de gauche ou de droite. La désengagement volontaire ou involontaire de l'A/P déclenche un avertisseur sonore qui peut être interrompu d'une brève pression sur le même bouton.

Le commutateur *FGC SELECT* placé dans le panneau supérieur (*overhead panel*) sert à déterminer lequel des deux DFGC doit être activé, l'autre restant disponible en mode d'attente.

Le DFGC comporte un système de contrôle d'intégrité. Les dysfonctionnements sont indiqués soit sur l'affichage consultatif du DFGS soit sur le panneau d'état central. Un

test de fonctionnement s'effectue automatiquement au démarrage des moteurs et le résultat (*PASS FGC1* ou *2*; *FAIL FGC1* ou *2*) s'affiche sur le PFD. Il est aussi possible d'effectuer un test de remise en service. Pendant l'approche pour un atterrissage automatique, un test spécifique s'exécute et informe l'équipage en permanence sur la disponibilité et l'état du système d'atterrissage automatique.

Le DFSG1 est alimenté par les barres-bus *ESS 115 VAC*, *28 VDC1*, *ESS 28 VDC*, *EMERG 28 VDC* et *ESS/BATT*, le DFSG2 par les bus *115 VAC2*, *28 VDC2*, *EMERG 28 VDC*, et *ESS/BATT*.

1.6.7.2.2 Mémoires non volatiles

Des mémoires non volatiles intégrées dans les DFSG ont pu être exploitées pour enquêter sur l'état de ces appareils. L'analyse de ces mémoires a montré qu'aucun dysfonctionnement n'avait été enregistré pendant le vol (cf. ch. 1.19).

1.6.7.2.3 Utilisation du système AFS

Le système AFS est resté enclenché sans interruption pendant les trente dernières minutes du vol CRX 3597.

Le système automanette était en mode Mach jusqu'au niveau de vol 235 puis en mode de vitesse indiquée (IAS). D'après les enregistrements du DFDR, la vitesse propre sélectionnée a été réduite régulièrement. La dernière vitesse sélectionnée était de 116 KIAS.

Le mode de navigation latérale de l'A/P a été modifié selon la séquence suivante: *LNAV1*, *HDG-SEL*, *VORNAV 1*, *LNAV1*, *VORNAV 1*. Ainsi le mode actif pendant la dernière phase du vol était-il *VORNAV 1*. Le dernier alignement VOR était de 275°.

Le mode vertical de l'A/P est passé plusieurs fois de *ALT HOLD* à *VERT SPD* et vice-versa. Pendant la dernière phase du vol, le mode de vitesse verticale était actif. A ce moment-là, le taux de descente sélectionné était de 1200 ft/min.

L'A/P a été déclenché à 21:06:34 UTC et l'avertissement sonore correspondant a été enregistré par le CVR.

1.6.7.3 Système de gestion de la navigation (NMS)

1.6.7.3.1 Description du système

Le système GNS-X de Global Wulfsberg est un NMS à diverses fonctions intégrées.

- Il détermine la position de l'avion à l'aide de divers systèmes (GPS, IRS, DME/DME, VOR/DME).
- Il calcule des paramètres de vol (*ground speed*, *track angle*, *drift angle*, *desired track*, *crosstrack distance*, *distance to waypoint*, *bearing to waypoint*, *estimated time of arrival*, *wind speed and direction*).
- Il génère une route sur la base des points de cheminement qu'on lui insère manuellement en s'aidant d'une base de données de navigation (NDB).
- Il suit une route de compagnie préprogrammée, un itinéraire de départ ou d'arrivée normalisé aux instruments (SID ou STAR).
- Il assiste l'équipage dans la planification des besoins en carburant.

- Il transmet des paramètres de navigation à l'EFIS.
- Il donne des signaux de commande à l'AFS.

La saisie manuelle de points de cheminement le long d'une route, la consultation d'une route de compagnie ou la modification d'une route sont des opérations que l'on effectue à l'aide de la boîte de commande et de visualisation (CDU). Le plan de vol qui en découle ainsi que les paramètres de navigation associés sont ensuite affichés sur cet appareil.

Une route de compagnie est une succession de points de cheminement qui forme une route empruntée régulièrement par une entreprise de transport aérien. De telles routes sont caractérisées par un indicatif de route, par exemple ZRH-GVA1. Ce travail de compilation est généralement effectué à terre par l'exploitant et consiste à saisir dans un ordinateur les indicatifs des points de cheminement tels que LSZH, FRI, EKRI etc. Les routes de compagnie ainsi définies sont chargées dans une base de données spécifique du NMS. L'unité de gestion de la navigation (NMU) trouve les références des points de cheminement (latitude/longitude, variation, etc.) dans la NDB qui est actualisée tous les vingt-huit jours. L'objectif de la compilation de routes de compagnie est de simplifier le travail de programmation dans le poste de pilotage.

Si une route de compagnie est utilisée pendant la préparation du vol, la NMU crée un plan de vol que l'on peut faire précéder d'un itinéraire SID après avoir reçu l'autorisation ATC requise. Les SID sont enregistrés dans la base de données de navigation et ne peuvent pas être modifiés par les pilotes. Dans la NMU, les SID sont construits sur une série de segments de procédure (*procedural legs*). Comme le système ne fait aucune différence entre les points de cheminement « fly by » (passage au travers) et « fly over » (survol), lorsqu'on se rapproche d'un point de cheminement à survoler le GNS-X doit être utilisé exclusivement comme aide à la navigation secondaire, ce qui limite les possibilités d'utilisation de la fonction LNAV dans la région terminale d'un aéroport.

En vol de croisière, le NMS navigue en suivant un plan de vol défini, c'est-à-dire en volant de point de cheminement en point de cheminement. Avec la fonction *direct to* (DTO) le pilote peut, à partir de la position actuelle, diriger l'avion directement sur un point de cheminement du plan de vol.

Les signaux de commande générés par la NMU sont envoyés au DFGS. Pour que la NMU génère ces signaux, le mode de navigation latérale doit être sélectionné sur le MCP. Il est possible de présélectionner ce mode (système armé) et d'intercepter ensuite la route du plan de vol en mode de sélection de cap.

Le NMS de marque GNS-X se compose des éléments suivants:

- deux unités de gestion de la navigation (NMU) dotées chacune d'un module de configuration;
- deux boîtes de commandes et de visualisation (CDU);
- une unité de positionnement par satellites (GPU) commune.

La NMU contient l'ordinateur de navigation et la NDB. L'ordinateur de navigation reçoit des signaux des systèmes suivants: IRS (*position, velocity, heading*), VOR (*bearing*), DME (*distance*), ADC (*true airspeed, altitude*), GPU (*position*) et FCU (*fuel flow*).

L'unité vortac (VPU) est un sous-système de la NMU. Elle prend en charge la sélection de fréquence pour le VOR/DME et calcule la position géographique à partir des données captées (relèvement/distance ou distance/distance).

Avec les données provenant de l'IRS, de la VPU et de la GPU, la NMU calcule la position composite de l'aéronef et l'actualise en continu.

La CDU sert à saisir et à afficher les paramètres de navigation.

Avec le commutateur *LNAV* placé sur la console centrale avant, l'équipage peut déterminer la sélectivité de la transmission des données des deux NMU vers les EFIS du commandant et du copilote.

Lorsque le commutateur est sur la position *LNAV1*, la NMU1 transmet les données à l'EFIS du commandant et à celui du copilote. Lorsque le commutateur est sur la position *LNAV2*, la NMU2 transmet les données à l'EFIS du commandant et à celui du copilote. S'il est sur la position *SPLIT*, la NMU1 envoie les données sur l'EFIS du commandant et la NMU2 sur celui du copilote.

Les deux NMU fournissent des paramètres de navigation à l'EFIS et des directives de pilotage au DFGS.

L'équipage peut sélectionner manuellement les fréquences pour le système VOR/DME, mais cette sélection peut aussi être prise en charge automatiquement par le NMS. Les données des stations VOR/DME sélectionnées manuellement s'affichent sur l'EFIS et sur l'indicateur de relèvement et de distance (DBI).

Un interrogateur DME est capable d'échanger des signaux à intervalles rapprochés avec cinq stations sol maximum. Quatre de ces canaux sont sélectionnés directement par le NMS et les distances calculées sont aussi transmises au NMS.

Le NMS est contrôlé en permanence par un système de surveillance intégré dans la NMU, et les dysfonctionnements sont signalés à l'équipage.

La NMU1, la CDU1 et la GPU sont alimentées par le bus *DC1*, la NMU2 et la CDU2 par le bus *DC2*.

1.6.8 Equipements de navigation

1.6.8.1 Système de référence à inertie (IRS)

1.6.8.1.1 Description du système

L'IRS sert à calculer la position de l'aéronef, la vitesse, les caps (cap vrai, cap magnétique), l'assiette et les accélérations. Les capteurs sont trois gyromètres laser et trois accéléromètres. Pour assurer la redondance du système, l'IRS a été doublé.

La position de l'avion est transmise au NMS. Le cap magnétique et la référence d'assiette sont affichés sur les écrans de l'EFIS et sont utilisés par le DFGS pour guider l'appareil. Les autres systèmes utilisateurs sont le radar météo, le système avertisseur de proximité du sol (GPWS) et le système anticollision embarqué (TCAS). Les principaux paramètres sont enregistrés en continu par le FDR.

Chaque IRS comporte une centrale de référence à inertie (IRU) et une unité de sélection de modes (MSU). Les MSU des deux IRS sont installées dans le même boîtier.

L'IRU comporte trois gyromètres laser et trois accéléromètres qui servent à déterminer la position de l'aéronef (*inertial position*), la vitesse (*along track velocity*), la distance (*along track distance*), le cap (*true/magnetic heading*), l'assiette et les accélérations. Les accéléromètres captent les accélérations sur les trois axes et les gyromètres laser sont placés de sorte à pouvoir mesurer une rotation autour de ces axes. Les gyromètres laser et les accéléromètres sont fixes par rapport au boîtier des IRU et

donc au fuselage (centrale à inertie à composants liés). Le calcuteur de l'IRU doit pour cette raison créer une plateforme virtuelle qui est actualisée en permanence pendant le vol sur la base des données fournies par les gyromètres laser.

Pendant l'alignement au sol de cette plate-forme (*align mode*), les accéléromètres sont également utilisés pour déterminer la verticale locale. Cela implique que, lors de cette opération, l'avion soit immobile. La détection de la rotation terrestre par les gyromètres laser sert à déterminer le Nord géographique. En Europe centrale, l'alignement de la plate-forme dure une dizaine de minutes. Auparavant, la position actuelle doit avoir été saisie dans le NMS.

La MSU comporte un commutateur et un indicateur d'état. Le commutateur permet de sélectionner les modes de base suivants:

OFF – L'IRS est désactivé.

ALN – Pendant les vingt premières secondes, la section à inertie de l'IRU exécute un autotest au démarrage. Si ce test réussit, l'alignement de la plateforme virtuelle commence. Pendant cette opération, la lampe-témoin *NAV OFF* est allumée et le code „*ALN*“ s'affiche sur la CDU du NMS. En cas d'erreur pendant l'alignement, la lampe-témoin *NAV OFF* commence à clignoter et le mode de navigation ne s'enclenche pas. Pour l'alignement, la position actuelle doit être saisie via le NMS et vers la fin du processus, la latitude saisie est comparée à celle calculée par l'IRU. De même, la position saisie est comparée avec la dernière position enregistrée lors du dernier vol. Toutes ces valeurs doivent se situer dans une marge de tolérance prescrite.

NAV – Une fois l'alignement correctement effectué, cette position peut être sélectionnée et la lampe-témoin *NAV OFF* s'éteint. Les données calculées sont d'autant plus précises que l'IRU reste en mode d'alignement longtemps. En principe, le commutateur est directement mis en position *NAV* et l'IRU passe automatiquement du mode d'alignement au mode de navigation lorsque l'alignement est terminé.

En mode de navigation, l'IRU transmet la position inertielle au NMS. Celle-ci est calculée à partir de l'accélération longitudinale, en passant par la vitesse longitudinale et enfin la distance longitudinale au moyen d'une double intégration. Le point de départ du calcul de la position inertielle est la position initiale, saisie manuellement.

ATT – En vol, lorsqu'il est en mode d'assiette, l'IRS ne peut plus fournir à l'EFIS que les données stand-by d'assiette et de cap. De plus, des restrictions opérationnelles sont applicables. Ce mode est uniquement prévu pour le cas où l'IRS aurait perdu certaines données de référence.

Un commutateur placé sur le tableau de bord du commandant permet de passer d'un mode de cap géographique à un mode de cap magnétique. En principe, l'interrupteur est en position *MAG* et il est bloqué dans cette position par une coiffe de protection.

Lors d'un dysfonctionnement d'une IRU, les symboles avertisseurs *ATT* et/ou *HDG* s'affichent sur l'écran EFIS correspondant. Il est alors possible de se brancher sur l'IRU intacte au moyen du commutateur *ATT/HDG*.

Chaque IRU a une source d'alimentation électrique principale et secondaire. L'alimentation principale de l'IRU1 est assurée par le bus *ESS 115 VAC* et son alimentation secondaire par le bus *BAT 28 VDC*. Quant à l'IRU2, son alimentation principale passe par le bus *115 VAC2* et son alimentation secondaire par le bus *ESS 28 VDC*.

1.6.8.2 Système de navigation VHF

1.6.8.2.1 Description du système

Le système de navigation VHF capte les émissions des radiophares omnidirectionnels VHF (VOR), des radiophares d'alignement de piste (LOC), des radiophares d'alignement de descente des systèmes d'atterrissage aux instruments (ILS) et des balises (*marker*). Les signaux de relèvement et d'écart générés dans les divers récepteurs sont affichés sur le PFD et sur le ND ainsi que sur le DBI. Les récepteurs des signaux VOR et ILS sont distincts. Les récepteurs ILS doivent remplir les conditions de surveillance interne très strictes applicables pour les approches ILS Catégorie III. La description qui suit est limitée à la fonction *VOR*.

Le type d'avion Avro 146-RJ 100 est équipé d'un double système VOR. Chacun des systèmes se compose d'un récepteur VOR, d'une boîte de commande VOR/ILS/DME et d'une antenne VOR/LOC.

Le but d'un système VOR est de calculer automatiquement le relèvement entre l'avion et une station sol dont les coordonnées géographiques sont connues. Si l'on sélectionne un alignement VOR sur le MCP, le SG EFIS est capable de calculer la déviation latérale (*course deviation*). Il fournit en outre les informations *TO/FROM*.

Le relèvement du VOR s'affiche en priorité sur le DBI, pour autant que le commutateur *VOR/ADF* se trouvant sur celui-ci soit en position *VOR*. Si les capteurs ne reçoivent aucun signal ou si le récepteur VOR constate une erreur, un drapeau d'alarme apparaît sur le DBI et l'aiguille de l'indicateur de relèvement se met en position «trois heures» (position d'arrêt). Le relèvement du VOR peut également apparaître sur le ND si le commutateur *BRG* de l'ECP est sur la position *VOR*.

L'alignement VOR défini sur le MCP s'affiche sur le ND si le commutateur *CRS* de l'ECP est en position *V/L*. Lorsque le commutateur est sur cette position, l'écart VOR est également représenté.

La fréquence VOR est sélectionnée sur la boîte de commande VOR/ILS/DME. Il est possible d'en présélectionner une seconde que l'on peut rendre active à l'aide d'un bouton poussoir. Le système VOR fonctionne dans la gamme de fréquences 108,00 - 117,95 MHz, avec un espacement des canaux de 50 kHz. Dans la plage 108 - 111 MHz, seuls les dixièmes de mégahertz pairs sont prévus comme fréquences VOR.

Pour identifier les stations sol VOR, l'émetteur VOR génère un code Morse spécifique qui peut être écouté par le biais du système audio.

Les signaux d'alignement et de déviation VOR sont également exploités par le FGC. En mode VOR, le FGS guide l'avion sur un alignement VOR présélectionné. Le mode VOR peut aussi être armé lorsque l'avion est piloté en mode de cap ou de navigation latérale. Dans ce cas, lorsque l'appareil s'approche d'un alignement VOR, l'A/P active spontanément le mode VOR.

Le système VOR est surveillé en permanence par un système de contrôle qui est intégré au récepteur VOR et au SG EFIS. Tout dysfonctionnement est signalé à l'équipage.

Le récepteur VOR1 est alimenté par le bus de secours *AC*, le récepteur VOR2 par le bus *AC2*. La boîte de commande VOR/ILS/DME 1 est branchée sur le bus de secours *DC* et la boîte de commande VOR/ILS/DME 2 sur le bus *DC2*.

1.6.8.3 Dispositif de mesure de distance (DME)

1.6.8.3.1 Description du système

Le type d'avion Avro 146-RJ 100 est équipé d'un double système DME. Chacun des systèmes se compose d'un interrogateur DME, d'une boîte de commande VOR/ILS/DME et d'une antenne pour la bande L (962 à 1213 MHz).

Le but d'un système DME est de calculer la distance de l'avion par rapport à une station sol dont les coordonnées géographiques sont connues. La plupart du temps, les stations sol DME et VOR sont implantées sur le même site, raison pour laquelle les fréquences sont sélectionnées par un boîtier de commande VOR/ILS/DME commun.

Un interrogateur DME (*DME interrogator unit*) est capable d'échanger des signaux à intervalles rapprochés avec cinq stations sol maximum. La distance par rapport à la station sol sélectionnée au moyen de la boîte de commande VOR/ILS/DME s'affiche sur l'EFIS et sur le DBI. Les canaux des quatre autres stations sol sont sélectionnés automatiquement par le système de gestion de la navigation (NMS) et les distances calculées sont transmises au NMS.

L'interrogateur DME envoie des paires d'impulsions à la station sol et celle-ci lui répond en renvoyant les mêmes paires d'impulsions après un laps de temps prédéfini. La mesure du temps écoulé entre l'émission du signal par l'avion et la réception de ce signal par la station sol, compte tenu de l'intervalle de temps mis par cette dernière pour répondre, permet de calculer la distance entre l'avion et la station. Une station sol DME peut servir plusieurs avions simultanément.

Le système DME travaille dans la gamme de fréquences de la bande L (962 à 1213 MHz) sur 252 canaux. Une partie de ces canaux sont appariés, chacun avec une fréquence VOR de sorte que la sélection d'une fréquence VOR sur la boîte de commande VOR/ILS/DME active simultanément le canal DME correspondant.

Pour identifier les stations sol DME, l'émetteur DME génère un code Morse spécifique qui peut être écouté par le biais du système audio.

Le système DME est surveillé en permanence par un système de contrôle intégré à l'interrogateur DME. Tout dysfonctionnement est signalé à l'équipage. En outre, un autotest peut être lancé à partir du boîtier de commande VOR/ILS/DME.

Le mode d'utilisation du système DME est sélectionné sur la boîte de commande VOR/ILS/DME.

Le système DME1 est alimenté par les bus essentiels *AC* et *DC* et le système DME2 par les bus *AC2* et *DC2*.

1.6.8.4 Système anémobarométrique (ADS)

1.6.8.4.1 Description du système

L'élément principal de l'ADS est la centrale anémobarométrique (ADC) qui est reliée au système de pression statique, au système anémométrique, à une sonde de température extérieure et à deux prises d'angle d'incidence (prises AOA). Les variations captées par les systèmes de pression statique et dynamique sont converties en signaux électriques dans l'ADC. À l'entrée de l'ADC, les signaux sont numérisés et les paramètres calculés (*altitude, airspeed, mach number, vertical speed, total air temperature, angle of attack*) sont ensuite acheminés jusqu'aux systèmes utilisateurs (IRU, FGC, NMU, transpondeurs mode S, unité accessoire de données anémo-

barométriques, FDR, SG EFIS, altimètres asservis, GPWC) par l'intermédiaire de bus de données.

Le traitement interne des données dans l'ADC est surveillé en permanence. En cas de dysfonctionnement, les résultats erronés sont marqués et les systèmes de surveillance interne des utilisateurs (p. ex. SG EFIS, altimètre asservi) les reconnaissent comme des signaux défectueux.

Outre les données entrantes, le SG EFIS et l'altimètre asservi surveillent leur propre traitement interne. Les dysfonctionnements sont signalés à l'équipage.

L'ADC utilise le signal de la sonde AOA pour corriger les erreurs de mesure du système de pression statique. Les autres facteurs de correction sont issus des tables mémorisées dans l'ADC. L'altitude barométrique est affichée sur l'altimètre asservi. L'altitude calculée sur la base de la pression standard est utilisée par le transpondeur mode S pour la transmission de l'altitude (mode C).

La vitesse anémométrique (*computed airspeed, mach number*) et la vitesse verticale sont affichées sur le PFD. Un avertisseur sonore retentit en cas de dépassement de la vitesse maximale admissible en exploitation V_{mo} ou du nombre de Mach maximal admissible en exploitation M_{mo} . La vitesse verticale calculée dans l'ADC est combinée avec celle de l'IRS.

Le type Avro 146-RJ 100 est équipé d'un double système ADS. Chacun des ADC travaille indépendamment de l'autre. Normalement, les données provenant de l'ADC1 s'affichent sur le PFD et sur l'altimètre asservi de gauche et celles de l'ADC2 sur ceux de droite. En cas de panne de l'un des ADC, un commutateur situé sur le tableau de bord du commandant permet de brancher tous les affichages sur l'ADC opérationnel. Le code „ADC1” ou „ADC2” s'affiche alors en jaune sur les deux PFD.

La vitesse anémométrique est comparée entre les deux SG EFIS. En cas d'écart dépassant la tolérance spécifiée, le code „SPD” apparaît en jaune sur les deux PFD.

Outre d'un double ADS, l'Avro 146-RJ 100 est équipé d'un altimètre/anémomètre de secours que les pilotes doivent utiliser lorsque les écrans principaux affichent des valeurs divergentes. Cet instrument de secours est doté d'un circuit anémo-barométrique indépendant.

Les deux ADC peuvent être contrôlés au sol au moyen d'une fonction d'autotest.

Alimentation électrique des composants de l'ADS:

ADC1	bus ESS 115 VAC
ADC2	bus AC2 115 VAC
Prise AOA1	bus ESS 26 VAC
Prise AOA2	bus AC2 115 VAC
Altimètre asservi – gauche	bus ESS 115 VAC et ESS 26 VAC
Altimètre asservi – droite	bus AC2 115 VAC et AC2 26 VAC
Altimètre/anémomètre de secours	EMERG/BATT 28 VDC, EMERG 28 VDC

1.6.8.4.2 Mémoires non volatiles

Des mémoires non volatiles intégrées dans les ADC ont pu être exploitées pour enquêter sur l'état de ces appareils. L'analyse de ces mémoires a montré qu'aucun dysfonctionnement n'avait été enregistré pendant le vol CRX 3597 et les neuf vols précédents (cf. ch. 1.19).

1.6.8.5 Radioaltimètre (RADALT)

1.6.8.5.1 Description du système

Le RADALT indique précisément la hauteur au-dessus du sol pendant les phases d'approche et de décollage, lorsque celle-ci est inférieure à 2500 ft.

Deux systèmes RADALT identiques équipent l'avion. Chacun se compose d'un émetteur-récepteur agréé pour les approches ILS Catégorie III A et de deux antennes.

La hauteur radar (RA) est affichée sur le PFD. Celle mesurée par le RADALT1 s'affiche sur le PFD du commandant et celle mesurée par le RADALT2 sur celui du copilote. L'affichage numérique vert passe au jaune au-dessous de la hauteur de décision (DH). Si l'un des émetteurs-récepteurs tombe en panne, l'altitude mesurée par le système opérationnel s'affiche sur les deux PFD et le code „RA” apparaît en blanc à côté de l'indication d'altitude. Si les deux émetteurs-récepteurs sont en panne, les deux indications d'altitude disparaissent et le code „RA” s'affiche en rouge. Lorsque les altitudes indiquées à gauche et à droite ne coïncident pas, le code „RA” apparaît en jaune à côté de la valeur affichée.

Le bouton pour sélectionner la DH se trouve sur le boîtier de commande d'intensité lumineuse de l'EFIS. La DH peut être définie entre 0 et 500 ft et s'affiche en couleur cyan sur le PFD (p. ex. *DH/100*).

Lorsque l'avion passe sous le seuil des 50 ft au-dessus de la DH, l'indication de la DH commence à clignoter afin d'attirer l'attention de l'équipage. Lorsque la DH est atteinte, l'indication cesse de clignoter et le code „DH” apparaît en jaune. Simultanément, l'avertissement sonore «*minimums*» retentit. Cet avertissement est uniquement influencé par les paramètres DH définis du côté du commandant.

L'avertissement sonore «*minimums*» est générée par le GPWC. Outre ces avertissements, les altitudes radar 500, 100, 50, 40, 30, 20 et 10 ft sont signalées par une voix synthétique.

La hauteur radar RA est transmise à l'EFIS et aux systèmes suivants:

- FGC (signaux des deux émetteurs-récepteurs RADALT)
- GPWS (seulement les signaux de l'émetteur-récepteur RADALT1)
- FDR (signaux des deux émetteurs-récepteurs RADALT)
- TCAS (signaux des deux émetteurs-récepteurs RADALT)

Si l'on appuie sur le bouton test de l'un des boîtiers de commande d'intensité lumineuse de l'EFIS, l'émetteur-récepteur RADALT correspondant effectue un autotest en indiquant une hauteur de 40 ft.

L'émetteur-récepteur RADALT1 est alimenté par le bus essentiel AC via l'interrupteur général de l'avionique 1 et l'émetteur-récepteur RADALT2 par le bus AC2 via l'interrupteur général de l'avionique 2.

1.6.9 Etat des instruments relevés dans l'épave

1.6.9.1 Système d'instruments de vol électroniques (EFIS)

Emplacement	Elément/Affichage	Position
Tableau de bord - gauche	Commutateur EFIS	<i>NORM</i> coiffe de protection intacte <i>ON</i>
Boîtier de commande d'intensité lumineuse	EFIS 1 MSTR (interrupteur à levier)	en bout de course en sens antihoraire
Tableau de bord - droite	Commutateur du radar météo	<i>ON</i>
Tableau de commande EFIS (ECP) gauche	EFIS 2 MSTR (interrupteur à levier)	<i>VOR</i>
Tableau de commande EFIS (ECP) droite	Sélecteur de relèvement (BRG)	10
	Sélecteur de distance (RNG)	<i>OFF</i>
	Sélecteur d'alignement (CRS)	<i>MAP</i>
	Format	<i>OFF</i>
Tableau de commande EFIS (ECP) droite	Sélecteur de relèvement (BRG)	10
	Sélecteur de distance (RNG)	<i>LNAV</i>
	Sélecteur d'alignement (CRS)	<i>MAP</i>
	Format	

1.6.9.2 Système de référence à inertie (IRS)

Emplacement	Elément/Affichage	Position
Tableau de bord - gauche	Commutateur MAG/TRU	<i>MAG</i> coiffe de protection intacte
	ATT/HDG	<i>BOTH 2</i> commutateur plié, coiffe de protection arrachée

1.6.9.3 Système de navigation VHF

Emplacement	Elément/Affichage	Position
Boîte de commande VOR/ILS/DME 1	Sélecteur DME	<i>HOLD</i>
Boîte de commande VOR/ILS/DME 2	Sélecteur DME	<i>HOLD</i>
DBI 1	Cap	302°
	Aiguille à pointe simple	3 heures
	Aiguille à pointe double	3 heures
	Commutateur VOR/ADF – gauche	<i>ADF</i>
	Commutateur VOR/ADF – droite	<i>ADF</i>

Emplacement	Élément/Affichage	Position
DBI 2	Cap	impossible à relever, couronne libre
	Aiguille à pointe simple	arrachée
	Aiguille à pointe double	libre, dommages mécaniques
	Commutateur VOR/ADF - gauche	<i>ADF</i>
	Commutateur VOR/ADF - droite	dommages mécaniques peu au-dessous de l'ADF

1.6.9.4 Système anémobarométrique (ADS)

Emplacement	Élément/Affichage	Position
Altimètre asservi - gauche	Drapeau	visible
	Calage altimétrique	1024 hPa
	Index référence d'altitude	0
	Altitude tambour	~ 1920 ft
	Aiguille	~ 900 ft
Altimètre asservi - droite	Drapeau	visible
	Calage altimétrique	1024 hPa
	Index référence d'altitude	~ 390 ft (MDA 2390 ft)
	Altitude tambour	~ 1890 ft
	Aiguille	~ 890 ft
Altimètre/anémomètre de secours	Calage altimétrique	1024 hPa
	Altitude tambour	~ 3000 ft
	Aiguille de l'altimètre	~ 450 ft
Tableau de bord - gauche	Aiguille de l'anémomètre	0
	Commutateur des paramètres air	<i>NORM</i>
		coiffe de protection intacte

1.6.10 Système avertisseur de proximité du sol (GPWS)

Le GPWS génère des avertissements optiques et sonores lorsque la distance de l'avion par rapport au sol présente un danger. Il génère aussi des messages sonores afin d'informer l'équipage de la diminution de la distance au sol.

L'ordinateur d'avertisseur de proximité du sol (GPWC) surveille, traite certains signaux de l'avion et déclenche une alarme lorsque l'une des enveloppes d'avertissement (*warning envelopes*) suivantes est transgressée:

- mode 1 *excessive descent rate*
- mode 2 *excessive terrain closure rate*
- mode 3 *altitude loss after take off*
- mode 4 *unsafe terrain clearance*
- mode 5 *inadvertent descent below glideslope*
- mode 6 *altitude awareness call outs (radar altitude)*

Il existe des avertisseurs sonores distincts (voix synthétique) pour chaque mode. Si plusieurs avertisseurs doivent se déclencher en même temps, un ordre de priorité leur est assigné. Les avertisseurs de décrochage ou de cisaillement du vent sont par exemple prioritaires sur les avertisseurs du GPWS. Les avertisseurs sonores des modes 1 à 4 sont en outre accompagnés de l'avertisseur optique *PULL UP*. Pour que les différentes configurations de l'avion (volets, train) soient prises en considération, les avertisseurs des modes 2 et 4 sont subdivisés en sous-modes. Les restrictions sont décrites de manière exhaustive dans le manuel d'entretien de l'aéronef ATA 34-46-00, dans le manuel de formation Crosscat Entretien ainsi que dans le manuel d'exploitation du fabricant (*VOL. 1, book 1*). Les restrictions applicables pour le mode 1 (*excessive descent rate*) et pour le mode 2B (*excessive terrain closure rate*) revêtant un certain intérêt dans le cadre de l'accident du vol CRX 3597 sont illustrées dans l'annexe 3.

Pour déclencher les avertisseurs, le GPWC doit recevoir les signaux suivants: *radar altitude* (RADALT), *vertical speed, altitude* (ADC), *inertial vertical speed* (IRU), *glide slope deviation* (récepteur ILS), *flaps position, landing gear position*.

Pour éviter un avertissement erroné lors d'un atterrissage prévu volets rentrés, l'analyse de la position des volets peut être supprimée au moyen de l'interrupteur *FLAP WARN OVRD* (mode 4B).

Le GPWC est alimenté en courant par le bus *ESS 115 VAC*. Il effectue automatiquement un autotest lorsqu'on l'enclenche, mais on peut aussi lancer un autotest (court ou long) au sol en appuyant sur l'un des boutons *GPWS/PULL UP/GP INHIBIT* du tableau frontal (*glareshield panel*). Un test bref est aussi possible en vol lorsque la hauteur radar est supérieure à 1000 ft. Certaines fonctions du GPWC sont contrôlées en permanence durant le vol. Une erreur interne du GPWS déclenche l'avertissement *GPWS INOP* sur le tableau d'état central.

1.6.11 Transpondeur ATC

Le transpondeur ATC est la composante embarquée du système de contrôle de la circulation aérienne. On le désigne habituellement comme radar de surveillance secondaire (SSR). Grâce au SSR, le contrôleur de la circulation aérienne peut identifier les avions et déterminer leur altitude. Le SSR complète le radar de surveillance primaire (PSR).

L'avion était équipé d'un transpondeur mode S. En plus des fonctions déjà mentionnées, le transpondeur mode S peut transmettre d'autres données, entre autres des données TCAS.

Pour garantir la disponibilité du système, l'Avro 146-RJ 100 est équipé d'un double transpondeur ATC. Les deux appareils sont contrôlés par le biais du même boîtier de commande situé sur la console centrale.

Pour identifier chaque aéronef, un code transpondeur spécifique (squawk) est attribué à chaque vol. Ce code (quatre chiffres, octal) est saisi dans le boîtier de commande sur ordre du contrôleur de la circulation aérienne et est émis en format binaire. Un bouton placé sur le boîtier de commande permet d'allumer et d'éteindre le transpondeur ATC. Un deuxième bouton permet de sélectionner la source ADC utilisée pour fournir l'information d'altitude, ou de supprimer cette fonction. Il est aussi possible de sélectionner le transpondeur 1 ou le transpondeur 2. La lampe-témoin *XPDR FAIL* indique que le transpondeur sélectionné est en panne (test continu intégré). Le bouton *test* sert à vérifier le bon fonctionnement du transpondeur sélectionné après des travaux d'entretien ou avant un vol.

Il y a pour chaque transpondeur ATC deux antennes bande L, l'une sur la partie supérieure et l'autre sur la partie inférieure du fuselage. Elles sont utilisées successivement, suivant une sélectivité automatique qui est fonction de l'attitude de vol.

Le transpondeur ATC1 est alimenté en électricité par le bus *ESS 115 VAC* et le transpondeur ATC2 par le bus *AC2 115 VAC*.

1.6.12 Entretien de l'avion

Les dossiers d'entretien de l'avion montrent que les travaux prescrits dans le programme de maintenance ont été prévus et exécutés intégralement et dans les délais. Tous les contrôles ont été effectués dans les intervalles prescrits par l'OFAC, tolérances comprises.

Les dossiers sur le passé de l'avion, les notifications ainsi que la liste des pièces remplacées depuis le dernier contrôle de type C2, en mai 2000, ont été examinés de manière approfondie. Ils ont été jugés corrects et complets, exception faite des points suivants : APU, calibrage de l'altimètre, calibrage des capteurs FDR (cf. ch. 1.17.10).

1.6.13 Analyse du carburant utilisé

Il n'a pas été possible de récupérer une quantité de carburant suffisante pour l'analyser. La majeure partie du kérosène a brûlé et le reste a infiltré le sol.

1.7 Conditions météorologiques

1.7.1 Résumé

Le vol de ligne CRX 3597 (Berlin-Zurich) a suivi une trajectoire pratiquement parallèle à un front chaud situé sur l'Ouest de l'Europe. Sur la partie Sud de sa route, au niveau de vol 270, l'avion a dû, par moments, traverser les nuages de haute altitude de ce front.

Lors de la descente, entre les niveaux de vol 160 et 130, l'avion est entré dans le barrage nuageux du soulèvement orographique du versant Nord des Alpes. Bien que compacte, cette masse présentait de fines couches sans nuages entre les niveaux de vol 110 et 80.

Dans les nuages, le risque de givrage était généralement modéré, mais élevé entre les niveaux de vol 120 et 80. Au-dessous du niveau de vol 60, il diminuait sensiblement.

Entre 2700 et 2400 ft AMSL, l'avion est sorti de la masse nuageuse. Dans la dernière phase de vol, la visibilité en vol était altérée par des bancs de stratus dont la base était située entre 2000 et 1800 ft AMSL.

1.7.2 Situation générale

Le 23 novembre 2001, une zone de haute pression s'étendait des Açores à la France. En Suisse, un fort vent du Nord soufflait en haute altitude et un soulèvement orographique s'était formé sur le versant Nord des reliefs.

Dans la nuit du 23 au 24 novembre, l'axe du courant jet a lentement glissé vers l'Est et le 24 novembre, il se situait à l'Est de la Suisse. Ce déplacement a apporté de l'air plus doux sur la Suisse et les températures se sont élevées d'environ 4°C, atténuant ainsi l'effet du soulèvement orographique.

Le 23 novembre, le front chaud associé au courant jet se situait au-dessus des Iles britanniques. Il s'est lentement déplacé vers l'Est et a touché le continent le 24 novembre. Au moment de l'accident, le front chaud traçait une ligne Stavanger – Liège – Orléans – La Rochelle.

Sur les photographies et les images infrarouges à haute définition des satellites américains de la NOAA prises le 24 novembre 2001 à 12:52 UTC, le soulèvement orographique sur le centre et l'Est de la Suisse et les nuages précédant le front chaud encore situé sur la France ne forment qu'une seule masse nuageuse. Sur l'image du radar météo prise à 21:10 UTC, la zone de précipitations associée au soulèvement orographique (Préalpes centrales et orientales) est toutefois encore clairement distincte de celle liée au front chaud centrée sur les Vosges. Les faibles précipitations enregistrées dans la région zurichoises étaient donc des résidus du soulèvement orographique.

1.7.3 Conditions sur l'étape Berlin – Zurich

Les cartes au sol indiquent que, sur l'étape Berlin – Zurich, l'avion a suivi une trajectoire pratiquement parallèle au front chaud situé sur l'Ouest de l'Europe, dont la zone nuageuse s'étendait jusque dans l'Est de l'Allemagne. D'après les images satellites infrarouges Meteosat de 21:00 UTC, le sommet de la couche nuageuse était moins élevé sur la partie Nord du trajet qu'au-dessus du Sud de l'Allemagne. A l'altitude de croisière (FL 270), l'avion était donc au-dessus de la couche nuageuse au début du trajet et la température extérieure était d'environ -41°C. Le vent soufflait de 020 degrés à une vitesse de 80 kt.

Sur la partie Sud de sa route, l'avion a traversé par moments les nuages élevés du front chaud. Au niveau de vol 270 la température extérieure était d'environ -42°C et le vent soufflait de 020 degrés à une vitesse de 70 kt. Lors de la descente, entre les niveaux de vol 160 et 130, l'avion est entré dans le barrage nuageux du soulèvement orographique du versant Nord des Alpes. Au niveau de vol 160 la température était de -17°C et le vent soufflait de 010 degrés à une vitesse de 40 kt.

Il n'y avait aucun avis de danger actif pour le niveau de vol 270 dans l'espace aérien allemand. Berlin et Francfort avaient diffusé des messages AIRMET qui ne se rapportaient donc qu'à l'espace aérien proche du sol.

Selon la carte du temps significatif (SWC) du WAFC de Londres valable à 18:00 UTC, aucun phénomène météorologique dangereux n'était prévu au niveau de vol 270 sur le l'étape Berlin – Zurich. En revanche, d'après la SWC valable à 00:00 UTC il fallait s'attendre à des turbulences modérées en air clair entre les niveaux de vol 220 et 370 sur la partie Nord du tronçon.

1.7.4 Conditions dans la zone d'approche

1.7.4.1 Couverture nuageuse

1.7.4.1.1 Dépôts des équipages

Pendant le vol de descente, l'avion est entré dans le soulèvement orographique du versant Nord des Alpes. La limite supérieure de cette couche de nuages n'était pas uniforme et variait entre les niveaux de vol 130 et 160. Au-dessous, la couverture nuageuse était compacte jusqu'au niveau de vol 110. Entre les niveaux de vol 110 et 80 il y avait de fines couches sans nuage et sous le niveau de vol 80 la couverture était de nouveau compacte jusqu'à la base des nuages.

Dans le périmètre élargi de l'aéroport de Zurich, la limite inférieure de la couverture nuageuse n'était pas uniforme. L'analyse des dépôts des pilotes a permis d'établir le tableau suivant de la situation (valeurs moyennes, hauteur indiquée par rapport à l'altitude de l'aéroport).

Zone aéroportuaire	Piste	Couverture nuageuse
Nord	Piste 34, décollage	SCT 500 ft AAL BKN 1000 ft AAL OVC 1500 ft AAL
	Piste 14, atterrissage	FEW 1000 ft AAL BKN 1600 ft AAL OVC 2000 ft AAL
Ouest	Piste 28, décollage	FEW 600 ft AAL SCT 1100 ft AAL OVC 2600 ft AAL
Est	Piste 28, atterrissage	FEW 500 ft AAL BKN 1000 ft AAL

1.7.4.1.2 Mesures du télémètre de nuages

Un télémètre de nuages mesure le temps séparant l'émission d'un rayon laser vertical depuis le sol de la réception au sol de ce même rayon après rétrodiffusion par la base des nuages. Cette mesure permet de déterminer la hauteur du plafond nuageux à la verticale de l'appareil. Les mesures du télémètre de nuages ne peuvent être utilisées que de manière restreinte pour déterminer la quantité de nuages.

Le tableau suivant a été établi sur la base des mesures du télémètre de nuages effectuées pendant les sept minutes précédant l'accident, c'est-à-dire entre 21:00 et 21:07 UTC (hauteur indiquée par rapport à l'altitude de l'aéroport).

Zone aéroportuaire	Télémètre de nuages	Nuages/Couches
Nord	Pistes 14/16	500 - 1050 ft AAL 1150 - 1350 ft AAL
	Radioborne intermédiaire (MM)	450 - 1350 ft AAL 900 - 1150 ft AAL
Est	Radioborne extérieure (OM)	1400 - 1750 ft AAL
	Bassersdorf	1300 - 3100 ft AAL 2100 - 2750 ft AAL

Le télémètre de nuages de Bassersdorf est installé sur un toit, à environ un kilomètre au Sud de l'axe d'approche de la piste 28.

1.7.4.1.3 Synthèse des dépositions des équipages et des mesures des télémètres de nuages

Le plafond effectif de la couverture nuageuse principale (BKN) dans la zone d'approche de la piste 28 se situait entre 2400 et 2700 ft AMSL. Des équipages ont indiqué que par moments ils apercevaient le sol, ce qui montre que cette couche de nuages n'était pas compacte. Au-dessous de celle-ci, il y avait des traînées de stratus (FEW) dont la base se situait entre 1800 et 2000 ft AMSL. D'après les indications de plusieurs équipages, ces formations réduisaient la visibilité de face, de sorte que le début de la piste 28 ne pouvait être vu que depuis une distance d'environ 2 km.

1.7.4.2 Visibilité en vol et visibilité météorologique

Juste en dessous du plafond nuageux, la visibilité en vol (de face) était très limitée, en raison des traînées de stratus. Les avions en approche ne pouvaient voir la piste 28 sans entrave qu'à environ 2 km avant le seuil de piste.

Au-dessous du plafond des nuages, la visibilité au sol était d'environ 4 km; dans les précipitations faibles et près de la base des nuages, elle était réduite à environ 2 km en certains endroits.

1.7.4.3 Profil des vents

Les mesures du phénomène d'inversion (AMETIS1) et des radiosondages de Payerne, Stuttgart et Munich ont été interpolées dans l'espace et dans le temps afin d'établir le tableau suivant des vents dans la zone d'approche:

Altitude	Direction en degrés	Vitesse en kt
FL 160	010	40
FL 140	360	35
FL 120	360	30
FL 100	350	25
FL 080	340	15
6000 ft AMSL	300	15
5000 ft AMSL	270	12
4000 ft AMSL	250	12
3000 ft AMSL	220	10
2000 ft AMSL	210	06

Le profil vertical des vents montre un virement dextrogyre (*veering*) de plus en plus marqué à mesure que l'on monte, ce qui correspond à une advection d'air chaud due à l'arrivée du front chaud, mais aucune turbulence notable n'a été signalée.

1.7.4.4 Profil des températures

Les valeurs du système de mesure (AMETIS1) et des radiosondages de Payerne, Stuttgart et Munich ont été interpolées dans l'espace et dans le temps afin d'établir le tableau suivant des températures et de l'hygrométrie dans la zone d'approche:

Altitude	Température en °C	Point de rosée en °C
FL 160	-17	-22
FL 140	-14	-16
FL 120	-11	-12
FL 100	-07	-08
FL 080	-05	-05
6000 ft AMSL	-04	-04
5000 ft AMSL	-03	-03
4000 ft AMSL	-02	-02
3000 ft AMSL	-01	-01
2000 ft AMSL	0	0

L'isotherme du zéro degré se situait vers 2200 ft AMSL. En effet, des témoins au sol qui se trouvaient à une altitude d'environ 1700 ft AMSL ont constaté des précipitations sous forme de neige mêlée à de la pluie, ce qui signifie que la limite du zéro degré se trouvait quelque 500 ft plus haut.

1.7.4.5 Givrage

Dans la zone d'approche, un léger givrage existait sous le niveau de vol 140. Plusieurs équipages ont constaté un fort givrage entre les niveaux de vol 120 et 80. Sous le niveau de vol 60, le givrage était plus faible.

Par expérience, on sait que dans les stratus le givrage est le plus fort entre -4° et -8°C. Dans le cas présent, ces températures correspondent à une altitude située entre 6000 et 10 500 ft AMSL.

1.7.4.6 Avis de danger

A l'heure de l'accident, l'information AIRMET suivante de MétéoSuisse était active:

LSAS SWITZERLAND AIRMET 241930/242400 LSZH- SWITZERLAND FIR MOD ICE OBS ALPS AND N OF ALPS BTN FL060 AND FL130 STNR NC =

En clair: givrage modéré observé au-dessus des Alpes et au Nord des Alpes entre les niveaux de vol 60 et 130; stationnaire; sans changement.

1.7.5 Conditions sur le lieu de l'accident

1.7.5.1 Couverture nuageuse

La plaine de Bassersdorf (environ 1500 ft AMSL) est bordée de collines au Nord – Nord-Est. Le relief s'aplanit ensuite pour former le plateau d'Oberwil/Brütten situé entre 1900 et 2000 ft AMSL. Le lieu de l'accident se trouve dans cette zone. Lorsque le vent souffle du Sud-Ouest, le courant est légèrement dévié vers le haut par cet escarpement et si l'air est suffisamment humide, il peut se former des soulèvements orographiques de basse altitude.

Le plafond des nuages (BKN) se situait entre 2400 et 2700 ft AMSL, mais des bancs de stratus dont la base se situait entre 1800 et 2000 ft AMSL se sont formés en raison du soulèvement du courant humide soufflant du Sud-Ouest sur Oberwil. Cela signifie que, par endroits, des stratus traînaient sur le sommet des collines et sur les versants au vent.

Les déclarations de divers témoins oculaires de l'accident (plaine près du carrefour Chrüzstrass) sont convergents: «Tout d'un coup l'avion sort des nuages...», «L'avion traverse des bancs de nuages très bas...»

1.7.5.2 Précipitations

De faibles précipitations sous forme de chutes de neige mêlée à de la pluie ont été observées sur le lieu de l'accident. La température locale de l'air était d'environ +0,5°C.

1.7.5.3 Visibilité

La visibilité dans la petite plaine située près du carrefour de Chrüzstrass était de 2 à 3 km. Un peu plus haut, sur le flanc de la colline, donc un peu plus proche de la base des nuages, la visibilité était plus limitée en raison des bancs de stratus de basse altitude.

1.7.5.4 Vent

Sur le lieu de l'accident, le vent soufflait du Sud à une vitesse de 3 à 5 kt.

1.7.6 Conditions à l'aéroport de Zurich

1.7.6.1 Déroulement de la journée

Sous l'influence du soulèvement orographique du versant Nord des Alpes, le ciel de l'aéroport de Zurich est resté très nuageux à couvert pendant toute la journée. De faibles chutes de neige ont été observées tôt le matin puis à nouveau de façon intermittente l'après-midi. Il a ensuite neigé sans interruption de 14:50 UTC jusqu'au moment de l'accident, mais ces précipitations étaient de faible intensité. Des chutes de neige modérées ont été observées uniquement vers 18:20 UTC.

Le plafond des nuages s'est abaissé progressivement au cours de la soirée. Par conséquent la visibilité, qui était encore d'environ 20 km vers midi, s'est réduite jusqu'à 4 km. Le vent a soufflé faiblement du Sud-Ouest et du Sud-Est en alternance pendant toute la journée.

1.7.6.2 Conditions météorologiques au moment de l'accident

Vent – point de mesure piste 14/16	130°, 2 kt
Vent – point de mesure piste 34	180°, 3 kt
Visibilité au sol	3500 m
Portée visuelle de piste – piste 14A	> 1500 m
Portée visuelle de piste – piste 16A	> 1500 m
Portée visuelle de piste – piste 28A	> 1500 m
Précipitations	faibles chutes de neige
Plafond des nuages	cf. ch. 1.7.4.1.1 et 1.7.4.1.2
Température de l'air	+0,6°C (à 2 m du sol)
Température de l'air – piste 14/16	+0,3°C (à 5 cm du sol)
	+0,5°C (à 5 cm du béton)
Humidité atmosphérique	98 %

Pression atmosphérique	QNH 1023.9 hPa QFE Piste 14: 973 hPa QFE Piste 16: 973 hPa QFE Piste 28: 972 hPa
Etat du sol	neige fondante recouvrant toute la surface

1.7.6.3 Message d'observation météorologique régulière pour l'aviation (METAR)

Au moment de l'accident, le message METAR suivant était valable:

METAR 242050Z 16002KT 3500 -SN FEW006 BKN015 OVC022 00/M00 Q1024 8829//99 TEMPO 5000=

En clair, cela signifie que les conditions météorologiques suivantes ont été observées à l'aéroport de Zurich le 24 novembre 2001 à 20:50 UTC:

Vent	160°, 2 kt
Visibilité au sol	3500 m
Précipitations	faibles chutes de neige
Couverture nuageuse	1 à 2 octas à 600 ft AAL 5 à 7 octas à 1500 ft AAL 8 octas avec base des nuages à 2200 ft AAL
Température	0°C
Point de rosée	entre -0,5 et -0,1°C
Pression atmosphérique	1024 hPa QNH
Rapport d'état de piste	La surface de la piste est mouillée ou recouverte de flaques d'eau sur plus de 50 % mais l'épaisseur du dépôt est sans signification pour l'exploitation ou non mesurable. Aucune information fiable sur l'efficacité de freinage ne peut être donnée.
Prévision d'atterrissage	Dans les deux heures suivant l'observation des phénomènes météorologiques, il faut s'attendre à une fluctuation temporaire de la visibilité au sol à 5000 m. La durée totale de cette fluctuation devrait vraisemblablement être de moins d'une heure.

Le message METAR suivant est entré en vigueur à 21:20 UTC:

METAR 242120Z 13002KT 4000 -SN FEW006 BKN015 01/M00 Q1023 8820//99 NOSIG=

1.7.6.4 Prévision d'aérodrome (TAF)

LSZH 241800Z 241904 24005KT 6000 SN FEW015 BKN025 BECMG 2224 3000 SNRA SCT008 BKN015=

1.7.7 Informations météorologiques diffusées

1.7.7.1 Renseignements météorologiques destinés aux aéronefs en vol (VOLMET)

La diffusion du message VOLMET suivant a commencé le 24 novembre 2001 à 20:20:21 UTC:

THIS IS ZÜRICH MET BROADCAST MET REPORTS.

ZÜRICH 2020.
170 DEGREES 3 KNOTS.
VISIBILITY 3 THOUSAND METRES.
LIGHT SNOW.
FEW 5 HUNDRED FEET.
SCATTERED 1 THOUSAND 5 HUNDRED FEET.
BROKEN 2 THOUSAND 2 HUNDRED FEET.
TEMPERATURE 0. DEWPOINT MINUS 0.
Q.N.H 1024.
NOSIG.

GENEVA 2020.

.....

BALE 2000.

.....

La diffusion du message VOLMET suivant a commencé à 20:46:51 UTC:

THIS IS ZÜRICH MET BROADCAST MET REPORTS..

ZÜRICH 2050.
160 DEGREES 2 KNOTS.
VISIBILITY 3 THOUSAND 5 HUNDRED METRES.
LIGHT SNOW.
FEW 6 HUNDRED FEET.
BROKEN 1 THOUSAND 5 HUNDRED FEET.
OVERCAST 2 THOUSAND 2 HUNDRED FEET.
TEMPERATURE 0. DEWPOINT MINUS 0.
Q.N.H 1024.
TEMPO
VISIBILITY 5 THOUSAND METRES.

GENEVA 2020.

.....

BALE 2030.

.....

La diffusion du message VOLMET suivant a commencé à 20:50:19 UTC:

THIS IS ZÜRICH MET BROADCAST MET REPORTS.

ZÜRICH 2050.
160 DEGREES 2 KNOTS.

VISIBILITY 3 THOUSAND 5 HUNDRED METRES.
LIGHT SNOW.
FEW 6 HUNDRED FEET.
BROKEN 1 THOUSAND 5 HUNDRED FEET.
OVERCAST 2 THOUSAND 2 HUNDRED FEET.
TEMPERATURE 0. DEWPOINT MINUS 0.
Q.N.H 1024.
TEMPO
VISIBILITY 5 THOUSAND METERS.

GENEVA 2050.

.....

BALE 2030.

.....

1.7.7.2 Service automatique d'information de région terminale (ATIS)

L'équipage du vol CRX 3597 disposait de l'information ATIS suivante (KILO):

INFO KILO

LANDING RUNWAY 14 ILS APPROACH, DEPARTURE RUNWAY 34

QAM LSZH 2020 UTC 24.11.2001

190 DEG 4 KT

VIS 3000 M

LIGHT SNOW

FEW 500 FT, SCT 1500 FT, BKN 2200 FT

000/-00

QNH 1024 TWO FOUR

NOSIG

TRANSITION LEVEL 50

TAXIWAY HOTEL 1 AND TAXIWAY KILO CLOSED, VACATE RUNWAY WITH CAUTION,
NEW TAXI PROCEDURE VIA TAXIWAY DELTA AND FOXTROT

RUNWAY REPORT 1800

ALL RUNWAYS,

FULL LENGTH 60 M WET

AIRMET 1 VALID BETWEEN 1930 AND 2400

SWITZERLAND FIR MODERATE ICING OBSERVED ALPS AND NORTH OF ALPS
BETWEEN FLIGHT LEVEL 60 AND FLIGHT LEVEL 130. STATIONARY NO CHANGE

Ensuite les informations suivantes ont été émises:

INFO LIMA

LANDING RUNWAY 28 VOR DME STANDARD APPROACH, DEPARTURE RUNWAY 34

QAM LSZH 2020 UTC 24.11.2001

190 DEG 4 KT

VIS 3000 M

LIGHT SNOW

FEW 500 FT, SCT 1500 FT, BKN 2200 FT

000/-00

QNH 1024 TWO FOUR
NOSIG

TRANSITION LEVEL 50

TAXIWAY HOTEL 1 AND TAXIWAY KILO CLOSED, VACATE RUNWAY WITH CAUTION, NEW TAXI PROCEDURE VIA TAXIWAY DELTA AND FOXTROT

RUNWAY REPORT 1800

ALL RUNWAYS,
FULL LENGTH 60 M WET
APRON AND TAXIWAYS WET

AIRMET 1 VALID BETWEEN 1930 AND 2400

SWITZERLAND FIR MODERATE ICING OBSERVED ALPS AND NORTH OF ALPS BETWEEN FLIGHT LEVEL 60 AND FLIGHT LEVEL 130. STATIONARY NO CHANGE

INFO MIKE

LANDING RUNWAY 28 VOR DME STANDARD APPROACH, DEPARTURE RUNWAY 34
QAM LSZH 2020 UTC 24.11.2001

190 DEG 4 KT

VIS 3000 M

LIGHT SNOW

FEW 500 FT, SCT 1500 FT, BKN 2200 FT

000/-00

QNH 1024 TWO FOUR

NOSIG

TRANSITION LEVEL 50

TAXIWAY HOTEL 1 AND TAXIWAY KILO CLOSED, VACATE RUNWAY WITH CAUTION, NEW TAXI PROCEDURE VIA TAXIWAY DELTA AND FOXTROT

RUNWAY REPORT 2040

ALL RUNWAYS,
FULL LENGTH 60 M WET
APRON AND TAXIWAYS WET

AIRMET 1 VALID BETWEEN 1930 AND 2400

SWITZERLAND FIR MODERATE ICING OBSERVED ALPS AND NORTH OF ALPS BETWEEN FLIGHT LEVEL 60 AND FLIGHT LEVEL 130. STATIONARY NO CHANGE

INFO NOVEMBER

LANDING RUNWAY 28 VOR DME STANDARD APPROACH, DEPARTURE RUNWAY 34
QAM LSZH 2050 UTC 24.11.2001

200 DEG 4 KT

VIS 3500 M

LIGHT SNOW

FEW 600 FT, BKN 1500 FT, OVC 2200 FT

000/-00

QNH 1024 TWO FOUR

TEMPO VIS 5000 M

TRANSITION LEVEL 50

TAXIWAY HOTEL 1 AND TAXIWAY KILO CLOSED, VACATE RUNWAY WITH CAUTION, NEW TAXI PROCEDURE VIA TAXIWAY DELTA AND FOXTROT

RUNWAY REPORT 2040

ALL RUNWAYS,
FULL LENGTH 60 M WET
APRON AND TAXIWAYS WET

AIRMET 1 VALID BETWEEN 1930 AND 2400

SWITZERLAND FIR MODERATE ICING OBSERVED ALPS AND NORTH OF ALPS BETWEEN FLIGHT LEVEL 60 AND FLIGHT LEVEL 130. STATIONARY NO CHANGE

Au moment de l'accident, l'information ATIS suivante a été émise:

INFO OSCAR

LANDING RUNWAY 28 VOR DME STANDARD APPROACH, DEPARTURE RUNWAY 34

QAM LSZH 2050 UTC 24.11.2001

200 DEG 4 KT

VIS 3500 M

LIGHT SNOW

FEW 600 FT, BKN 1500 FT, OVC 2200 FT

000/-00

QNH 1024 TWO FOUR

TEMPO VIS 5000 M

TRANSITION LEVEL 50

TAXIWAY HOTEL 1 AND TAXIWAY KILO CLOSED, VACATE RUNWAY WITH CAUTION, NEW TAXI PROCEDURE VIA TAXIWAY DELTA AND FOXTROT

RUNWAY REPORT 2040

ALL RUNWAYS,
FULL LENGTH 60 M WET
APRON AND TAXIWAYS WET

AIRMET 1 VALID BETWEEN 1930 AND 2400

SWITZERLAND FIR MODERATE ICING OBSERVED ALPS AND NORTH OF ALPS BETWEEN FLIGHT LEVEL 60 AND FLIGHT LEVEL 130. STATIONARY NO CHANGE

1.7.8 Messages météo diffusés entre 20:00 et 21:00 UTC

Lors du premier appel du vol CRX 3597 à APE (20:48:22 UTC), le pilote a indiqué qu'il connaissait l'information ATIS «KILO».

Les informations ATIS diffusées par la suite ont changé plusieurs fois jusqu'au moment de l'accident, soit à 21:07 UTC, sans que les changements relatifs à la visibilité et au plafond nuageux ne soient signalés aux pilotes.

Début de la diffusion

20:40:10 UTC

20:44:56 UTC

20:50:00 UTC

20:50:16 UTC

Information ATIS

LIMA: rapport météo Zurich, 20:20 UTC.
 Changement: «atterrissage piste 28 avec approche standard VOR/DME» au lieu de «atterrissage piste 14 avec approche ILS».

MIKE: rapport météo Zurich, 20:20 UTC.
 Nouveau bulletin de piste 32 à 20:40 UTC.

NOVEMBER: rapport météo Zurich, 20:50 UTC.
 Nouvelle heure d'observation et amélioration de la visibilité météorologique à 3500 m.
 Abaissement du plafond nuageux à 5-7 octas à 1500 ft AAL.

OSCAR: rapport météo Zurich, 20:50 UTC.
 Nouveau code suite à une commutation entre deux serveurs informatiques.

1.7.9 Données astronomiques

1.7.9.1 Position du soleil

Azimut	305° 42' 43"
Hauteur	-53° 12' 08"

1.7.9.2 Position de la lune

Azimut	217° 54' 11"
Hauteur	+26° 58' 57"
Phase	Croissante
Age	0,68 (0 = nouvelle lune, 1 = pleine lune)

1.7.10 Portée visuelle de piste et visibilité au sol

1.7.10.1 Portée visuelle de piste

Selon l'ICAO *document 4444* la portée visuelle de piste (RVR) est définie comme suit: "*The range over which the pilot of an aircraft on a center line of a runway can see the runway surface markings or the lights delineating the runway or identifying its center line*". Cela signifie que c'est essentiellement la distance jusqu'à laquelle le pilote d'un aéronef placé sur l'axe de la piste peut voir les marques ou les feux qui délimitent la piste ou qui balisent son axe. Elle est mesurée à l'aide d'un appareil appelé transmissiomètre (TMM). Un TMM à base courte (15 m) permet de mesurer des valeurs entre 50 et 800 m environ. Un TMM à base longue peut mesurer la RVR entre 100 et 2000 m environ. Les mesures sont cependant moins précises dans le bas de la fourchette. Les TMM à base courte et longue sont nécessaires sur les pistes avec approche ILS, raison pour laquelle des dispositifs des deux types sont installés le long des pistes 14 et 16 de l'aéroport de Zurich. En revanche, la piste 28 n'est actuellement équipée que de TMM à base longue.

Les messages météo indiquent les valeurs RVR situées entre 50 et 1500 m. Si la portée visuelle de piste est inférieure à 50 m, le code figurant dans le message est M0050. Si elle est supérieure à 1500 m, le code est P1500. Les messages VOLMET (METAR) et informations ATIS (QAM) ne comportent donc jamais de valeurs RVR supérieures à 1500 m.

1.7.10.2 Visibilité météorologique

La visibilité météorologique est la distance maximale à laquelle on peut encore identifier des objets remarquables. Elle est uniquement déterminée sur le plan horizontal. Si elle n'est pas identique dans toutes les directions, on indique la visibilité minimale. A l'instar d'autres pays, la Suisse bénéficie de la dérogation suivante: en cas de variations, la visibilité prédominante est donnée. La visibilité prédominante est définie comme la valeur atteinte ou dépassée au moins dans un demi-cercle, qui peut être composé de plusieurs secteurs réunis entre eux.

1.7.10.3 Relation entre visibilité météorologique et portée visuelle de piste

Une source lumineuse peut être identifiée à une distance plus grande qu'un objet non illuminé. Ainsi, de nuit, la valeur RVR est environ trois à quatre fois plus élevée que la visibilité météorologique. De jour, en raison de l'effet de brillance du soleil, dans le brouillard par exemple, la RVR n'est plus que le double environ de la visibilité météorologique.

1.7.10.4 Observation des nuages

Selon les normes de l'OACI, pour les aéroports dotés de pistes avec approche de précision, les observations des nuages intégrées dans les messages QAM (ATIS) doivent être représentatives de l'endroit où se trouve la radioborne intermédiaire (MM) du système ILS. Les observations des nuages contenues dans les messages METAR (VOLMET) doivent être représentatives de l'ensemble de la zone aéroportuaire et de ses environs directs.

Selon ces dispositions, dans les messages QAM (ATIS) de l'aéroport de Zurich les conditions nuageuses doivent être indiquées pour l'ancienne MM de la piste 16. Dans les messages METAR, les informations sur les nuages sont regroupées pour l'ensemble de la zone aéroportuaire et ses environs directs.

1.8 Aides à la navigation

1.8.1 Restrictions générales

Les cartes d'approche de l'aéroport de Zurich contiennent la remarque suivante au sujet du radiophare omnidirectionnel VHF de Kloten (VOR KLO):

«KLO VOR partially unreliable below 12 000 ft» – VOR KLO pas toujours fiable en-dessous de 12 000 ft AMSL.

Suite au déplacement du VOR/DME KLO occasionné par la construction du nouveau terminal (Dock Midfield), deux diagrammes de couverture ont été établis pour le nouveau site du VOR. L'analyse de ces diagrammes a montré qu'au-dessous de 12 000 ft le signal est partiellement brouillé.

Comme l'ont prouvé des vols de mesures, cette insuffisance de couverture due à la topographie locale est sans conséquences pour les routes d'arrivée et de départ. Par ailleurs, aucun incident ou notification imputable à des irrégularités du VOR KLO n'a été porté à la connaissance du service de la navigation aérienne.

C'est sur la base de ces éléments que l'*IFR procedure group* (IPG) a décidé de publier la restriction susmentionnée lors d'une réunion qui s'est tenue à Zurich en 1999. L'OFAC avait accepté cette démarche et skyguide avait établi un rapport détaillé.

1.8.2 Aides de navigation pour l'approche standard VOR/DME 28

L'approche standard VOR/DME 28 est une approche de type classique (NPA). Les aides de navigation aérienne utilisées sont le DVOR/DME KLO (Kloten) et le DVOR/DME ZUE (Zurich East). Il s'agit dans les deux cas de radiophares omnidirectionnels utilisant l'effet Doppler. Tous deux sont également équipés d'un dispositif de mesure de distance (DME).

Aide de navigation aérienne	DVOR/DME KLO
Position géographique	47° 27' 25,73" N, 008° 32' 44,14" E
Altitude	1414 ft AMSL
Couverture opérationnelle spécifiée (DOC)	50 NM/25 000 ft
Fréquences	DVOR 114,85 MHz, DME canal 95 Y
Durée d'exploitation	24 h/24

Aide de navigation aérienne	DVOR/DME ZUE
Position géographique	47° 35' 31,82" N, 008° 49' 03,55" E
Altitude	1730 ft AMSL
Couverture opérationnelle spécifiée (DOC)	80 NM/50 000 ft
Fréquences	DVOR 110,05 MHz, DME canal 37 Y
Durée d'exploitation	24 h/24

Le 24 novembre 2001 entre 20:45 et 21:15 UTC, les émetteurs des stations sol DVOR/DME KLO et DVOR/DME ZUE fonctionnaient normalement et étaient à la disposition des services d'exploitation sans aucune restriction.

Le 26 novembre 2001, un avion français de la Direction générale de l'aviation civile (DGAC) a effectué plusieurs vols de contrôle sur mandat du BEAA afin de contrôler la qualité du signal des aides à la navigation pour l'approche standard VOR/DME 28. Les valeurs relevées se situaient dans les tolérances opérationnelles et la DGAC a rendu la conclusion suivante:

«Au vu des enregistrements effectués par l'avion du contrôle en vol de la DGAC (ATR 42 F-GFJH), l'approche VOR/DME enregistrée depuis ZUE jusqu'au seuil est dans les tolérances opérationnelles.»

1.8.3 Autres aides de navigation aérienne

Installation	Type et constructeur	Mise en service
LOC ILS 14 ZRH	LOC 411, Thales ATM	1999
GP ILS 14 ZRH	GS 412, Thales ATM	1999
DME ILS 14 ZRH	FSD 40, Thales ATM	1999
LOC ILS 16 ZRH	S 4000, Thales ATM	1990
GP ILS 16 ZRH	S 4000, Thales ATM	1990
DME ILS 16 ZRH	FSD 10, Thales ATM	1990

1.8.4 Surveillance radar des approches aux instruments

Les approches standard VOR/DME 28 ne se font pas par guidage radar mais en navigation autonome.

Selon la documentation du poste de travail, il incombe au contrôleur de la circulation aérienne (CCA) FINAL de surveiller l'itinéraire de vol emprunté par l'équipage et, le cas échéant, d'ordonner une correction de cap (guidage).

On a pu constater que le CCA APW responsable du vol CRX 3597 au moment de l'accident a pris en charge l'assistance radar à une distance de 9 NM du seuil de la piste 28. Celui-ci a affirmé avoir vu l'aéronef sur son écran radar alors qu'il se trouvait à 9, puis à 6 et enfin à environ 4 NM du seuil de la piste. Il n'a pris conscience de la hauteur qu'à environ 6 NM en constatant une altitude d'environ 3600 ft sur son écran radar.

Le CCA a déclaré: «Je n'ai plus contrôlé l'altitude par la suite mais uniquement l'itinéraire de vol. La raison pour laquelle je n'ai pas effectué d'autre contrôle de l'altitude est que l'avion volait en navigation autonome. Selon moi, dans cette situation, il n'y avait aucune nécessité pour que j'effectue un tel contrôle dans le cadre de l'assistance radar.»

Les CCA interrogés n'étaient pas tous du même avis quant à la notion de l'assistance radar et à sa mise en œuvre dans le cadre de la procédure d'approche standard VOR/DME 28:

- Un CCA a déclaré que normalement seule la trajectoire de l'avion était continuellement surveillée et non son altitude. La surveillance de l'altitude était utilisée pour la séparation verticale avec un autre appareil.
- Un autre CCA a déclaré qu'il devait surveiller l'exécution des instructions communiquées à un trafic. Cette surveillance s'étendait d'après lui "ungefähr bis zum Minimum eines *standard VOR/DME approach 28* (ca. 3 NM DME)" i.e. environ jusqu'au minimum d'une approche VOR/DME 28 (env. 3 NM DME).

Suite à la chute d'un avion de la compagnie Alitalia sur le Stadlerberg le 14 novembre 1990, le BEAA avait émis une recommandation de sécurité (cf. 1.18.3.2) préconisant, entre autres, l'installation d'un système d'avertissement d'altitude minimale de sécurité (MSAW). Il s'agit d'un système de sécurité qui déclenche des alarmes optiques et sonores dans le service de contrôle de la circulation aérienne lorsque des seuils d'altitude prédéfinis sont franchis.

Les pistes 14 et 16 avaient alors été équipées d'un MSAW, mais pas le secteur d'approche de la piste 28.

1.9 Télécommunication

1.9.1 Organes de contrôle de la circulation aérienne impliqués

1.9.1.1 Généralités

Organe ATC	Code	Fréquence
Contrôle d'approche Est	APE	120,750 MHz
Contrôle d'approche Ouest	APW	118,000 MHz
Contrôle d'aérodrome (TWR)	ADC	118,100 MHz
Contrôle sol	GRO	121,900 MHz

Aucun contrôle systématique des postes de travail n'était tenu dans les services TWR/APP à Zurich. Cela signifie que les rotations des postes de travail n'étaient pas documentées. Pour cette raison, dans le cadre de l'enquête, les changements de personnes sur les différents postes de travail ont dû être reconstitués à l'aide de la transcription des enregistrements vocaux.

1.9.1.2 Contrôle d'approche (APP)

Lorsque, à 20:48:22 UTC, le vol CRX 3597 a pris contact avec APP Zurich, deux CCA étaient en service dans ce secteur. Ils occupaient les postes «approches Ouest» (APW) et «approches Est» (APE).

Trois avions se trouvaient sur les fréquences de ces deux CCA: deux étaient guidés par le CCA APW et le vol CRX 3597 par le CCA APE.

Après s'être consultés, les deux CCA ont décidé de faire atterrir d'abord les deux avions venant de l'Ouest, puis d'aligner le troisième, le vol CRX 3597, pour l'approche par l'Est.

Le vol CRX 3597 était le dernier que le CCA devait assister sur APE. Après concertation avec son collègue d'APW, il a fermé son poste de travail à 21:04 pour se rendre à la vigie afin d'y remplacer un autre collègue.

Selon le plan d'affectation des secteurs de skyguide, au moment de l'accident (21:07) quatre postes de travail auraient encore dû être occupés au contrôle d'approche. En réalité, un poste était occupé.

1.9.1.3 Contrôle d'aérodrome (TWR)

Le CCA qui a donné l'autorisation d'atterrissage au vol CRX 3597 a pris place au poste de travail ADC1 à 21:06 UTC. Jusqu'à 21:04 UTC il a travaillé dans le secteur APE où il a guidé l'approche de ce vol sur la piste 28.

Après l'atterrissage du premier avion (d'une série de trois) selon la procédure d'approche standard VOR/DME 28, le chef de service a décidé de réduire à deux CCA l'effectif travaillant à la vigie. A 21:03 UTC, il a remis la fonction de chef de quart au contrôleur sol (GRO) et a quitté la vigie pour se rendre à son domicile, après un bref arrêt dans son bureau.

Le CCA GRO n'avait reçu aucune formation pour occuper la fonction de chef de quart qu'il a prise en charge à partir de 21:03 UTC. Selon ses déclarations, lorsqu'il a pris cette fonction, il aurait clairement connu les droits et les devoirs qui y étaient attachés. Il l'aurait déjà exercée souvent, même pendant la journée, lorsque le trafic aérien est plus intense.

Selon le plan d'affectation des secteurs de skyguide, au moment de l'accident quatre postes de travail auraient encore dû être occupés à la tour de contrôle. En réalité, deux postes étaient occupés. Selon ce plan, le poste du chef de quart devait être occupé jusqu'à 22:00 UTC.

1.9.2 Enregistrement des conversations

Les données suivantes de TWR et APP sont enregistrées en permanence au moyen d'un système d'enregistrement numérique et sont sauvegardées sur bande magnétique audionumérique au format DDS:

- Tous les canaux radio VHF utilisés; en outre un appareil enregistreur est installé dans les secteurs APE, APW et ADC pour des enregistrements de courte durée
- Toutes les liaisons câblées entre les postes de travail
- Toutes les conversations téléphoniques effectuées sur les postes de travail
- Liaisons radiotéléphoniques avec la police et les services de sauvetage

La qualité d'écoute était bonne et les enregistrements complets.

Dans la salle des radars et dans la vigie, les conversations ne sont pas enregistrées par un microphone d'ambiance.

1.9.3 Installations de communication

A l'heure de l'accident, les enregistrements TWR et APP ainsi que le registre du système de gestion (SYMA) ne font état d'aucune panne ou défaut des installations de communication ATC. Il en va de même de toutes les liaisons internes (intercom, téléphone) au sein du service de contrôle de la circulation aérienne.

1.10 Renseignements sur l'aéroport

1.10.1 Généralités

L'aéroport de Zurich est situé au Nord-Est de la Suisse. En 2001, le service de la navigation aérienne – skyguide – a géré un volume de trafic d'environ 297 000 approches et décollages IFR.

Au moment de l'accident, un gigantesque projet de construction, dont l'élément central est le terminal situé entre les pistes (Dock Midfield), était en cours.

Les données concernant les pistes de l'aéroport de Zurich sont les suivantes:

Désignation	Dimensions	Altitude des seuils
16/34	3700 x 60 m	1390/1386 ft AMSL
14/32	3300 x 60 m	1402/1402 ft AMSL
10/28	2500 x 60 m	1391/1416 ft AMSL

L'altitude et la température de référence de l'aéroport sont 1416 ft AMSL et 24,0° C.

1.10.2 Equipements des pistes

L'aéroport de Zurich est caractérisé par un système de trois pistes dont deux (16 et 28) se croisent au point de référence d'aérodrome (ARP). Les couloirs d'approche des pistes 16 et 14 se coupent à environ 850 m au Nord-Ouest du seuil de la piste 14. Ces deux pistes sont équipées d'un système ILS Catégorie III et peuvent donc être utilisées pour les approches de précision. La piste 28 permet d'effectuer des approches classiques (NPA) basées sur le VOR/DME KLO. Les secteurs d'approche des pistes 14 et 16 sont dotés d'un système d'avertissement d'altitude minimale de sécurité (MSAW) qui déclenche des alarmes optiques et sonores dans le service de contrôle de la circulation aérienne lorsque des avions franchissent les seuils d'altitude prédéfinis. Le secteur d'approche de la piste 28 n'est pas équipé du système MSAW.

1.10.3 Règlement d'exploitation

Au moment de l'accident, la réglementation sur la réduction du bruit en vigueur à l'aéroport de Zurich était déterminante pour l'attribution des pistes de décollage et d'atterrissage, en particulier les dispositions sur les décollages avant 07:00 et après 21:00 h heures locales. En Suisse, l'heure locale (LT) en hiver est en avance d'une heure par rapport au temps universel coordonné (UTC): $LT=UTC+1h$. En outre, le règlement d'exploitation avait été modifié le 19 octobre 2001 pour les atterrissages avant 06:00 et après 22:00 LT, en vertu des mesures préférentielles du traité germano-suisse en phase de ratification en automne 2001.

Le règlement d'exploitation de l'aéroport de Zurich se présentait donc comme suit en ce qui concerne l'utilisation des pistes:

Heure/Vent	Utilisation des équipements de piste	Restrictions/ Remarques
05:30 – 06:00 heures	Atterrissage: approche standard VOR/DME piste 28 Décollage: aucun	Minima selon AIP. Si les minima n'étaient pas remplis, les pistes 16 et 14 pouvaient être utilisées pour les atterrissages.
06:00 – 07:00 heures	Atterrissage: piste 16 pour tous les avions Décollage: piste 34 pour les avions à réaction Piste 28 pour les avions à hélices	Entre 06:30 et 07:00, quatre décollages d'avions à réaction étaient autorisés de la piste 28.
07:00 – 22:00 heures	Atterrissage: piste 14 pour tous les avions	
07:00 – 21:00 heures	Décollage: piste 28 pour tous les avions	Décollages possibles de la piste 16 en cas de manque de capacités sur la piste 28.

07:00 – 08:30 heures 09:45 – 13:00 heures 18:30 – 21:00 heures	Décollage: piste 16 autorisée pour tous les avions	Possibilité d' augmenter les capacités.
Après 21:00 heures	Décollage: piste 34 pour les avions à réaction Décollage: piste 28 uniquement pour les avions à hélices	
Après 22:00 heures	Atterrissage: approche standard VOR/DME piste 28 La piste 16 pouvait être utilisée par les avions de la catégorie <i>heavy</i> et les B757.	Minima selon AIP. Si les minima n'étaient pas remplis, les pistes 16 et 14 pouvaient être utilisées pour les atterrissages.
Vent d'Ouest	Décollage: piste 32 Atterrissage: piste 28	
Bise	Décollage: piste 10 Atterrissage: piste 14	Décollages possibles de la piste 16 en cas de manque de capacités sur la piste 10.

1.10.4 Service de sauvetage et service du feu

L'aéroport de Zurich était équipé de moyens de lutte contre l'incendie Catégorie 9. Le corps des sapeurs-pompiers professionnels de l'aéroport était en état d'alerte permanente pendant les heures d'exploitation. En cas d'accident, les forces d'intervention pouvaient rester en contact permanent avec la tour de contrôle et avec la police grâce à un équipement de télécommunication approprié.

L'OACI exige l'organisation d'exercices de sauvetage tous les deux ans à l'aéroport de Zurich. Le dernier exercice, intitulé EVAC 2000, avait eu lieu le 27 octobre 2000 en présence de représentants de l'OFAC. Aucune remarque négative n'avait été faite.

Les communes environnantes disposent également de corps de pompiers communaux fondés sur le principe de milice.

Un service sanitaire d'aéroport doté de véhicules et de personnel qualifié était à disposition 24 heures sur 24 à l'aéroport de Zurich.

Au moment de l'accident, la base d'intervention la plus proche de la Garde Aérienne Suisse de Sauvetage (REGA) était au Kinderspital de Zurich.

1.11 Enregistreurs de bord

1.11.1 Enregistreur de données de vol (DFDR)

1.11.1.1 Descriptif technique

Le système d'enregistrement de bord d'Allied Signal comprend un module d'acquisition des paramètres de vol (FDAU), un enregistreur numérique de données de vol (DFDR), le tableau d'entrée des paramètres de vol (FDEP) et un accéléromètre triaxial.

Le FDAU est programmé pour interroger les données des divers systèmes et des capteurs de l'avion dans un ordre prédéfini et pour transmettre ensuite les données acquises au DFDR. L'échantillonnage est déterminée par le taux de variation de chaque paramètre. L'accélération normale, par exemple, est saisie huit fois par secondes. Toutes les données, qu'elles soient analogiques ou numériques, sont converties dans un format uniforme par le FDAU, puis enregistrées numériquement dans le DFDR selon une séquence prédéfinie. Avant qu'il soit possible d'analyser ces données, elles doivent être reconverties en unités usuelles (caps en degrés, altitudes en pieds, etc.) par un ordinateur externe. En sa qualité de concentrateur de données, le FDAU est logé dans le compartiment avionique.

Le DFDR est installé dans la queue de l'avion. Il enregistre les données mises en forme par le FDAU dans une unité de mémoire placée dans un coffret antichoc et anti-feu, capable de résister à la chute de l'aéronef. Pour qu'il soit possible de repérer le DFDR même sous l'eau, il est équipé d'une radiobalise sous-marine de détresse (ULB). L'unité de mémoire peut enregistrer 64 paramètres (*words*) sur une cinquantaine d'heures. Lorsqu'elle est pleine, les données les plus anciennes sont automatiquement écrasées par les plus récentes.

Le FDEP est situé sur la console centrale. Des lampes-témoins signalent certains dysfonctionnements du DFDR ou du FDAU. Un interrupteur permet d'enclencher le DFDR au sol pour effectuer un test de fonctionnement. Un bouton presseur permet de marquer l'enregistrement à l'occasion d'un événements particulier (*event button*).

L'accéléromètre triaxial se trouve au milieu du fuselage. Il enregistre les accélérations sur les trois axes de l'avion.

Plusieurs potentiomètres sont utilisés comme capteurs de débattement des commandes. Les «états discrets» (p. ex. train sorti) sont enregistrés au niveau de la position des interrupteurs.

Le DFDR commence à enregistrer dès qu'un des moteurs est mis en route et que le frein de parc est relâché.

Le DFDR est alimenté par le bus *ESS 115 VAC*, le FDAU et l'accéléromètre par le bus *ESS 28 VDC*.

1.11.1.2 Entretien et surveillance

Le système d'enregistrement de bord est équipé d'un système de contrôle d'intégrité qui surveille les fonctions du DFDR tant à la mise en route des moteurs que pendant les phases opérationnelles de vol.

Le DFDR a été calibré pour la dernière fois lors du contrôle de type C2, le 3 juin 2000. Les détails relatifs à ce processus figurent au ch. 1.17.1.10.

1.11.2 Enregistreur de conversations de poste de pilotage (CVR)

1.11.2.1 Descriptif technique

Les signaux audio envoyés et reçus par l'intermédiaire des appareils VHF ainsi que les conversations intercom à l'intérieur du poste de pilotage sont enregistrés automatiquement par le CVR. Par ailleurs, un microphone d'ambiance (CAM) capte les voix et les bruits dans le poste de pilotage.

L'avion HB-IXM était équipé d'un CVR à mémoire à semi-conducteurs (SSCVR) d'Allied Signal. Contrairement aux CVR classiques, les SSCVR n'enregistrent pas les données audio sous forme analogique sur une bande magnétique mais sous forme numérisée dans une mémoire électronique. La durée maximale d'enregistrement de cet appareil est de trente minutes.

L'unité de mémoire du SSCVR est placée dans un coffret antichoc et anti-feu, capable de résister à la chute de l'aéronef. Pour qu'il soit possible de repérer le SSCVR même sous l'eau, il est équipé d'une radiobalise sous-marine de détresse (ULB).

L'équipage peut effacer les enregistrements après l'atterrissage, dès qu'une porte d'accès à bord est ouverte.

Le bon fonctionnement du SSCVR peut être vérifié avant le vol grâce à une fonction test intégrée. Le test est lancé au moyen d'un bouton placé sur la boîte de commande CVR.

Le SSCVR est alimenté par le bus *ESS 115 VAC*.

Il enregistre quatre canaux audios:

- Canal 1 observateur
- Canal 2 copilote
- Canal 3 commandant
- Canal 4 CAM

Pour la synchronisation, une impulsion est enregistrée sur le canal 1 toutes les quatre secondes.

Le système d'enregistrement des conversations dans le poste de pilotage se compose de trois parties: le SSCVR qui est logé dans la queue de l'avion, la boîte de commande qui est placée sur la planche de bord latérale gauche du poste de pilotage et le CAM qui est intégré dans le tableau frontal.

1.11.2.2 Entretien

Le SSCVR ne comprenant aucune partie mobile, il ne doit pas faire l'objet de contrôles périodiques en atelier. Seules les fonctions logiques (marche/arrêt, effacement de la mémoire) et la qualité d'enregistrement sont vérifiées périodiquement à bord.

1.11.3 Lecture des enregistreurs de bord

Le DFDR et le SSCVR ont pu être extraits de l'épave de l'avion la nuit même de l'accident. Ils étaient en bon état.

1.11.3.1 Qualité des enregistrements CVR

La qualité d'écoute était bonne et les enregistrements complets.

1.11.3.2 Qualité des enregistrements DFDR

Les enregistrements du DFDR concernant les ailerons et les gouvernes de profondeur et de direction n'ont pas pu être exploités.

Les enregistrements de la position des manettes de puissance (PLA) étaient partiellement erratiques.

La qualité des autres paramètres était assez bonne et les enregistrements complets.

1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact

1.12.1 Impact

Juste avant le premier impact avec la cime des arbres, l'avion volait au cap 274° et sa vitesse sol était de 118 kt, soit environ 60 m/s. Le roulis était pratiquement nul. Suite à la tentative de remise des gaz et alors que l'avion frôlait déjà les premiers arbres, la puissance des réacteurs a augmenté et l'assiette longitudinale est passée de 2° AND à 5° ANU. Le taux de descente (ROD) s'est réduit de 1200 ft/min à pratiquement 0 ft/min. L'avion était configuré pour l'atterrissage, autrement dit train et volets sortis. Au moment de l'accident il y avait 3150 kg de carburant à bord et la masse était d'environ 32 400 kg.

La zone d'impact se situe dans une forêt, à un kilomètre environ au Nord de Bassersdorf, sur le flanc d'une colline. Le point de chute de l'épave se trouve au pied de la colline, quelque 250 m à l'Ouest de l'endroit où l'avion a touché les premiers arbres.

L'impact avec les premiers arbres a fortement ralenti l'avion, même si simultanément la puissance des moteurs était en légère augmentation. Les réservoirs de carburant ont été endommagés dès les premiers impacts et ils ont tout de suite commencé à perdre du kérosène.

Quelque 200 m plus loin, dans la trajectoire de vol, les deux réacteurs de droite et l'aile droite ont touché le sol. Suite à ce premier impact avec le sol, l'avion s'est cabré et a zigzagué entre les arbres. La cellule a fini sa course en plusieurs morceaux.

1.12.2 Champ de débris

Le champ de débris se trouvait dans une forêt peuplée d'épicéas et de hêtres de grande taille, au pied du versant où avaient eu lieu les premiers impacts avec la cime des arbres. On y a trouvé les réacteurs, les ailes et quatre morceaux du fuselage. L'ampleur de la destruction et la localisation des débris étaient compatibles avec les données enregistrées par le DFDR.

Le champ de débris était directement adjacent au premier point d'impact et sa surface était d'environ 1000 m².

La zone de l'impact et le champ de débris principal ont été subdivisés en secteurs. Une stéréophotogrammétrie du site a permis d'établir un plan de situation. L'emplacement des débris de grande taille a été relevé et les débris photographiés. Une fois ces travaux terminés, la récupération et l'entreposage de l'épave ont pu commencer.

Un ruisseau s'écoulait au Nord du champ de débris. Au moment de l'accident et pendant la récupération de l'épave, ce cours d'eau avait un débit d'environ 10 l/s. Les sapeurs-pompiers ont pris les mesures de protection des eaux qui s'imposaient.

La terre imbibée de kérosène et d'huile a été enlevée sur une grande surface et mise en sûreté.

1.13 Renseignements médicaux et pathologiques

1.13.1 Commandant

1.13.1.1 Anamnèse et résultats des examens médicaux

D'après les documents fournis, hormis quelques rhumes occasionnels, le commandant n'était jamais malade et il n'a jamais eu d'accident portant à conséquence. Les procès-verbaux des examens médicaux d'aptitude aéronautique ne mentionnent aucune maladie ou prédisposition. Le commandant mesurait 180 cm et pesait 82,5 kg.

En raison d'une presbytie naissante, il possédait des lunettes de lecture. Toutefois, aucune restriction ne lui était imposée. Il n'était notamment pas tenu de porter ses lunettes pour piloter.

1.13.1.2 Résultats des examens médico-légaux

L'expertise de l'institut de médecine légale de l'Université de Zurich, dont les conclusions sont reproduites ci-dessous dans la langue originale, ne révèle rien de particulier.

«Zusammenfassung: Der mittels DNA-Analyse sicher als (Vorname, Name, Geburtsdatum des Kommandanten) identifizierte Pilot in command starb anlässlich des Flugzeugabsturzes HB-IXM, (...) an den Folgen eines Overkills. (...) Vorbestandene Organveränderungen hatten keinen Einfluss auf die Flugtauglichkeit. (Vorname, Name) stand zum Zeitpunkt des Absturzes weder unter Einfluss von Trinkalkohol noch unter anderen, im chemisch-toxikologischen Gutachten aufgelisteten und untersuchten Wirkstoffen von Drogen oder Medikamenten»

1.13.2 Copilote

1.13.2.1 Anamnèse et résultats des examens médicaux

L'anamnèse du copilote fait état d'une opération des ligaments du genou gauche en 1998 et d'un diabète chez un parent en ligne directe.

Trois examens médicaux d'aptitude aéronautique ont été effectués par le médecin-conseil de l'OFAC. Le procès-verbal de l'un de ces examens n'est pas complet. Le copilote mesurait 179 cm et pesait 86,6 kg. Aucun document ne fait état de maladie ou de prédisposition limitant son aptitude au vol.

1.13.2.2 Résultats des examens médico-légaux

L'expertise de l'institut de médecine légale de l'Université de Zurich, dont les conclusions sont reproduites ci-dessous dans la langue originale, ne révèle rien de particulier.

«(Name, Vorname des Copiloten) wurde mittels DNA-Analyse sicher identifiziert. Der Nachweis einer geringgradigen Lungenfettembolie belegt, dass (Name, Vorname) zum Zeitpunkt des oben erwähnten Flugzeugabsturzes gelebt hat. (...), ist zu postulieren, dass der Tod von (Name, Vorname) durch ein reflektorisches Herzkreislaufversagen infolge Traumas des Brustkorbes hervorgerufen wurde. Vorbestandene Organveränderungen hatten keinen Einfluss auf die Flugtauglichkeit. (Vorname, Name) stand zum Zeitpunkt des Absturzes weder unter Einfluss von Trinkalkohol noch anderen, in chemisch-toxikologischen Gutachten aufgelisteten und untersuchten Wirkstoffen von Drogen und Medikamenten.»

1.14 Incendie

1.14.1 Examen des traces de feu constatées sur les débris de l'avion

Ni l'analyse des traces, ni aucun autre élément technique n'indiquent qu'un incendie se serait déclaré à bord de l'avion avant les premiers impacts avec la cime des arbres.

En revanche, des traces montrent que l'aile droite a été déchirée lors du premier impact avec les arbres. Des éléments structurels des réservoirs ont été trouvés sur le côté droit, à cet endroit, dans la trajectoire de vol. En outre, le lendemain de l'accident, on pouvait sentir une forte odeur de kérosène dans cette zone.

On peut donc en conclure que les réservoirs ont commencé à perdre du carburant avant l'impact avec le sol.

Le premier débris portant des traces de feu a été trouvé à une cinquantaine de mètres avant la zone d'impact avec le sol, dans un secteur où il n'y avait aucune autre trace de feu. Il s'agissait d'un morceau de l'aile droite avec un bout de volet d'intrados.

On peut donc supposer que l'incendie s'est déclaré dans la dernière phase du vol, après le premier impact avec la cime des arbres et avant l'impact avec le sol.

Le carburant pourrait s'être enflammé en raison de la température élevée des gaz à la sortie des réacteurs ou à la suite d'un court-circuit dans le système électrique.

1.14.2 Déclarations des témoins oculaires

Les déclarations des témoins oculaires ne font état d'aucun incendie à bord avant le premier impact avec les arbres.

Citation du passager du siège 16A: *«Das Flugzeug flog gegen Bäume, ein Flügel brach ab und das Flugzeug geriet in Brand. Anschliessend ging es aber sanft gegen den Boden, es rüttelte und klöpfte, es ging schräg hinunter.»*

L'avion a volé contre les arbres, une aile s'est détachée et il a pris feu. Après, il est descendu tout doucement vers le sol. Ça secouait et ça tapait et puis on a glissé en travers.

Citation du passager du siège 16F: *«Plötzlich gab es einen Schlag..... bemerkte ich auf der rechten Seite, ausserhalb des Flugzeuges einen Feuerball. Bis zu diesem Moment hatte ich geglaubt, dass alles normal verlaufe. Dann rumpelte es wie auf einer Achterbahn. Plötzlich war es still.»*

Tout d'un coup ça a tapé... ..j'ai vu une boule de feu à droite, à l'extérieur de l'avion. Jusque-là j'ai cru que tout se passait normalement. Après, on a été secoués comme sur les montagnes russes et puis soudain tout était tranquille.

Citation du passager du siège 10A: *«Dann krachte es plötzlich und vom Bug kam rasend schnell ein Feuerball durch die Kabine auf uns zu geschossen.»*

Et puis il y a eu un gros bruit et puis une boule de feu est venue sur nous à toute vitesse en traversant la cabine.

Citation du passager du siège 14B: *«.....plötzlich lautes Crashgeräusch zu hören war und die Maschine stark schüttelte. Ich schaute sofort nach vorne und sah durch die offen stehende Cockpittüre und die Cockpitscheiben, dass aussen am Flugzeug ein richtiger Funkenregen hochging. Im nächsten Moment gab es einen gewaltigen Schlag...»*

On a entendu un gros bruit de crash et l'avion s'est mis à trembler très fort. J'ai tout de suite regardé devant, la porte du cockpit était ouverte et, à travers le pare-brise, j'ai vu une pluie d'étincelles. Juste après il y a eu un choc très violent.

1.15 Questions relatives à la survie des occupants

1.15.1 Généralités

Dans un accident d'avion, les possibilités de survie dépendent de divers facteurs. Il y a d'un côté les paramètres physiques de l'accident comme la vitesse, la masse, l'assiette, la configuration, la topographie, la nature du terrain, l'énergie thermique libérée (incendie) et le type de désintégration de l'aéronef. Mais les chances de survie dépendent aussi, et en grande partie, de l'éventuelle préparation des passagers à un atterrissage forcé et des secours.

1.15.2 Chute

Juste avant le premier impact avec la cime des arbres, l'avion volait au cap 274° et sa vitesse sol était de 118 kt, soit environ 60 m/s. Le roulis était pratiquement nul. Suite à la tentative de remise des gaz et alors que l'avion frôlait déjà les premiers arbres, la puissance des réacteurs a augmenté et l'assiette longitudinale est passée de 2° AND à

5° ANU. Le taux de descente (ROD) s'est réduit de 1200 ft/min à pratiquement 0 ft/min. L'avion était configuré pour l'atterrissage, autrement dit train et volets sortis. Au moment de l'accident il y avait 3150 kg de carburant à bord et la masse était d'environ 32 400 kg.

Rien ne montre que les passagers étaient détachés dans la perspective de l'atterrissage. Ils étaient préparés à un atterrissage normal et ont été surpris par la catastrophe.

L'angle entre la trajectoire de vol et le terrain était faible, si bien qu'après être entré en contact avec les arbres, l'avion a été freiné sur une distance de 200 m environ avant de s'écraser au sol et de se casser.

1.15.3 Alarme et sauvetage

Le radar a perdu le contact avec le vol CRX 3597 à partir de 21:06:36 UTC. Le contrôleur d'aérodrome a déclenché l'alarme à 21:10:32 UTC.

Le premier policier est arrivé au restaurant Kreuzstrasse vers 21:16 UTC où un témoin lui a indiqué la direction du lieu de l'accident. Environ deux minutes plus tard une patrouille de police est arrivée à ce restaurant, d'où elle s'est rendue sur le lieu du sinistre, gyrophares allumés. Quelques survivants ont accourus vers les lumières bleues et ont été pris en charge par les policiers.

Les secours qui arrivaient étaient dirigés sur le lieu de l'accident par la police. Les sept premiers véhicules du corps des sapeurs-pompiers professionnels de l'aéroport de Zurich sont arrivés sur place avec 14 hommes à 21:22 UTC. Les secours sanitaires sont arrivés pratiquement en même temps et ont pris en charge les survivants.

Les pompiers ont déployé quatre lances d'un débit de 485 l/min chacune. Ils disposaient d'environ 30 000 l d'eau et de concentré de mousse d'extinction en suffisance.

L'incendie, alimenté par le carburant encore contenu dans les réservoirs, a pu se développer librement jusqu'à l'arrivée des pompiers. Lorsque les travaux d'extinction ont débuté, les flammes étaient blanchâtres et la combustion ne dégageait pratiquement pas de fumée, autant de signes de températures élevées. Il y a eu plusieurs déflagrations. A 21:39 UTC, c'est-à-dire 17 minutes après l'arrivée des pompiers, l'incendie était contrôlé et la plupart des foyers éteints.

Par la suite, des unités des services du feu des communes voisines de Nürensdorf, Bassersdorf et Kloten sont arrivées sur le lieu du sinistre avec au total 180 hommes. Par ailleurs, l'effectif de l'unité de pompiers professionnels de l'aéroport de Zurich a été porté à 40 hommes.

Ensuite une vaste action de recherche de survivants conduite par la police cantonale s'est poursuivie jusqu'au petit matin. Aucune action de recherche aérienne n'a pu être entreprise en raison des mauvaises conditions météorologiques.

Aucun autre survivant n'a été découvert.

1.15.4 Emetteur de localisation d'urgence (ELT)

L'émetteur de localisation d'urgence était un appareil Litton ELT-952 émettant sur les fréquences 121,5 MHz et 243 MHz. Il était logé dans la partie haute du fuselage arrière et a été détruit lors de l'accident. La prise de l'antenne avec une partie du boîtier ainsi qu'une partie du circuit imprimé ont été retrouvés.

Le 24 novembre 2001 entre 20:00 et 23:00 UTC, aucun signal de détresse n'a été capté dans un rayon de 100 NM autour de Zurich, ni par le système SARSAT/COSPAS du service de recherches et de sauvetage, ni par d'autres avions ou stations sol.

1.16 Essais et recherches

1.16.1 Notions et définitions

Les notions et définitions suivantes sont tirées du Manuel d'exploitation tous temps de l'OACI.

1.16.1.1 Point de descente à vue (VDP)

Point précis de la trajectoire d'approche finale à partir duquel, dans une procédure d'approche classique en ligne droite, l'avion peut commencer une descente normale à partir de la MDA jusqu'au point d'atterrissage, pour autant que les références visuelles requises soient établies.

1.16.1.2 Point d'approche interrompue (MAP)

Point d'une procédure d'approche aux instruments auquel ou avant lequel la procédure prescrite de remise des gaz ou d'approche interrompue doit être amorcée afin de garantir que la marge minimale de franchissement d'obstacles est respectée.

1.16.1.3 Altitude/hauteur minimale de descente (MDA/H)

Altitude ou hauteur spécifiée, dans une approche classique ou indirecte, au-dessous de laquelle une descente ne doit pas être exécutée sans la référence visuelle nécessaire.

1.16.2 Analyse de l'approche standard VOR/DME 28

1.16.2.1 Introduction

La conformité de la procédure d'approche standard VOR/DME 28 avec les normes PANS-OPS de l'OACI (Procédures pour les services de navigation aérienne – Exploitation technique des aéronefs) a été examinée avec le concours du Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la sécurité de l'aviation civile (BEA) (France).

1.16.2.2 Segment d'approche initiale

Le segment d'approche initiale est constitué par la radiale 178° du VOR/DME ZUE. L'altitude minimale de 5000 ft AMSL retenue pour ce segment ménage une marge de franchissement d'obstacle supérieure à 500 m sur l'obstacle le plus élevé (Langfuri: 963 m).

La marge minimale de franchissement d'obstacles (MOC) requise par les PANS-OPS pour le segment d'approche initiale est de 300 m.

1.16.2.3 Segment d'approche intermédiaire

Le segment d'approche intermédiaire est constitué par la radiale 095° du VOR/DME KLO. Il est aligné avec le segment d'approche finale. Les PANS-OPS stipulent que la longueur de ce segment doit être d'au moins 7 NM. Dans la procédure d'approche standard VOR/DME 28, le segment d'approche intermédiaire mesure 3,5 NM. Cette divergence avait été identifiée par Swisscontrol lors de la vérification périodique de cette procédure menée le 23 novembre 2000 et signalée à l'OFAC par skyguide.

Le segment d'approche intermédiaire sert à établir la vitesse et la configuration de l'aéronef en vue de l'approche finale. Pour cette raison, les PANS-OPS stipulent que la pente devrait y être nulle. Si aucune autre solution n'est possible, la norme prévoit que la pente maximale admissible devrait être de 5 % et qu'un segment horizontal d'une longueur minimale de 1,5 NM devrait être prévu avant l'approche finale.

La procédure d'approche standard VOR/DME 28 requiert une perte d'altitude de 1000 ft pour le segment d'approche intermédiaire. La faible longueur du segment ne ménage aux aéronefs adoptant une pente de descente de 5 % dans cette phase qu'un segment horizontal d'environ 0,2 NM avant le début du segment d'approche finale.

1.16.2.4 Segment d'approche finale

Le segment d'approche finale est également constitué par la radiale 095° (*radial inbound 275°*) du VOR/DME KLO. Il débute au repère d'approche finale (FAF) matérialisé par la distance 8 NM du DME KLO et se termine au point d'approche interrompue (MAP) matérialisé par la distance 2 NM de ce même DME.

Un repère de descente avec une hauteur limite de franchissement d'obstacles de 3360 ft QNH, matérialisé par la distance 6 NM du VOR/DME KLO, garantit l'altitude/hauteur de franchissement d'obstacles (OCA/OCH).

Les PANS-OPS précisent que «l'approche finale peut être exécutée vers une piste, pour un atterrissage en ligne droite, ou vers un aérodrome pour une approche indirecte».

Du fait de la position du VOR KLO au Sud de la piste 28, le segment d'approche finale présente un désaxement de 1° par rapport à l'axe de piste et se situe à moins de 150 m du prolongement de l'axe de piste à un point situé à une distance de 1400 m en amont du seuil de la piste. L'orientation de l'approche finale respecte donc les critères d'alignement des PANS-OPS pour une approche directe.

Les PANS-OPS indiquent que, dans le cas d'une approche classique en ligne droite, la pente de descente sera calculée en utilisant, d'une part, la distance entre le FAF et le seuil de piste et, d'autre part, la distance verticale comprise entre l'altitude ou la hauteur au-dessus du FAF et la hauteur de 15 m (50 ft) au-dessus du seuil. L'application de cette méthode de calcul à la procédure standard VOR/DME 28 conduirait à retenir une pente de descente de 6,0 % ou 3,4°.

Si une hauteur limite de franchissement d'obstacles supplémentaire est imposée dans le segment d'approche finale, comme c'est le cas du repère situé à 6 NM dans la procédure d'approche standard VOR/DME 28, les PANS-OPS stipulent que la méthode décrite ci-dessus doit être appliquée en se référant à cette valeur. Par rapport à ce point, la pente de descente est de 6,3 % ou 3,6°.

La pente de 5,3 % ou 3,03° publiée pour la procédure d'approche standard VOR/DME 28 correspond certes à la pente entre le FAF et la hauteur limite de franchissement d'obstacles à 6 NM, mais cela n'est pas conforme aux PANS-OPS.

On notera encore que la pente de 5,3 %, ou 3,03°, retenue pour la publication de cette procédure, génère un plan de descente en finale qui intercepte le plan de l'indicateur de trajectoire d'approche de précision (PAPI) à environ 1500 ft AAL et 3,5 NM du seuil de la piste 28 (cf. annexe 11, point P-1) soit largement au-dessus de l'OCH (MDA) publiée et à une distance du seuil nettement supérieure aux minima de visibilité associés à une approche directe. La carte d'approche indique que l'on doit procéder suivant le plan du PAPI lorsqu'on a obtenu les références visuelles. Au cas où l'on suivrait la pente de descente nominale de 5,3 % en n'obtenant les références visuelles qu'à l'OCH (MDA), on se retrouverait à environ 100 ft au-dessus du plan du PAPI (cf. annexe 11, point P-2). Pour rattraper le plan du PAPI il faudrait prendre une pente plus raide que celle du calage du PAPI (6,5 % ou 3,7°). Une telle manœuvre d'interception du plan du PAPI «par au-dessus» risquerait de se traduire par une approche non stabilisée à basse hauteur. Ce phénomène serait encore aggravé si l'aéronef suivait un plan plus faible que le plan nominal ou poursuivait par paliers à l'OCH (MDA) jusqu'au voisinage du MAP pour acquérir les références visuelles.

Par ailleurs, la vue en plan de la carte d'approche de la procédure standard VOR/DME 28 donne l'impression que le segment de vol aux instruments intercepte le plan du PAPI à l'OCH, alors qu'en réalité ce n'est pas le cas.

A cet égard, on se référera aux enregistrements radar des vols CRX 3891 et CRX 3797 du 24 novembre 2001 (cf. annexe 4).

1.16.2.5 Segment d'approche interrompue

Le segment d'approche interrompue de la procédure standard VOR/DME 28 est constitué par le suivi de la radiale 255° du VOR/DME KLO puis de la radiale 012° du VOR/DME WIL vers le point d'attente EKRIT. L'analyse de cette procédure n'a rien révélé de particulier. Toutefois, compte tenu de l'angle d'intersection de 117° entre ces deux guidages, un point de mise en virage devrait être identifié.

1.16.2.6 Carte d'approche selon AIP Suisse

La carte publiée dans l'AIP Suisse sous le numéro LSZH AD 2.24.10.7-1 pour la procédure d'approche standard VOR/DME 28 diverge des recommandations et normes de l'OACI sur cinq autres points.

1.16.2.7 Conclusion

«L'analyse ci-dessus amène à considérer que la procédure VOR/DME Rwy 28 de l'aérodrome de Zurich en vigueur le 24 novembre 2001 présentait, par rapport aux PANS-OPS, certains écarts non prévus par les règlements et usages nationaux en la matière (Swiss procedures design manual).»

La Suisse n'a pas communiqué à l'OACI que les règlements et usages nationaux divergeaient des dispositions de l'annexe 4 sur les cartes aéronautiques.

1.16.3 Vols de comparaison en simulateur

1.16.3.1 Généralités

Pour pouvoir analyser les procédures de travail de l'équipage d'un Avro 146-RJ 85/100 pendant une approche standard VOR/DME 28, ainsi que la configuration des instruments et leur représentation sur les EFIS, plusieurs vols de comparaison et vols d'essai ont été effectués sur divers simulateurs. Ils étaient fondés sur les paramètres suivants:

- Enregistrement et transcription du CVR
- Enregistrements du DFDR
- Tracé radar du vol
- Enregistrement et transcription des conversations radio
- Photographies des planches de bord du poste de pilotage montrant la position des interrupteurs après l'accident
- Documentation relative aux procédures d'approche en vigueur lors de l'accident
- Procédures opérationnelles en vigueur chez Crossair lors de l'accident

Diverses approches ont été effectuées d'après les procédures opérationnelles de Crossair en vigueur lors de l'accident et plusieurs vols de comparaison et d'essai ont été basés sur les paramètres du vol CRX 3597. Les points suivants ont été testés:

- Approche avec pression sur le bouton *ALT HLD* au moment d'atteindre la MDA
- Approche avec remise des gaz à 500 ft RA
- Approche avec remise des gaz à 300 ft RA
- Approche pour l'analyse du fonctionnement du GPWS
- Analyse de la configuration des instruments et de leur représentation sur le PFD et sur le ND

La visibilité associée aux conditions météorologiques et de luminosité ainsi que l'applicabilité des minima météo pour l'approche standard VOR/DME 28 ont été étudiées dans un simulateur doté des possibilités de visualisation correspondantes. L'analyse des conditions de visibilité en vol a été menée en maintenant la MDA le long de la radiale 095° du VOR/DME KLO.

Un point de descente à vue (VDP) pour l'approche a été calculé sur la base d'une pente de descente de 3,7° (PAPI) et d'une MDA de 2390 ft QNH, ce qui donne un VDP à 2,4 NM (4,4 km) du seuil de la piste 28. Le VDP du VOR/DME KLO se situe à une distance de 3,3 NM (6,1 km). Une sélection de photographies figure à l'annexe 5.

1.16.3.2 Résultats

Les tests sur simulateurs ont conduit aux constatations suivantes:

- La charge de travail, pendant une approche standard VOR/DME 28, est conforme à la charge usuelle pour une approche classique (NPA). Par rapport à une approche de précision, l'équipage doit en plus prendre en charge la navigation verticale.
- Les procédures opérationnelles NPA de Crossair en vigueur au moment de l'accident étaient conformes aux exigences de l'OFAC et aux Codes communs de l'aviation JAR-OPS 1.

- Lorsqu'on appuie sur le bouton *ALT HLD* 100 ft au-dessus de la MDA, c'est-à-dire à 2490 ft QNH, l'avion descend d'abord à 2360 ft QNH, remonte ensuite légèrement et se stabilise enfin à une altitude de 2410 ft QNH.
- Lorsqu'on appuie sur le bouton *ALT HLD* à la MDA, c'est-à-dire à 2390 ft QNH, l'avion descend d'abord à 2260 ft QNH, remonte ensuite légèrement et se stabilise enfin à une altitude de 2310 ft QNH.
- Lors de la tentative de remise des gaz initiée à 500 ft RA, on a pu constater que la voix synthétique annonçant «*five hundred*» (cinq cents pieds) a retenti alors que la RA effective était de 490 ft. L'avion a recommencé à monter à 420 ft RA. Les moteurs ont fourni la puissance maximale 5,5 secondes après l'activation du bouton *TOGA*. Toute la procédure s'est déroulée avec le pilote automatique et l'automannette enclenchés.
- Lors de la tentative de remise des gaz initiée à 300 ft RA, on a pu constater que la voix synthétique annonçant «*minimums*» a retenti alors que la RA effective était de 290 ft. Le pilote automatique a été désactivé à 280 ft RA et la procédure de remise des gaz effectuée en mode manuel. L'avion a recommencé à monter à 270 ft RA.
- L'avion HB-IXM était équipé d'un système GPWS (cf. ch. 1.6.10). Lorsque l'avion est configuré pour l'atterrissage, en cas de rapprochement du sol à un taux de descente (ROD) trop rapide, l'alarme du mode 1 (*excessive descent rate*) se déclenche. Lors d'une approche avec une ROD de 1200 ft/min, l'alarme acoustique «*sink rate*» a retenti en même temps que l'alarme optique «*pull up*» s'affichait, à une altitude radar de 125 ft RA. La remise des gaz initiée immédiatement après, en désactivant le pilote automatique, a réussi et l'avion a atteint la hauteur minimale de 65 ft RA. Les avertissements sonores et optiques étaient conformes aux indications du constructeur (cf. annexe 3). Lors du vol CRX 3597, les avertissements ne se sont pas manifestés parce que l'appareil était toujours juste en deçà des restrictions du mode 1, resp. du mode 2B.
- Avec une visibilité au sol de 5000 m, le dispositif lumineux d'approche était visible à une distance de 3,3 NM (6,1 km) du VOR/DME KLO. On pouvait distinguer le balisage de piste à partir de 2,8 NM (5,2 km).
- Avec une visibilité au sol de 3500 m, le dispositif lumineux d'approche était visible à une distance de 3,0 NM (5,6 km) du VOR/DME KLO. On pouvait distinguer les feux de piste à partir de 2,5 NM (4,6 km).
- Avec une visibilité au sol de 2000 m, le dispositif lumineux d'approche était visible à une distance de 2,1 NM (3,9 km) du VOR/DME KLO. On pouvait distinguer le balisage de piste à partir de 1,8 NM (3,3 km).
- Avec une visibilité au sol inférieure à 3500 m, on n'apercevait ni le dispositif lumineux d'approche, ni le balisage de piste au VDP.

1.17 Renseignements sur les organismes et la gestion

1.17.1 Entreprise de transport aérien Crossair

1.17.1.1 Généralités

L'entreprise de transport aérien Crossair a été fondée en 1975. Pendant les premières années, elle effectuait essentiellement des vols affrétés avec des avions d'affaires bimoteurs. En 1979, elle a acheté des avions de type SA 227 TC Metroliner II et s'est lancée dans le trafic de lignes régulier. Au cours des deux décennies qui ont suivi, Crossair n'a cessé de se développer pour devenir une grande compagnie régionale. Au

moment de l'accident, elle employait environ 3500 personnes et sa flotte de Saab 2000, Embraer 145, Avro 146-RJ 85/100 et Boeing MD 83 comprenait plus de quatre-vingts avions.

1.17.1.2 Structure du département Flight Operations

Suite à l'introduction de l'avion du type British Aerospace BAe 146-200 «Jumbolino» en 1990, des flottes séparées ont été créées dans le domaine de l'exploitation aérienne (département Flight Operations). Les chefs de flotte avaient la compétence pour les aspects procédures et techniques de leur flotte et disposaient, entre autres, de leur propre instructeur de vol en chef et de leur propre pilote technique.

Il y avait, au même niveau hiérarchique que les chefs de flotte, un chef pilote chargé principalement des questions personnelles et, surtout, de la sélection des pilotes.

La surveillance et l'évaluation des performances des pilotes étaient l'affaire des chefs de flotte. Pour les cours de transition, le chef pilote coordonnait les besoins en personnel et sélectionnait les pilotes en accord avec les chefs de flotte. Il existait des listes d'ancienneté, mais elles n'étaient pas toujours prises en considération.

Depuis 1998, Crossair était gérée selon les Codes communs de l'aviation JAR-OPS 1 et disposait de ce fait de responsables (*postholders* selon la terminologie JAR) pour les domaines de la comptabilité (*accountable manager*), de l'exploitation aérienne (*flight operations*), de la maintenance (*maintenance*), de la formation (*crew training*) et de l'exploitation au sol (*ground operations*). L'entreprise était en outre dotée d'un système de management de la qualité.

Le chef du département Flight Operations (*vice president*) était directement subordonné au président et CEO de l'entreprise qui revêtait également la fonction d'*accountable manager*. Jusqu'en 2000, ce dernier disposait dans son état-major, entre autres, du *flight safety officer* et du comité de sélection des pilotes (*selection board*).

Le chef du département Flight Operations dirigeait les secteurs *fleet and cockpit personnel*, *flight operations support*, *resource planning*, *pilots' administration* et *flight operations engineering*.

Avec le passage à une structure conforme au JAR-OPS 1, la fonction de chef pilote a été transformée en chef du secteur *fleet and cockpit personnel*. L'ancien chef pilote fut alors nommé chef de la flotte Avro RJ 85/100. A la différence d'avant 1998, dans la nouvelle organisation les chefs de flotte avaient également la compétence pour tous les aspects liés à la gestion des ressources humaines de leurs équipages, exception faite de la sélection des pilotes. Pour les cours de transition, il incombait désormais au chef du secteur *fleet and cockpit personnel* de coordonner les besoins en personnels, mais le processus de sélection se déroulait à l'échelon du chef de flotte. Avant l'accident, les directives de l'entreprise (*fleet manual*) concernant la qualification pour chaque type d'avion ne contenaient aucune disposition sur la manière de sélectionner les candidats pour les cours de transition. Aucune mention ne figurait au sujet des mesures à prendre en cas de problèmes de performances ou d'échec du pilote lors d'un cours de transition.

Le secteur *fleet and cockpit personnel* comprenait les quatre flottes d'avions de la compagnie (Saab 2000, Embraer 135/145, Avro RJ 85/100 et MD 80) et il était dirigé par un *vice president*. Chaque flotte était dirigée par un chef de flotte et disposait, en plus de l'appareil administratif usuel, d'un instructeur de vol en chef et d'un pilote

technique. Le service *pilots' recruitment*, en charge de la sélection des pilotes, était également intégré dans ce secteur.

Le secteur *flight operations support* comprenait les services suivants: *performance and flight planning, safety, security and emergency training, base operations, policy and standards, aircraft and accident response organisation*. En automne 2000, le *flight safety officer* a également été intégré à ce secteur.

Le secteur *resource planning* était subdivisé en trois domaines: *longterm and strategic planning, training planning* et *rostering*.

Le secteur *pilots' administration* se composait des services *licences, permits, documentation* et *IT-coordination*.

1.17.1.3 Service de la sécurité de vol

Le service de la sécurité de vol était d'abord subordonné au chef du département Flight Operations, en tant que service d'état-major. En automne 2000, il a été subordonné au secteur *flight operations support*. Ce service se composait essentiellement du *flight safety officer*, qui exerçait cette fonction à 50 % et était employé comme membre d'équipage le reste du temps. Il disposait d'une assistante à 30 %. Ainsi, au moment de l'accident, le service de la sécurité de vol représentait un équivalent-poste de 80 %. Le *flight safety officer* n'avait aucune compétence financière.

Avant que le *flight safety officer* ne prenne ses fonctions, en septembre 2000, cette tâche était assumée par le chef du secteur *flight operations support* qui était aussi le suppléant du chef du département *flight operations* et exerçait en outre comme commandant dans le trafic de lignes.

Un *flight safety board* (conseil de la sécurité de vol) se réunissait quatre fois par an sous la conduite du *flight safety officer*. Le rôle de ce groupe de travail fondé en 1999 était de discuter des questions et des problèmes liés à la sécurité de vol.

Les tâches du *flight safety officer* étaient définies dans le manuel d'exploitation, partie A (OM A) de Crossair. Pour l'essentiel, il lui incombait de surveiller la sécurité de vol et l'exploitation aérienne. Le lien entre le *flight safety officer*, d'une part, et l'exploitation aérienne et les quatre flottes, d'autre part, était assuré par le supérieur direct du *flight safety officer*, le chef du secteur *flight operations support*.

En plus de ses ressources humaines, le service de la sécurité de vol disposait depuis le début de 2001 d'un système informatique de saisie des incidents. Jusqu'à l'été 2001, Crossair avait un système de rapports d'événements, mais pas de système d'annonce confidentiel. En juin 2001, le *flight safety officer* avait créé la possibilité, pour les membres d'équipage, de faire des rapports confidentiels sur la sécurité de vol. Jusqu'à l'accident du vol CRX 3597, le service de la sécurité de vol a reçu, en moyenne, deux annonces confidentielles par mois concernant des problèmes de sécurité de vol. En 1997, Crossair avait créé deux publications internes informant les équipages sur les problèmes de sécurité de vol: *flight safety news* et *flight safety flash*.

En cas d'incident, le *flight safety officer* avait la faculté de mener des enquêtes internes en faisant appel à d'autres spécialistes et de soumettre des propositions d'amélioration de la sécurité de vol à son supérieur. Entre le moment où il a pris ses fonctions, en

automne 2000, et l'accident, il n'a mené aucune enquête interne. Pendant la même période, il a fait quatre recommandations au chef du secteur *flight operations support*, mais aucune ne concernait des aspects liés l'accident du vol CRX 3597.

Le service de la sécurité de vol n'a pas été consulté lors de l'introduction de nouveaux types d'avions. Aucun échange n'avait lieu entre les formateurs responsables des cours de transition et le *flight safety officer*.

Le service de la sécurité de vol n'avait pas connaissance de membres d'équipage dont les performances étaient insuffisantes ou se seraient dégradées. Il n'était pas impliqué lorsque les problèmes de sécurité de vol étaient dus à des violations de la réglementation en vigueur. Les pilotes concernés étaient suivis par les chefs de flotte.

En résumé, le *flight safety officer* a décrit l'activité du service de la sécurité de vol comme réactive. Selon ses propres affirmations, il s'efforçait d'introduire de nouvelles méthodes pour agir en amont.

1.17.1.4 Culture aéronautique

Plusieurs témoins ayant travaillé comme membres d'équipage sur Saab 340, Saab 2000, MD 80, Embraer 145 et Avro 146-RJ 85/100 ont été interrogés. L'analyse de ces témoignages débouche sur les constats suivants:

- On note de grandes différences dans l'exploitation et la culture aéronautique des quatre flottes. La flotte MD 80, par exemple, s'alignait sur les procédures appliquées chez Balair et Swissair. En revanche, d'après plusieurs témoignages, l'exploitation des Saab 340, qui était l'avion de base pour de nombreux pilotes de Crossair, était partiellement moins conforme à la réglementation.
- Dans le cadre de l'enquête, on a pu relever quarante incidents survenus entre 1996 et 2001 dans lesquels les équipages avaient développé leurs propres procédures ou n'avaient pas respecté la procédure prescrite. La plupart de ces incidents avaient été cachés à l'entreprise de transport aérien, alors qu'ils avaient trait à la sécurité.
- Le fossé hiérarchique entre commandants et copilotes a souvent été qualifié d'important. Les copilotes remarquaient qu'il ne servait pas à grand-chose d'attirer l'attention des commandants sur des erreurs ou des irrégularités. Le personnel s'expliquait cette situation essentiellement par la grande différence d'expérience entre les commandants, plus âgés, et les jeunes copilotes.

1.17.1.5 Procédure de sélection des copilotes

1.17.1.5.1 Exigences des Codes communs de l'aviation (JAR)

Selon les JAR, l'entreprise de transport aérien doit veiller à recruter des membres d'équipage qualifiés. Les exigences des *Joint Aviation Requirements flight crew licensing 3, subpart A, B, et C, section 2* ont été utilisées pour l'analyse des procédures de sélection appliquées par Crossair. Ces exigences régissent l'établissement des certificats d'aptitude par les autorités de surveillance et représentent ainsi un critère d'exigences minimales pour les membres d'équipage. Les parties significatives pour cet accident extraites du JAR-FCL 3 disent ceci:

«The performance of aviators requires certain cognitive, psychomotor and interpersonal capabilities in order to perform operational tasks in a reliable way especially during high workload and stress. (...) A reduction in pilot capability is never

easily detected or demonstrated. The majority of accidents in aviation is caused by human error not by physical incapacitation or psychomotor problems or accelerated ageing, to name a few. Such personal conditions are not usually classified by psychiatric and neurological standards as disqualifying criteria. They have to be assessed by a psychological evaluation. (...) Only approved psychologists or organisations which employ approved psychologists are allowed to perform the psychological evaluation.»

Les JAR-FCL 3 prescrivent également que la procédure de sélection doit tenir compte non seulement des aptitudes professionnelles (*operational aptitudes*) mais aussi de la situation personnelle (*biography*) et de certains aspects de la personnalité (*personality factors*).

- *Operational aptitudes: logical reasoning, mental arithmetic, memory function, attention, perception, spatial comprehension, psychomotor function, multiple task abilities*
- *Biography: general life history, family, education, socio-economic status, training progress and occupational situation, critical behavioural incidents, delinquency*
- *Personality factors: motivation and work orientation, decision making, social capability, stress coping*

Concernant la méthode de sélection des membres d'équipage, les JAR-FCL 3 précisent ce qui suit.

«Because of the diversity of psychological methods (...) available for the assessment of the different criteria mentioned on the criteria list above, no tests, questionnaires or other methods have been recommended for the assessment of these criteria. However, in the following some general guidelines are described for guidance and finding adequate assessment methods:

1. Whenever possible standardised psychological tests and questionnaires which fulfill at least the following general requirements should be used for criteria assessment

Reliability: *The stability (test-retest-reliability) or at least the internal consistency of tests/questionnaires has been proved (whenever possible with regard to an application in personnel selection).*

Construct validity: *The extent to which a test/questionnaire measures the construct (aptitude, personality-trait) it is intended to measure has been proved (whenever possible with regard to an application in personnel selection).*

The test or questionnaire should clearly differentiate between the applications (ideally normal distribution of test scores) even in a highly pre-selected group like, e.g. holders of pilot licence.

Norms: *In order to evaluate the test/questionnaire results of individual subjects, standard norms have to be available for the test/questionnaire. These norms should be derived from the distribution of test results in samples which are more similar in important characteristics (e.g. age, education, level etc.) to the group of applicants under discussion. For reasons of standardisation it is recommended to use STANINE scores as norms for all tests or questionnaire.*

2. In case that observer ratings are used for criteria assessment, it should be ensured that the observers are very well trained and that the inter-rater-reliability is high, i.e. that different observers agree about their evaluation of a certain behaviour shown by an applicant. As a rule a high inter-rater-reliability can be achieved by using clearly defined rating scales and/or classification systems.

3. The whole system used for the criteria assessment should be characterised by redundancy with regard to the sources of information used to assess the aptitudes/personality traits mentioned in the criteria list above. Whenever possible each of these aptitudes/personality traits should be assessed/tested on the basis of at least two independent sources of information (tests, questionnaires, observer ratings,

interview-data, biographical data). This kind of cross validation is recommended in order to improve the overall reliability of the whole test system.

4. Decision rules: The decision about the classification of an applicant or holder of a Class 1 or Class 2 medical certificates should be based on the following general rules. However, in the case of clear deficiencies in operational aptitudes of already experienced pilots, it has to be considered whether or not personality characteristics can compensate for the resulting risks.

Operational aptitudes: *In order to assess as non-critical an examinee should not have a clear deficiency in any operational aptitude as compared with the norm group.*

Personality factors: *An examinee must be evaluated by a psychologist as non-critical with regard to the main personality factors: motivation and work orientation, social capabilities and stress coping*

This usually implies that the examinee is not assessed as an extreme case with regard to the normal range of variation in the contributing factors.»

1.17.1.5.2 Déroulement de la procédure chez Crossair

La procédure de sélection des copilotes de Crossair comprenait un processus d'acquisition d'informations et un processus de décision. Le premier processus – l'examen à proprement parler des candidats – incombait au service *pilots' recruitment*, qui faisait partie du secteur *fleet and cockpit personnel*. Ce service comprenait une psychologue, un expert aéronautique et une douzaine de pilotes expérimentés, sans formation en psychologie, exerçant à temps partiel la fonction d'agent de recrutement.

Dans un premier temps, un agent de recrutement avait un entretien d'environ une heure et demie avec les candidats. Ensuite, deux par deux, les candidats subissaient un examen en simulateur de vol. Sur la base des résultats de ces deux tests, l'expert aéronautique et la psychologue décidaient du maintien du candidat dans la course ou de son élimination du processus. Un test sur les connaissances aéronautiques complétait cette première partie.

Dans un deuxième temps, les candidats retenus faisaient l'objet d'évaluations individuelles et de groupe par les agents de recrutement. Dans cette phase on faisait appel à un psychologue externe qui, à l'aide de tests psychodiagnostiques, établissait un profil de la personnalité des candidats. Ce profil, remis sous une forme rédigée, distinguait les aspects «compétences sociales» et «compétences entrepreneuriales». Sur la base de leurs observations, les agents de recrutement remplissaient la grille ci-dessous qui portait sur les mêmes points. Dans ce cas, les capacités étaient cependant évaluées de manière succincte, par oui ou par non.

Citation:

Soziale Kompetenz		
<i>Aktiver Holer</i>	<i>Beschafft sich Informationen, Material, etc. selbständig; fragt nach, wenn ihm etwas unklar ist, geht auf seine Umgebung zu</i>	<i>Ja/Nein</i>
<i>Emotionale Verträglichkeit</i>	<i>Fühlt sich wohl in seiner Umgebung, bleibt sich selber, verstellt sich nicht, ist locker etc.</i>	<i>Ja/Nein</i>
<i>Individualist</i>	<i>Kann sich abgrenzen, macht nicht einfach mit, bleibt sich selbst, verschafft sich Profil durch eigenen Meinung etc.</i>	<i>Ja/Nein</i>
<i>Humor</i>	<i>Kann über sich selbst und über die Situationen adäquat lachen, ist locker etc.</i>	<i>Ja/Nein</i>
Unternehmerische Kompetenz		
<i>Umgang mit Rahmenbedingungen</i>	<i>Kann mit raschen, unverhofften Situationsänderungen gut umgehen, kann rasch umstellen und sich anpassen (psychisch und physisch) etc.</i>	<i>Ja/Nein</i>
<i>Verkäufer</i>	<i>Steht zu seiner Meinung, Idee, etc. und kann diese kommunizieren und damit überzeugen</i>	<i>Ja/Nein</i>
<i>Grosszügigkeit</i>	<i>Kann Meinung anderer Menschen stehen lassen, nimmt Gedanken anderer auf, auch wenn sie ihm nicht passen, etc.</i>	<i>Ja/Nein</i>
<i>Entscheidet pro Firma</i>	<i>Kann seine eigenen Bedürfnisse und Wünsche vorübergehend zugunsten der Firma oder zugunsten von etwas Übergeordnetem zurückstellen</i>	<i>Ja/Nein</i>
<i>Lösen von Problemen</i>	<i>Kann Probleme analysieren, Lösungsvarianten abwägen und Entscheidungsgrundlagen erarbeiten, kann strukturiert vorgehen, etc.</i>	<i>Ja/Nein</i>

Fin de citation.

A la fin, tous les résultats étaient regroupés et transmis au comité de sélection, lequel décidait d'engager ou non les candidats examinés. L'enquête n'a pu établir les critères formels sur lesquels était basée cette décision. Généralement, le comité de sélection se composait de plusieurs membres de la direction. Les spécialistes du service *pilots' recruitment* y participaient également à titre consultatif.

A la fin de la procédure de sélection, le dossier était remis au secteur *pilots' administration*. A l'exception de quelques cas particuliers, il n'y avait aucune collaboration avec les flottes ou avec les responsables de la formation en gestion des ressources de l'équipage (CRM) pour obtenir un second avis ou dans l'optique d'un contrôle de qualité.

1.17.1.6 Gestion des ressources de l'équipage (CRM)

La formation et le perfectionnement en matière de CRM sont définis dans les JAR-OPS.

Depuis l'introduction des JAR-FCL, le 1^{er} juillet 1999, la formation de base des aspirants pilotes comporte l'étude des questions suivantes dans le domaine «performances et limites humaines»:

- Comment fonctionne l'être humain et pourquoi?
- Comment fonctionne l'être humain en équipe et pourquoi?

Ces sujets sont traités dans le cadre de 70 à 100 heures d'enseignement sur la médecine et la psychologie aéronautiques. Le copilote du vol CRX 3597 avait suivi cette formation.

Lorsque le commandant a suivi sa formation de base, les formations CRM sous leurs formes actuelles n'existaient pas encore. C'est la raison pour laquelle il ne possédait pas cet ensemble de connaissances. La compagnie aérienne a indiqué que le commandant aurait du acquérir ces dernières dans le cadre des modules de formation annuels.

Le perfectionnement en CRM comprenait les modules décrits ci-après.

Initial operator CRM: première vérification de l'applicabilité des notions théoriques acquises, sur la base des expériences faites pendant la première année de service en tant que copilote autonome. Ce module fait l'objet d'un cours de deux jours à la fin de la première année de service.

Conversion CRM: introduction aux particularités propres à un nouveau type d'avion ou à un nouvel employeur dans les domaines de la technologie, de l'ergonomie, de l'engagement et des procédures.

Command CRM: étude des aptitudes spécifiques attendues d'un futur commandant de bord en termes de facteurs humains (conduite, motivation des autres collaborateurs, etc.).

Recurrent CRM: analyse, à intervalles réguliers, de divers thèmes liés aux grands domaines des facteurs humains, approfondissement de la méthodologie et périodicité. Pour le personnel navigant technique, cette mise à jour est incluse dans les cours suivants:

- *Recurrent simulator training*
- *Emergency and survival equipment training (ESET)*
- *Modular CRM (human aspects development)*

Chez Crossair, le module *initial operator CRM* faisait l'objet d'un cours de deux à trois jours pendant la phase d'introduction des nouveaux employés (*company introduction*). Les sujets abordés étaient ceux prescrits par les JAR-FCL et étaient présentés sous forme d'exposé. Il n'existe pas de programme de formation.

De 1999 à 2001, le module *recurrent CRM* avait été intégré dans un cours de remise à niveau sur les procédures d'urgence (*emergency procedure refresher course*) d'une journée. Trois à quatre heures étaient réservées pour le domaine CRM. Les sujets abordés étaient ceux prescrits par les JAR-FCL.

1.17.1.7 Cours de transition sur MD 80

En 1995, Crossair a commencé à exploiter douze avions de type McDonnell Douglas MD 82 et MD 83 qui avaient précédemment appartenu aux compagnies Balair/CTA, Swissair et Aero Lloyd. En acquérant ces avions, Crossair avait aussi repris quelques instructeurs et quelques pilotes des compagnies suisses mentionnées. Le chef de la nouvelle flotte de MD 80 était issu de Crossair. En revanche, l'instructeur de vol en chef était un instructeur expérimenté qui avait déjà exercé cette fonction chez Swissair et chez Balair/CTA. Le corps des instructeurs de vol responsables des cours de transition pour les membres d'équipage Crossair se composait de collaborateurs de Crossair et d'anciens employés de Balair/CTA et de Swissair.

Pour les MD 80, Crossair avait adopté la même structure de cours de transition que les anciens exploitants et les mêmes procédures d'exploitation que Swissair. Elle utilisait aussi les mêmes instruments didactiques et avait opté pour le même nombre de leçons sur simulateur.

En 1996, 64 pilotes Crossair avaient pris part à un cours de transition sur MD 80. Huit candidats, dont le commandant du vol CRX 3597, n'avaient pas pu fournir les prestations demandées et avaient échoué.

1.17.1.8 Règlement concernant le temps de service d'équipage et les activités professionnelles accessoires

Au moment de l'accident, les activités annexes des membres d'équipage étaient définies par le contrat général de travail (GAV) que l'entreprise avait conclu en 2000 avec l'association du personnel de cockpit de Crossair (CCP).

Les clauses suivantes du contrat susmentionné concernent cette enquête:

- Art. 21.5: *„Die Annahme öffentlicher Ämter ist des Crossair zu melden. Nebenbeschäftigung mit Erwerbszweck dürfen die Interessen der Crossair nicht beeinträchtigen und unterstehen der Meldepflicht“.*
- Art. 21.6: *„Die nachstehend genannten ausserdienstlichen Tätigkeiten bedürfen der schriftlichen Einwilligung von Crossair“:*

Linienflüge, Rundflüge, Charter- und Taxiflüge bei einem anderen Flugbetriebsunternehmen.

Fluglehrerdienst im Rahmen einer Flugschule oder einer Flugzeug- Verkaufsorganisation.

Einsätze für Rettungsflurwacht.

En outre, il est spécifié dans les *flight duty regulations*, manuel d'exploitation, partie A, chap. 7, art. 7.1.1 notent que toutes les activités de vol sont concernées par ce règlement.

Aucune indication ne mentionne que le commandant ait demandé une autorisation écrite à cet effet ou reçu un tel document de Crossair. D'après les déclarations des cadres de la compagnie aérienne, l'activité d'instructeur du commandant était connue. Une coordination des périodes de service de vol ainsi qu'un contrôle des périodes de travail et de repos par l'entreprise n'a pas eu lieu.

1.17.1.9 Prescriptions concernant les références visuelles pour les approches classiques

Les règles d'exploitation aérienne sont définies dans le manuel d'exploitation OM A de Crossair. Au moment de l'accident, les prescriptions suivantes, entre autres, étaient applicables:

«Chapter 8A, Operating Procedures**8.1.3.2.2 Landing at Aerodromes with published Non-Precision Approach Procedures**

No Pilot may continue an approach below MDA (MDH) unless one of the following visual references for the intended runway is distinctly visible to and identifiable by the pilot:

- *Elements of the Approach Lights System*
- *Threshold*
- *Threshold marking*
- *Threshold lights*
- *Threshold identification lights*
- *Visual glide slope indicator*
- *Touchdown zone or touchdown zone markings*
- *Touchdown zone lights*
- *Runway edge lights*
- *Other visual reference as published in the OM C (Route Manual).*

8.4.7.4.10 Pilot not flying

The pilot not flying (PNF) shall continuously monitor the approach, give every possible help and keep the basic and other flight/navigation instruments under careful check, including also momentary crosschecks of most important indications on both pilots instrument panel. He shall operate and set the aeroplane equipment in accordance with CROSSAIR procedures and must call the PF attention to:

- *Significant deviations from prescribed regulations and procedures*
- *Abnormal deviations from the approach flight path, prescribed aeroplane configurations, speeds, altitude and rate of descent*
- *Obvious deviations on the instruments*
- *DH, DA or MDA etc. by calling out "minimum"*
- *Approach lights, runway in sight*
- *If G/A is based on timing, when the stipulated time has elapsed*

8.4.7.4.15.2 Co-operation on Changeover to Visual Flying

When ground contact is expected to be obtained, the PNF shall divide his attention between the flight instruments and look-out. When the approach lights (or runway or runway-lights) are clearly in sight and the attitude of the aeroplane can safely be determined with reference to the ground, he shall tell the PF, e.g. "runway in sight". From this point, the PF will fly mainly by visual reference and make only quick crosschecks of his instruments. During that phase the PNF will monitor his instruments closely and call deviation to the attention of the PF until flare-out.

8.4.7.5.2 Visual Part of Final Approach and Landing

8.4.7.5.2.1 Definition

During this phase of flight all directional and bank information is entirely obtained from visual ground clues such as the lighting system or the runway texture and where instruments are used only for quick-glance reference to check speed and attitude/glide path.

8.4.7.5.2.4 Glide Path

If terrain clearance permits, the visual final must be arranged so as to follow the normal glide path of 2.5 deg to 3 deg in order to provide a safe descent and a good starting point for landing. Descending rapidly to the normal glide path or even diving below the normal glide path for obtaining a closer visual guidance of the ground or the approach lights is considered unsafe and must be avoided.

In some weather conditions visual illusions can lead to dangerous deviations from the nominal glide path. Therefore it is essential for the PNF to monitor his instruments and call out any deviation. (...)

8.4.7.5.2.6 Use of VASI/PAPI

The glide path defined by a standard VASI/PAPI shall be closely followed as a visual reference down to the height defined in OM C (Route Manual).

8.4.7.4.19.4 Go Around

A G/A shall immediately be executed by the commander at anytime:

- If APPR WARN is displayed on the HGS combiner unless sufficient visual reference is available for performing an unguided landing. A G/A shall immediately be executed by the commander at DH/DA*
- If no or not enough visual guidance to continue is available*
- If visual guidance is obtained but the aeroplane is in a position not permitting a safe landing (not stabilised, etc.)»*

1.17.1.10 Approche LOC DME piste 03 à Lugano (aujourd'hui approche IGS piste 01)

L'autorisation d'atterrir sur l'aérodrome de Lugano était obtenue après une formation complémentaire spécifique appelée *airport qualification*. Selon la publication suisse AIP, cette autorisation était valable pour les catégories d'avions définies par l'OACI. Au sein de Crossair, cette autorisation était liée au type d'avion. En raison de son activité pendant plusieurs années sur le Saab 340, le commandant en cause était en possession de la *airport qualification* de Lugano pour ce type d'avion.

La publication suisse AIP, respectivement le *route manual* (OM C) Crossair de Jeppesen définissent entre autres ce qui suit pour cette approche:

- Les altitudes publiées pour les portées obliques (*slant Range* – SR) de 4,5 NM et de 3,0 NM par rapport à ILU sont à respecter strictement.
- Après le survol du point d'approche interrompue (MAP), la procédure impose de continuer à voler en direction de la piste avec le maintien de la vue du sol («*maintain visual ground contact*»).

- La distance du MAP au seuil de piste est de 1,5 NM et il est possible que la piste ne soit pas visible lorsque l'on se trouve à ce point.
- Le faisceau du radioalignement de piste est aligné avec l'axe de piste. L'approche finale se fait en suivant les indications de l'indicateur de trajectoire d'approche de précision (PAPI).
- L'approche doit s'effectuer en mode *localizer* associé au mode *vertical speed*, et non en mode d'approche (*approach mode*).

La procédure *localiser DME approach RWY 03* qui figure dans le *pilots information handbook* (PIH) du Saab 340 de Crossair prévoit que le pilote utilise le pilote automatique en « *NAV mode only* » (en mode navigation seule) pour le *localiser*, et en *V/S mode* (mode vitesse verticale) de manière à suivre la pente de 6,65°. A 3 NM DME ILU et à une altitude de 3050 ft, il est recommandé de passer en dessous de la pente d'approche de manière à intercepter les références de pente du PAPI. Au cas où ce dernier n'est pas visible à l'altitude minimale de descente (MDA), le vol doit se poursuivre à l'horizontale. Au plus tard au point d'approche interrompue (MAP) à 1,5 NM DME ILU, le pilote doit disposer de points de référence visuelle au sol s'il veut descendre en dessous de la MDA: *looks out for visual references «ground contact»*. Au cas où ces points de référence visuelle n'existent pas, il faut procéder à une remise de gaz (annexe 6).

Selon les témoignages de divers membres d'équipage, il était courant de quitter la MDA avant le MAP dès que le contact avec le sol était établi, autrement dit avant de voir le PAPI, et de poursuivre la descente jusqu'à une hauteur au dessus du lac de 300 ft RA au moins, puis de poursuivre en vol horizontal jusqu'à ce que le PAPI soit enfin visible. Cette procédure n'est mentionnée nulle part dans les directives opérationnelles de Crossair.

1.17.1.11 Processus d'entretien des avions

1.17.1.11.1 Maintenance des altimètres

Il est apparu que les contrôles des altimètres (deux ADC et un altimètre de secours) n'avaient pas été effectués en conformité avec les procédures prévues et qu'ils n'étaient pas documentés.

Le mécanicien qui avait exécuté ces contrôles n'était pas en possession d'une licence de l'OFAC et n'avait pas d'autorisation d'effectuer ce type de travaux de la part de l'entreprise de transport aérien.

1.17.1.11.2 Calibrage du DFDR

Les données du DFDR ont été lues périodiquement, comme prescrit. Ces enregistrements ont fait l'objet de signalements pour les paramètres suivants:

- *elevator left hand and right hand*
- *aileron left hand and right hand*
- *rudder*
- *spoiler left hand*

Aucun ordre de travail concernant ces points n'a été trouvé. Les données enregistrées lors du vol CRX 3597 présentent les mêmes défauts, à l'exception du paramètre *spoiler left hand*.

Les procès-verbaux des travaux de calibrage effectués sur l'appareil faisant défaut, il n'a pas été possible de vérifier si des réglages avaient été faits.

1.17.1.11.3 Recherche de pannes sur l'APU

L'étude du dossier technique de l'APU a mis en évidence un taux de panne particulièrement élevé depuis la mise en service de l'avion. Selon l'annotation inscrite dans le DDL, l'APU ne démarrait qu'au deuxième essai. Les pannes les plus fréquentes étaient l'arrêt automatique en vol (*auto shut down*) et des problèmes au démarrage. Le remplacement de pièces n'apportait jamais qu'une amélioration passagère. L'APU a même été entièrement changé à trois reprises, sans succès. Sur toute la durée de vie de l'appareil, l'APU a fait l'objet de plus d'une centaine de signalements.

Il existait bien une liste de fiabilité (*reliability list*) pour chaque composant, mais il manquait des informations sur la fiabilité de l'ensemble du système.

Les dossiers de maintenance du département Flight Operations montrent que tous les Avro RJ 85/100 équipés de ce type d'APU présentent le même problème.

Lors de la descente du vol CRX 3597, l'APU n'avait démarré qu'au deuxième essai.

1.17.2 Autorité de surveillance

1.17.2.1 Généralités

Comme dans la plupart des pays, la législation aéronautique suisse s'inspire des recommandations de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI). Les entreprises de transport aérien effectuant des vols commerciaux sont en outre soumises aux exigences et aux règles des Autorités Conjointes de l'Aviation (JAA) qui ont été reprises dans le droit national.

Selon la loi fédérale sur l'aviation, le Conseil fédéral a la surveillance de l'aviation sur tout le territoire de la Confédération. La surveillance immédiate de l'aviation civile incombe à l'Office fédéral de l'aviation civile (OFAC), qui est une unité du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

1.17.2.2 Structure

Au moment de l'accident, l'effectif de l'OFAC était d'environ 150 personnes. Début 2001, un projet de réorganisation visant une structure axée sur les processus a été mise en œuvre. Selon cette nouvelle structure, l'organisation de l'OFAC s'articule autour de trois axes. Le premier est celui des activités opérationnelles, matérialisé par sept «processus». Le deuxième est celui représenté par les «centres de compétences», qui sous-tendent en quelque sorte l'activité des processus. Les collaborateurs de ces unités sont intégrés dans les équipes des processus, qui bénéficient ainsi directement des connaissances spécifiques des centres de compétences pour fournir leurs produits. Le troisième axe est celui de la direction de l'office, avec les unités de soutien qui remplissent des fonctions transversales et assurent le bon fonctionnement de l'organisation.

Les processus suivants ont été analysés en rapport avec l'accident du vol CRX 3597:

- Processus Planification de l'infrastructure (IP) – A l'aide du Plan sectoriel de l'infrastructure aéronautique (PSIA), ce processus gérait le développement des infrastructures de l'aviation civile en Suisse. Les conceptions et les plans de l'infrastructure comprenaient notamment les plans de radionavigation et des fréquences ainsi que la gestion de la structure de l'espace aérien. IP était en outre responsable de la réglementation relative au service de la navigation aérienne, et donc de la surveillance de la société suisse de gestion de la navigation aérienne (skyguide), de la fixation des redevances de navigation aérienne et des informations aéronautiques en rapport avec la sécurité.
- Processus Formation aéronautique et licences (FA) – Ce processus définissait les normes applicables dans les domaines de la formation et du perfectionnement professionnel et veillait à sélectionner, à former et à désigner des experts. Il gérait en outre la certification des dispositifs d'instruction et d'entraînement (simulateurs).
- Processus Entreprises de transport aérien (LV) – Ce processus avait la responsabilité de l'admission et de la surveillance des opérations des entreprises de transport aérien. Cette tâche incluait aussi la surveillance opérationnelle du matériel volant ainsi que la mise en œuvre du programme SAFA, qui consiste à procéder à des inspections des avions et des équipages étrangers dans les aéroports suisses. Au moment de l'accident, une organisation semblable pour les avions suisses était prévue mais n'avait pas encore été mise en place.

En sa qualité d'autorité de surveillance, l'OFAC est notamment responsable de l'approbation formelle de toutes les procédures d'approche et de décollage. L'office était représenté dans les comités chargés d'évaluer les nouvelles procédures répondant aux exigences allemandes de réduction de l'utilisation de l'espace aérien au-dessus du Sud de l'Allemagne.

1.17.2.3 Audit de sécurité de l'OACI

Du 1^{er} au 8 novembre 2000, dans le cadre de son Programme universel d'audits de la supervision de la sécurité (USOAP), l'OACI a mené un audit de sécurité de l'OFAC. En ce qui concerne la surveillance des opérations, le rapport final de l'OACI publié en octobre 2001 précise:

«With the crucial shortage of technical expertise necessary to conduct the core functions of certification of operators, surveillance activities are very limited. FOCA relies mainly on operators and other entities to ensure oversight of aviation activities. However, no system for the control and supervision of these tasks and functions pertaining to the State's safety oversight responsibilities has been established. The Flight Operations Section has established a programme for supervisory and technical control of persons within an operator's organization performing oversight/check airmen duties, but this oversight is not yet conducted due to the lack of operations inspectors capable of undertaking the task.»

«FOCA has not established an audit schedule of Swiss air operators. Subsequent to the issue of an AOC, only a few operations inspections on some commercial air transport operators are conducted. The frequency of these inspections is low due to the limited human resources available to the Flight Operations Section and does not allow for the completion of a surveillance programme of Swiss air operators. Flight operations is an area where FOCA relies mainly on tasks performed by operators and on operators' check airmen, and no system for the control of these tasks and functions pertaining to

the State's safety responsibility is established. Without a substantial increase in the number of adequately trained inspectors, the industry may become essentially self-regulating.»

Le 8 décembre 2000, l'OFAC avait informé le Secrétariat général du DETEC (SG DETEC), auquel il est rattaché, du manque de personnel identifié par l'OACI dans le domaine technique. Le SG DETEC avait alors permis à l'OFAC d'engager du personnel à durée indéterminée même si, à l'époque, l'administration fédérale avait décrété un arrêt d'embauche.

L'effectif des inspecteurs de l'OFAC en charge des aspects opérationnels des entreprises de transport aérien, qui était de six personnes au 31 décembre 2000, s'est développé comme suit:

- 8 inspecteurs au 31 décembre 2001
- 11 inspecteurs au 31 décembre 2002

1.17.2.4 Dispositions relatives aux périodes de travail du personnel navigant

Lors de la rédaction du présent rapport, les JAR-OPS 1 (section Q) ne contenaient encore aucune disposition sur les périodes de travail et de repos du personnel navigant (*flight and duty time limitations and rest requirements*). Ainsi, lors de l'accident, les dispositions applicables en matière de temps de service d'équipage étaient celles du ch. 4.7 de l'ordonnance sur les règles d'exploitation dans le trafic aérien commercial (ORE I). Ces exigences légales étaient décrites, et dans certains cas complétées, au chapitre 7 du manuel d'exploitation OM A qui avait été approuvé par l'OFAC.

Dans le cas présent, les dispositions suivantes de l'ORE I revêtent un certain intérêt:

- 4.7.1.3: *Les temps de service d'équipage qui se sont accumulés auprès d'autres exploitants doivent être compris dans le calcul.*
- 4.7.1.4: *Tant l'exploitant que le membre d'équipage en cause répondent de l'observation des temps de service d'équipage.*
- 4.7.3.7: *La durée d'une activité professionnelle principale ou accessoire dans les dix jours précédant un vol est considérée comme période de service de vol.*
- 4.7.3.1.1: *Sous réserve des chiffres 4.7.1.2, 4.7.3.1.2 et 4.7.3.2 à 4.7.3.10, les périodes de service de vol des membres d'équipage de conduite sont limitées comme il suit: pour un équipage minimum de conduite, selon le manuel de vol de l'aéronef, de deux pilotes et quatre atterrissages maximum, la période de service de vol est au maximum de 14 heures.*
- 4.7.4.1: *Entre deux périodes de service de vol, chaque membre d'équipage doit disposer d'une période de repos, qui doit précéder immédiatement la période de service de vol. La période de repos est calculée d'après la plus longue des deux périodes de service de vol et comprend, sous réserve des chiffres 4.7.1.2 et 4.7.3.4, au moins: 12 heures pour une période de service de vol de plus de 14 heures.*

1.17.2.5 Rapports entre Crossair et l'autorité de surveillance

L'OFAC et Crossair entretenaient des relations à différents niveaux. Les points suivants revêtent une certaine importance pour l'accident du vol CRX 3597:

- L'OFAC a vérifié si les directives de Crossair en matière de formation étaient conformes aux JAR dans le domaine CRM. Il n'a pas contrôlé l'efficacité ou la mise en œuvre de cette formation dans l'exploitation aérienne.
- Jusqu'à l'accident, il n'y avait eu aucun audit de l'exploitation aérienne de Crossair. Un premier audit de ce type a eu lieu le 28 août 2002, après le changement de raison sociale de Crossair en Swiss International Air Lines SA.
- Les collaborateurs du Processus LV de l'OFAC ont déclaré être au fait de la documentation régissant l'exploitation aérienne de Crossair mais ne pas connaître sa mise en pratique.
- Plusieurs collaborateurs de l'OFAC étaient employés à temps partiel en tant que pilotes chez Crossair.
- Selon les collaborateurs de l'OFAC, entre l'accident du vol Crossair CRX 498 le 10 janvier 2000 et celui du vol CRX 3597 le 24 novembre 2001, aucun changement de fond n'a eu lieu dans le Processus LV.
- Une réunion dite de coordination réunissait deux à trois fois par an des représentants de l'OFAC et des hauts responsables de Crossair issus des départements Flight Operations, Maintenance, Quality Management et Flight Safety. L'OFAC était représenté par les responsables des unités en charge de l'exploitation aérienne, des entreprises de transport aérien, de l'entretien et de la navigabilité. Comme le montrent les procès-verbaux de ces réunions entre 1996 et 2001, la performance des membres d'équipage ou la qualification des pilotes n'ont jamais été à l'ordre du jour.
- Rien ne montre que l'activité des experts employés par Crossair, qui procédaient à des certifications de type et à des contrôles de performance des membres d'équipage pour le compte de l'OFAC, n'aient été eux-mêmes contrôlés par l'OFAC.
- L'OFAC n'avait pas connaissance des difficultés rencontrées et des échecs lors des cours de transition sur MD 80.

1.17.3 Ecole Horizon Swiss Flight Academy

L'école d'aviation Horizon Swiss Flight Academy a été fondée en 1979 et était en possession de l'autorisation FTO (*Flying Training Organisation*) selon les normes JAR-FCL. Elle offrait des formations pour obtenir les licences de pilote privé (PPL), de pilote professionnel (CPL) et de pilote de ligne (ATPL). Elle exploitait des avions des types Katana DV 20, Piper Archer et Piper Seneca.

Au moment des faits, le commandant de la machine accidentée avait un contrat avec l'école Horizon Swiss Flight Academy, qui ne stipulait rien quant à la coordination entre son travail de formation et les activités de vol dans d'autres entreprises. Selon les déclarations de l'école, les instructeurs étaient rendus attentifs au fait que le respect des temps de service d'équipage était de leur responsabilité.

1.17.4 Service de la navigation aérienne

1.17.4.1 Généralités

Le 1^{er} janvier 2001, les services de la navigation aérienne militaires et civils suisses ont été réunis au sein d'un organe unique qui gère tout l'espace aérien national. Pour souligner le caractère unique de ce type de regroupement en Europe, la société

Swisscontrol avait alors changé de raison sociale et était devenue skyguide. En 1996, cette entreprise avait été transformée en société anonyme de droit privé et libérée de la tutelle financière de la Confédération.

La tâche principale de skyguide est d'organiser et d'assurer le contrôle de la circulation aérienne dans l'espace aérien suisse et les espaces aériens étrangers dont le contrôle a été délégué à la Suisse.

1.17.4.2 Contrôle d'approche

Skyguide gère le contrôle des décollages et des atterrissages au sein du contrôle d'approche (APP). A l'aéroport de Zurich, suivant le volume de trafic, les avions en approche peuvent être répartis sur trois secteurs (Est, Ouest, Final). Les décollages sont gérés par un seul et unique secteur (Départ). Un coordinateur a en outre la fonction d'assister les différents secteurs.

Selon le plan d'affectation des secteurs de skyguide, au moment de l'accident (21:07 UTC) quatre postes de travail auraient encore dû être occupés au contrôle d'approche. En réalité, un poste était occupé.

1.17.4.3 Contrôle d'aérodrome

A partir du contrôle d'aérodrome (TWR), qui se trouve dans la vigie, skyguide assiste les avions au sol qui atterrissent, qui décollent ou qui doivent croiser une piste. Pour cela, suivant le volume de trafic, elle peut occuper jusqu'à quatre postes de travail: ADC1, ADC2, GRO et CLD. Un chef de service est responsable de la surveillance des opérations dans la vigie et au contrôle d'approche.

Selon le plan d'affectation des secteurs de skyguide, au moment de l'accident quatre postes de travail auraient encore dû être occupés au contrôle d'aérodrome. En réalité, deux postes étaient occupés. Selon ce plan, le poste du chef de service devait être occupé jusqu'à 22:00 UTC.

1.17.5 Flughafen Zürich AG (Unique)

1.17.5.1 Généralités

La société Flughafen Zürich AG (Unique) est titulaire de la concession fédérale d'exploitation de l'aéroport de Zurich. A ce titre, elle assume un certain nombre de tâches relevant de l'exploitation aérienne: contrôle de l'aire de trafic (*apron management service*), direction de l'aérodrome (*duty office/airport authority*), protection des zones de sécurité, office cantonal d'annonce des marges de franchissement d'obstacles, sûreté (*security*), service du feu et sécurité (*safety*), services d'entretien y compris service hivernal, protection de l'environnement et gestion du bruit des aéronefs.

La direction de l'aérodrome est l'interlocuteur de skyguide, côté Unique, pour les dérogations au concept d'utilisation des pistes.

1.17.5.2 Service de gestion d'aire de trafic (*apron control*)

Unique est responsable de la gestion des avions et des véhicules au sol sur l'aire de trafic (APN), sur les voies de circulation (TWY) au Sud de la piste 28 et à l'Est de la

piste 16, sur certains secteurs TWY au Nord de la piste 28 (aux abords du nouveau Dock Midfield), dans les zones TWY Romeo et Romeo 8 et sur les places de stationnement Whiskey.

1.17.5.3 Rôle de Unique dans la mise en œuvre du traité germano-suisse

Dans la perspective de la conclusion d'un traité germano-suisse régissant l'utilisation de l'espace aérien au-dessus du Sud de l'Allemagne pour les approches et les décollages de l'aéroport de Zurich-Kloten, deux commissions (un groupe de travail et un comité de pilotage) conduites par Unique ont été créées au début de l'année 2001. Les mois suivants, celles-ci ont étudié les conséquences de l'accord pour l'exploitation des vols.

Unique présidait les deux commissions, dans lesquelles les directions de Swissair, de skyguide et de l'OFAC étaient également représentées et assistées, dans certains cas, de conseillers externes.

Un volet important de la réglementation transitoire convenue était que, dès la conclusion du traité, les approches devraient se faire pour la piste 28 entre 22:00 et 06:00 LT, ceci pour autant que les conditions météorologiques du moment permettaient l'approche selon les minima figurant dans la publication suisse AIP. Cette réglementation est entrée en vigueur le 19 octobre 2001.

Lors des séances de ces commissions ayant pour objet la révision du concept d'utilisation des pistes, notamment les approches pour la piste 28, la question de l'opportunité et de la qualité de la procédure d'approche standard VOR/DME 28 n'a jamais été abordée. La seule remarque qui a pu être relevée dans la documentation est que, s'agissant d'une approche classique (NPA), elle pourrait être critique pour les gros avions. Par contre, l'éventualité d'un relèvement des minima de visibilité pour l'approche n'a pas été discutée.

1.17.5.4 Influence de Unique sur le déroulement du trafic aérien

Selon la loi fédérale sur l'aviation, l'exploitant d'un aéroport soumet le règlement d'exploitation à l'approbation de l'OFAC. La modification de ce règlement en rapport avec les approches de la piste 28, demandée par Unique dans l'optique du traité à conclure avec l'Allemagne, a été acceptée par l'OFAC le 18 octobre 2001.

Désormais, il appartenait donc à la direction de l'aéroport de Unique de surveiller le respect du concept d'utilisation des pistes (PBK). En revanche, la mise en œuvre du PBK incombait à skyguide, en sa qualité de responsable du service de la navigation aérienne. Si elle souhaitait obtenir une dérogation, skyguide devait demander une autorisation à la direction de l'aéroport (*duty officer*) de Unique.

Cette structure limitait les possibilités pour skyguide de définir les pistes de décollage et d'atterrissage selon des critères purement opérationnels.

Jusqu'à l'entrée en vigueur des dispositions transitoires du traité germano-suisse, le 19 octobre 2001, l'approche standard VOR/DME 28 n'était exploitée que sporadiquement par le service de la navigation aérienne, en cas de fort vent d'Ouest.

1.17.6 Météo Suisse

1.17.6.1 Généralités

MétéoSuisse, office fédéral de météorologie et de climatologie, est directement subordonné au chef du Département fédéral de l'intérieur (DFI). La loi fédérale sur la météorologie et la climatologie lui attribue diverses tâches relevant de la puissance publique. Il lui incombe en particulier de fournir des informations météorologiques pour les opérations de vol et la sécurité de la navigation aérienne sur le territoire suisse.

Selon l'ordonnance du 18 décembre 1995 sur le service de la navigation aérienne (OSNA), MétéoSuisse assure le service civil de la météorologie et il est aussi l'Administration météorologique au sens de l'annexe 3 de l'OACI. Le DETEC règle les modalités avec l'accord du DFI.

Les tâches de MétéoSuisse dans le domaine aérien sont spécifiées dans l'ordonnance du 26 mai 1999 concernant le service civil de la météorologie aéronautique.

La surveillance incombe à l'OFAC.

1.17.6.2 Processus Météorologie aéronautique

Lors de sa réorganisation, en 1998, MétéoSuisse s'est doté de structures axées sur les processus. Les activités des trois domaines Temps, Climat et Soutien sont soutenues par des centres de compétences et des organes de coordination.

Le processus Météorologie aéronautique est intégré dans le domaine Temps. Il remplit les fonctions du service de la météorologie aéronautique sur l'ensemble du territoire suisse en conformité avec les normes et recommandations de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et de l'OACI.

1.17.6.3 Service de météorologie aéronautique de l'aéroport de Zurich

Les activités du service météorologique de l'aéroport de Zurich sont prises en charge par une unité de conseil et une unité d'observation. La centrale d'information du centre opérationnel est desservie de 04:45 à 22:15 LT, la station d'observation 24 h/24.

Les produits principaux de la centrale d'information sont:

- Données météorologiques pour la planification des vols
- Services de renseignements personnels
- Prévisions de vol pour l'ensemble du territoire suisse (GAMET)
- Diffusion d'avis de danger pour l'ensemble du territoire suisse (SIGMET, AIRMET)
- Diffusion d'avis de danger locaux concernant les aéroports (tempêtes, orages, inversions, cisaillement)

La station d'observation a pour mission de surveiller en permanence l'évolution du temps à l'aéroport de Zurich. Elle diffuse des messages d'observation météorologique pour l'aviation toutes les 30 minutes dans les codes METAR et QAM. En cas de changement significatif entre deux échéances de diffusion, un message spécial est diffusé au sein des services de l'aéroport.

Elle est située dans le secteur Nord de l'aéroport, à proximité des seuils des pistes 14 et 16. Les paramètres météorologiques sont enregistrés sur la base d'observations

visuelles et de la lecture des instruments installés dans le périmètre de l'aéroport et dans les environs. Outre les instruments de mesure classiques (thermomètres, hygromètres, baromètres et anémomètres), les appareils suivants sont également utilisés:

- Transmissiomètres, pour déterminer la portée visuelle de piste (trois appareils pour chacune des pistes d'atterrissage principales – 14 et 16 – et deux appareils le long de la piste 28)
- Télémètres de nuages, pour déterminer la hauteur du plafond nuageux (un appareil dans le secteur de la piste 14, de la piste 16, de la MM 16, de l'OM 16 et à Bassersdorf, soit à 1 km au Sud de l'axe de la piste 28)
- Détecteur d'éclairs
- Chaîne de mesure du phénomène d'inversion (AMETIS1), pour détecter les inversions et les cisaillements qui les accompagnent (capteurs au sommet des collines environnantes)
- Projecteurs néphoscopiques et caméras TV

1.18 Renseignements supplémentaires

1.18.1 Dispositifs d'entraînement

Crossair ne possédant pas de simulateur de vol pour le type d'avion Avro 146-RJ 100, ses pilotes s'entraînaient sur les simulateurs de tiers. Crossair a recouru aux simulateurs de vol suivants pour la formation de ses pilotes:

- Simulateur RJ 100 à Berlin, certifié selon JAR-STD 1A Level DG. Il pouvait au besoin être équipé du système de gestion de la navigation GNS-X.
- Simulateur RJ 100 à Istanbul, certifié selon JAR-STD 1A Level D (DGAC) et Level C (OFAC). Le GNS-X était installé à demeure.
- Simulateur RJ 85/100 à Bruxelles, certifié selon JAR-STD 1A Level DG. Ce simulateur était équipé d'un GNS-X.
- Simulateur RJ 100 de BAe à Woodford. Ce dispositif a été vendu aux Etats-Unis.

Crosscat possédait un didacticiel (CBT) qui gérait les fonctions des systèmes de l'avion et les données de performance.

Crossair possédait en outre un CBT sans fonction interactive pour le FMS GLNI 910 qui était installé dans l'Avro RJ 100 Mk II.

Les seize RJ 85/100 (HB-IX*) étaient équipés du système de navigation GNS-X et les quatre RJ 100 Mk II (HB-IY*) du système plus moderne Collins GNLU 910.

Le commandant et le copilote de l'appareil HB-IXM se sont surtout entraînés sur le simulateur de la compagnie Turkish Airlines, dans son centre d'entraînement d'Istanbul. Le système GNS-X installé dans ce dispositif d'entraînement avait une configuration identique à celui qui équipait le HB-IXM.

1.18.2 Signalisation des obstacles sur les cartes d'approche

Sur la carte d'approche 13-2 du 10 novembre 2000 contenue dans le manuel des routes Jeppesen que l'équipage utilisait, aucun obstacle n'était signalé pour le secteur d'approche de la piste 28.

Sur la carte d'approche LSZH AD 2.24.10.7-1 de l'AIP Suisse, qui décrit l'approche standard VOR/DME 28, deux obstacles balisés sont signalés dans le secteur d'approche avec les symboles usuels (cf. annexes 7 et 8).

1.18.3 Recommandations de sécurité faites lors d'enquêtes précédentes

1.18.3.1 Introduction

Les recommandations de sécurité reprises ci-dessous émanent de précédentes enquêtes du BEAA et abordent des problèmes qui se sont reproduits sous une forme comparable lors de l'accident du vol Crossair CRX 3597.

1.18.3.2 Accident du vol Alitalia AZA 404 au Stadlerberg, Zurich

Le 14 novembre 1990, un McDonnell Douglas DC 9 de la compagnie aérienne Alitalia s'était écrasé dans la phase d'approche de la piste 14 de l'aéroport de Zurich. 46 personnes avaient perdu la vie. En raison d'un défaut technique du système de navigation, l'avion avait quitté trop tôt l'altitude de 4000 ft QNH qui lui avait été indiquée et, trois minutes plus tard, il avait percuté le Stadlerberg.

Dans son rapport final, le BEAA avait notamment recommandé:

Recommandation de sécurité No 9

«Les attributions des services de la circulation aérienne devraient être complétées par l'obligation d'informer les pilotes d'un franchissement éventuel de la hauteur minimale de vol. Dans ce but il y a lieu d'installer dans ces services un système d'alerte analogue au 'minimum safe altitude warning system' en usage aux Etats-Unis, qui annonce automatiquement au contrôleur par un signal optique et sonore tout franchissement de la hauteur minimale.»

Recommandation de sécurité No 13

«The installation of an area microphone recording system for the Air Traffic Controller stations (similar to the aircraft CVR area mike) should be evaluated.»

«L'installation d'un microphone d'ambiance avec un système d'enregistrement pour les places de travail des contrôleurs du trafic aérien (similaire au microphone d'ambiance dans les avions) devrait être évalué.»

1.18.3.3 Accident du vol Crossair CRX 498 près de Nassenwil, Zurich

Le 10 janvier 2000, le Saab 340B de la compagnie Crossair décollait de l'aéroport de Zurich pour un vol de ligne à destination de Dresde. Deux minutes et dix-sept secondes plus tard, l'appareil s'écrasait dans un champ près de Nassenwil/ZH, après que l'équipage eut perdu le contrôle de l'assiette.

Avant de travailler en Suisse, les deux pilotes impliqués dans cet accident avaient été employés dans des compagnies aériennes étrangères. Concernant la validation des licences émises dans des pays dont le système de formation aéronautique est mal connu, le BEAA avait recommandé ce qui suit:

«Le vol de contrôle selon JAR-FCL (proficiency check) doit toujours être effectué par un inspecteur de l'autorité de surveillance à qui il incombe de vérifier plus spécifiquement les points susmentionnés. Ce contrôle ne peut en aucun cas être délégué aux entreprises de transport aérien mais il peut être intégré dans les vols de contrôle de l'opérateur (operator proficiency checks).»

L'enquête avait montré que les membres de l'équipage ne se complétaient pas de manière idéale. Le BEAA avait donc recommandé ce qui suit:

«Les déficits des pilotes dans les domaines linguistiques et opérationnels doivent être supprimés au moyen d'une formation appropriée et individualisée. Lors de la constitution des équipages (crewpairing), un processus devrait permettre de faire en sorte que des déficits résiduels ne se cumulent pas au sein d'un équipage.

Pendant les entraînements en vue du vol de contrôle (proficiency training), il faudrait donner aux candidats la possibilité de surmonter leurs difficultés individuelles au moyen de méthodes adaptées (p. ex. entraînement aux attitudes de vol inhabituelles, formation en communication). Pendant le vol de contrôle, il s'agira de vérifier les résultats de cette formation individualisée.»

1.19 Techniques d'enquêtes utiles ou efficaces

1.19.1 Analyse des mémoires non volatiles (NVM)

1.19.1.1 Introduction

Honeywell est l'un des principaux fournisseurs de systèmes avioniques pour l'Avro 146-RJ 85/100. Cette entreprise a confirmé que le SG EFIS, l'ADC et le FGC étaient dotés de NVM. Dans le but d'acquérir des informations supplémentaires, une lecture de diverses cartes à circuits imprimés (CCA) a eu lieu en présence d'un représentant du BEAA.

1.19.1.2 Centrale anémobarométrique (ADC)

La CCA A7 englobe la CPU et la NVM, dans laquelle les messages d'erreur sont stockés. La lecture de la NVM a montré qu'aucune erreur n'avait été enregistrée dans l'ADC, ni pendant le vol fatal, ni pendant les neuf vols précédents.

1.19.1.3 Générateur de symboles EFIS (SG EFIS)

La CCA A2 englobe la CPU du SG EFIS et la NVM, dans laquelle les messages d'erreur sont stockés.

Plusieurs erreurs, qui se sont vraisemblablement produites pendant l'accident, ont été relevées dans la NVM. En ce qui concerne la période précédant l'accident, Honeywell a affirmé ce qui suit:

«Thus, no Symbol Generator faults were recorded during the flight indicating a failure that would contribute to displaying incorrect flight information to the crew at the time of the crash.»

1.19.1.4 Ordinateur du système de guidage de vol (DFGC)

Les CCA A3 et A18 comprennent chacun une CPU et une NVM, dans laquelle les messages d'erreur sont stockés.

Selon les enregistrements du FDR, le FGC2 était inactif pendant le vol CRX 3597. Ce constat a pu être recoupé et confirmé avec les données de la NVM.

Aucune erreur n'a été enregistrée pendant le vol CRX 3597, du décollage de Berlin jusqu'au premier impact avec les arbres.

Les événements enregistrés après le premier contact avec les arbres sont dus au ralentissement de l'avion et à la panne générale de courant qui a suivi. Les FGC sont alimentés par les batteries de bord. Il est donc possible qu'ils aient enregistré des événements en relation avec la panne de courant.

2 Analyse

2.1 Aspects techniques

2.1.1 Système de guidage de vol (FGS)

2.1.1.1 Système d'instruments de vol électroniques (EFIS)

2.1.1.1.1 Fiabilité

L'examen des documents d'entretien de l'avion n'a rien révélé de particulier sur le comportement en vol de l'EFIS.

2.1.1.1.2 Disponibilité pendant le vol CRX 3597

Les enregistrements du CVR laissent imaginer qu'initialement les deux pilotes avaient mis le sélecteur de radioalignement en position *LNAV*. Celui du copilote retrouvé dans l'épave de l'avion était toujours dans cette position. En revanche, celui du commandant était sur *OFF*. Le commandant a vraisemblablement mis son sélecteur dans cette position afin de réduire la quantité d'informations affichées sur son ND (*declutter*), après que l'avion se soit établi sur l'alignement de rapprochement VOR KLO inbound 275°.

Le commutateur EFIS retrouvé sur le tableau de bord du commandant était en position *NORM* et la coiffe de protection était intacte, ce qui tend à indiquer que les deux SG EFIS fonctionnaient normalement.

Aucune remarque orale laissant imaginer que l'équipage aurait eu des problèmes avec l'EFIS ne ressort des enregistrements du CVR.

Les NVM des deux SG EFIS ont été analysées par le constructeur, qui a conclu qu'aucun dysfonctionnement pouvant engendrer l'affichage de paramètres erronés pendant les phases critiques du vol n'a été enregistré.

2.1.1.2 Commandes automatiques de vol (AFS)

2.1.1.2.1 Fiabilité

L'examen des documents d'entretien de l'avion n'a rien révélé de particulier sur le comportement en vol du système AFS.

2.1.1.2.2 Disponibilité pendant le vol CRX 3597

Le système AFS a été utilisé sans interruption pendant les 30 dernières minutes du vol.

Pour la navigation latérale, le pilote automatique a travaillé en alternance dans les modes *LNAV1*, *HDG SEL* et *VORNAV1*. Pendant la dernière phase du vol, le mode *VORNAV1* était actif. Le dernier alignement VOR sélectionné était 275°. L'analyse des données du FDR a montré que le pilote automatique avait fonctionné normalement dans les modes de navigation latérale sélectionnés.

Pour la navigation verticale, le pilote automatique a travaillé en alternance dans les modes de vitesse verticale et de maintien de l'altitude. Pendant la dernière phase du vol, le mode de vitesse verticale était actif. La dernière vitesse descendionnelle sélectionnée était de 1200 ft/min. L'analyse des données du DFDR a montré que le pilote automatique avait fonctionné normalement dans les modes de navigation verticale sélectionnés.

Le système des automanettes était en mode Mach au-dessus du niveau de vol 235 et en mode de vitesse indiquée au-dessous. La dernière vitesse sélectionnée était de 116 KIAS. L'analyse des données du DFDR a montré que le système automanette avait fonctionné normalement selon les modes sélectionnés.

A 21:06:34 UTC, le commandant a communiqué son intention d'engager une procédure de remise des gaz. Simultanément, le pilote automatique a été déclenché et l'avertissement sonore correspondant (charge de cavalerie) a été enregistré par le CVR. L'avion a frôlé les premiers arbres deux secondes plus tard.

Le système automanette est resté enclenché et en mode de vitesse indiquée jusqu'à la fin des enregistrements du DFDR, ce qui tend à indiquer que le bouton *TOGA* des manettes de puissance n'a pas été pressé.

L'examen du TRP a révélé que, selon toute vraisemblance, au moins une ampoule était allumée dans le bouton MCT au moment de l'impact, ce qui tend aussi à indiquer que le bouton *TOGA* des manettes de puissance n'a pas été pressé.

L'analyse des NVM des deux FGC a montré qu'aucune erreur n'avait été enregistrée pendant le vol fatal jusqu'au premier impact avec la cime des arbres. Les événements enregistrés après sont dus au ralentissement de l'avion et à la panne générale de courant qui a suivi.

2.1.1.3 Système de gestion de la navigation (NMS)

2.1.1.3.1 Fiabilité

L'examen des documents d'entretien de l'avion n'a rien révélé de particulier sur le comportement en vol du NMS.

2.1.1.3.2 Disponibilité pendant le vol CRX 3597

Le NMS a été utilisé à deux reprises pendant les 30 dernières minutes du vol, avec le pilote automatique actif (FDR: mode *LNAV1*). La première fois pour diriger l'avion sur une route d'environ 220° vers RILAX, la seconde fois pour le guider vers le VOR ZUE.

A 20:59:25 UTC, le commandant avait dit: «LNAV isch dine, das düemer dän schnell mit em LNAV flüüge, detä...» (Le LNAV est bon, on va vite y aller avec un LNAV, là-bas). A ce moment là, il avait vraisemblablement saisi la route ZUE, D178F, KLO*, KLO**, RW28. Dans ce cas, KLO* et KLO** sont des points de cheminement générés par le pilote.

A 21:00:06 UTC, le commandant avait annoncé: «LNAV isch *engaged*, da simer praktisch druffe» (LNAV est *engaged*, on est pratiquement dessus). L'avion était alors sur la ligne de position VOR avec l'alignement *inbound* 125° ZUE. Il est probable que, dans cette situation, le commandant a activé la fonction *direct to ZUE* en enclenchant le mode *LNAV (engage)*.

L'approche s'est poursuivie en mode de navigation latérale jusqu'à 21:04:15 UTC, c'est-à-dire l'instant où le pilote automatique a guidé l'avion sur l'alignement *inbound* 275° KLO (*VOR capture*).

L'analyse des données du FDR a montré que le pilote automatique avait fonctionné normalement en mode *LNAV1*. Juste avant l'accident, le pilote automatique travaillait dans le mode *VORNAV1*.

Le sélecteur de radioalignement du commandant retrouvé dans les débris de l'avion était sur la position *OFF*. Le commandant avait vraisemblablement sélectionné le VOR2 ou 1 comme radioalignement secondaire (*2nd course*), ce qui lui permettait de surveiller le guidage de l'avion par le pilote automatique le long de la ligne de position VOR.

Le sélecteur de navigation latérale retrouvé dans l'épave était en position *LNAV1*. Rien n'indique que cette position a été choisie en raison d'une panne technique. C'est probablement plus par habitude que le commandant, qui était PF, l'a sélectionnée.

2.1.2 Commandes de vol

Les enregistrements du DFDR concernant les commandes principales des ailerons ainsi que des gouvernes de profondeur et de direction n'ont pas pu être exploités. En revanche, les données des commandes secondaires étaient de bonne qualité et, du point de vue technique, elles se situaient dans la norme.

Jusqu'au premier contact avec les arbres, les paramètres concernant la trajectoire de vol (*altitude, airspeed, heading, latitude, longitude, ground speed, wind, roll, pitch*) étaient corrects et ont pu être analysés. L'analyse de la trajectoire de vol permet de conclure à un fonctionnement correct des commandes primaires.

2.1.3 Equipements de navigation

2.1.3.1 Système de référence à inertie (IRS)

2.1.3.1.1 Fiabilité

L'examen des documents d'entretien de l'avion n'a rien révélé de particulier sur le comportement en vol de l'IRS.

2.1.3.1.2 Disponibilité pendant le vol CRX 3597

Le pilote automatique est resté enclenché jusqu'à quelques secondes avant les premiers impacts avec les arbres. La manière dont l'avion a été guidé tend à montrer que le pilote automatique a interprété correctement les données de l'IRS.

Les enregistrements du CVR ne signalent aucun problème lié aux paramètres de vol générés par l'IRS et affichés sur l'EFIS.

2.1.3.2 Système de navigation VHF

2.1.3.2.1 Fiabilité

L'examen des documents d'entretien de l'avion n'a rien révélé de particulier sur le comportement en vol du système VOR.

2.1.3.2.2 Disponibilité pendant le vol CRX 3597

Le système VOR a été utilisé à deux reprises pendant les 30 dernières minutes du vol, avec le pilote automatique actif (FDR: mode *VORNAV1*). La première fois pour diriger l'avion sur un radioalignement *inbound* de 125° vers VOR/DME ZUE, la seconde fois pour le guider vers un radioalignement *inbound* de 275° vers VOR/DME KLO. Tant les enregistrements du FDR que le tracé radar signalent un guidage typique en mode VOR par le pilote automatique, avec un écart assez marqué par rapport à la ligne de position après avoir intercepté le VOR.

Les commutateurs VOR/ADF retrouvés dans l'épave étaient en position ADF sur les deux DBI. Cela signifie que l'affichage du relèvement VOR n'était pas disponible sur ces instruments.

Dans les enregistrements du CVR, il est fait allusion plusieurs fois au fait que le VOR était visible sur le ND (vraisemblablement comme radioalignement secondaire des deux côtés). Ni le commandant ni le copilote n'ont mentionné un quelconque problème avec le système VOR.

2.1.3.3 Dispositif de mesure de distance (DME)

2.1.3.3.1 Fiabilité

L'examen des documents d'entretien de l'avion n'a rien révélé de particulier sur le comportement en vol du DME.

2.1.3.3.2 Disponibilité pendant le vol CRX 3597

Deux remarques faites par les pilotes pendant l'approche permettent de conclure à un fonctionnement correct des deux DME.

A 21:04:23 UTC, le copilote avait annoncé: «Jetzt simer acht Meile» – D8KLO – (Maintenant on est à huit [8] nautiques). Les deux systèmes VOR/DME étaient alors sur la fréquence du VOR/DME KLO (114,85).

Cette distance coïncide avec celle relevée sur le tracé radar. Partant de l'hypothèse que le sélecteur de radioalignement était en position *LNAV* sur l'ECP du copilote (tel qu'il a été retrouvé dans l'épave), ce dernier a dû lire la distance DME sur son DBI. Comme sur cet instrument les distances DME1 et DME2 sont l'une à côté de l'autre, il aurait certainement remarqué une différence.

A 21:05:27 UTC, le commandant a dit: «Sechs Meile drüü drüü isch checked» – D6KLO/3360 ft – (Six nautiques trois trois *checked*). Le tracé radar montre que le vol CRX 3597 a passé D6KLO à 21:05:21 UTC à une altitude de 3240 ft QNH. Ce léger décalage de la confirmation du commandant est probablement dû au fait qu'à 21:05:21 UTC le copilote a débuté la transmission d'un message ATC, qu'il a fallu ensuite confirmer.

L'écoute des enregistrements du CVR ne donne aucune indication sur une éventuelle défaillance du DME par la suite.

2.1.3.4 Système anémobarométrique (ADS)

2.1.3.4.1 Fiabilité

L'examen des documents d'entretien de l'avion n'a rien révélé de particulier sur le comportement en vol de l'ADS.

2.1.3.4.2 Disponibilité pendant le vol CRX 3597

La lecture de la NVM a montré qu'aucune erreur (*failure*) n'avait été enregistrée dans l'ADC1, ni pendant le vol fatal, ni pendant les neuf vols précédents. L'ADC2 a été détruit lors du choc et de l'incendie qui a suivi et n'a donc pas pu être analysé.

Selon les données du FDR, les paramètres d'altitude et de vitesse sont plausibles pour tout le vol.

Jusqu'à la dernière interrogation radar, le transpondeur ATC (mode C) a transmis la bonne altitude.

Les diverses remarques des pilotes concernant les altitudes de vol qui ont été enregistrées par le CVR ont été mises en relation avec les données du FDR. Les informations des deux sources sont concordantes.

On peut donc en conclure que les pilotes disposaient de paramètres anémobarométriques corrects pour l'approche.

2.1.3.5 Radioaltimètre (RADALT)

2.1.3.5.1 Fiabilité

L'examen des documents d'entretien de l'avion n'a rien révélé de particulier sur le comportement en vol du RADALT.

2.1.3.5.2 Disponibilité pendant le vol CRX 3597

Les enregistrements du CVR ne font état d'aucun dysfonctionnement des affichages du RADALT pendant le vol.

La hauteur radar des deux émetteurs-récepteurs RADALT a été enregistrée par le DFDR. Compte tenu de la topographie, les valeurs constatées paraissent plausibles.

Les avertissements sonores «*five hundred*» et «*minimums*» ont retenti normalement, ce qui prouve que, jusqu'à l'accident, le système RADALT1 a fonctionné. L'avertissement «*minimums*» a retenti à 300 ft AGL. Auparavant, l'équipage avait sélectionné la hauteur de décision (DH) standard. La comparaison des valeurs RADALT avec celles de l'altimètre asservi en tenant compte de la topographie a montré que les altitudes des deux sources étaient concordantes.

2.1.3.6 Transpondeur ATC

2.1.3.6.1 Fiabilité

L'examen des documents d'entretien de l'avion n'a rien révélé de particulier sur le comportement en vol du transpondeur ATC.

2.1.3.6.2 Disponibilité pendant le vol CRX 3597

Le tracé radar est plausible pour toute la phase d'approche. L'altitude (altitude-pressure) enregistrée par le FDR concorde avec celle figurant sur le tracé radar.

Le radar du Holberg a enregistré le dernier écho du vol CRX 3597 à 21:06:32 UTC. L'écho attendu à 21:06:36 UTC n'a jamais été reçu.

2.1.4 Entretien

Conclusions de l'examen des dossiers d'entretien à partir du contrôle C2 de mai 2000:

- Rien n'indique que les contrôles d'entretien périodiques prescrits par les autorités et par le constructeur n'ont pas été effectués dans les intervalles fixés.
- Au moment de l'accident, les composants dont l'utilisation est limitée dans le temps ne dépassaient pas les durées d'exploitation prescrites.
- Le taux d'erreurs de l'avion HB-IXM était dans la moyenne de la flotte d'Avro 146-RJ 85/100.
- Le taux de panne élevé de l'APU était courant dans toute la flotte d'Avro 146-RJ 85/100 depuis la mise en service de ce type d'avion.
- Le calibrage prescrit de l'altimètre de secours et des deux ADC n'a pas été effectué conformément aux dispositions prévues par l'OFAC.
- Plusieurs paramètres relatifs à la position des gouvernes enregistrés par le DFDR n'ont pas pu être exploités. Ce problème avait déjà été constaté lors d'un contrôle des paramètres le 27 mars 2001 et n'avait pas été résolu.

2.1.5 Navigabilité

Rien n'indique qu'au moment de l'accident l'avion HB-IXM n'était pas en état de voler.

2.1.6 Questions relatives à la survie des occupants

La topographie, la direction de la trajectoire de vol et la densité de la forêt ont amorti la violence du choc.

Lors de l'impact avec la cime des arbres, le radôme a été arraché, la partie droite du fuselage a été éventrée et les câbles reliant la batterie de bord avec le système de répartition électrique ont vraisemblablement été endommagés, ce qui pourrait expliquer le jet d'étincelles observé par le passager voyageant sur le siège 14B.

Lorsque l'avion s'est écrasé au sol, le feu qui s'était déclaré peu après le premier contact avec les arbres s'est propagé rapidement et l'incendie a atteint des températures très élevées en quelques secondes, réduisant ainsi drastiquement les chances de survie des occupants.

Rien ne permet de penser que les membres de l'équipage de cabine ayant survécu à l'accident auraient pu augmenter les possibilités de survie des autres occupants.

La police et les secours sont intervenus rapidement et efficacement.

2.2 Aspects humains et opérationnels

2.2.1 Le modèle «SHEL»

Les accidents d'aviation sont souvent dus à des concours de circonstances complexes dans lesquels interviennent des facteurs humains, techniques, opérationnels et environnementaux. L'enquête repose donc sur une approche systémique qui ne se limite pas aux erreurs évidentes, mais qui cherche à analyser la situation sous-jacente, afin d'identifier les causes primaires des erreurs commises.

Pour expliciter les relations entre les différents facteurs ainsi que le mode d'action et de décision des membres d'équipage, l'équipe d'enquêteurs a appliqué le modèle «SHEL» recommandé par l'OACI dans sa circulaire «*Facteurs humains. Etude n° 7 (Enquête sur les facteurs humains dans les accidents et incidents)*». Il s'agit d'un instrument permettant d'analyser les interactions homme-homme et homme-machine dans un environnement de travail précis. Les quatre lettres S-H-E-L sont l'abréviation des quatre facteurs de ce modèle d'analyse:

S – <i>software</i>	Facteurs immatériels: il s'agit principalement des procédures, listes de vérifications, directives et règles.
H – <i>hardware</i>	Facteurs techniques: les systèmes techniques tels que l'avion, l'équipement, etc.
E – <i>environment</i>	Facteurs extérieurs: météo, autres avions, service de la navigation aérienne, entreprise de transport aérien et autorité de surveillance.
L – <i>liveware</i>	Facteurs humains: l'homme dans toute sa diversité et avec ses limites est au cœur du modèle. Il peut y avoir des interactions entre plusieurs facteurs L (commandant, copilote, etc.).

Dans l'enquête sur l'accident du vol CRX 3597, le commandant et le copilote sont les éléments centraux du domaine L (facteurs humains). La nature des interactions entre les deux pilotes a également été analysée. Les interactions entre l'équipage et l'avion (L-H) ainsi que le comportement de l'équipage vis-à-vis des procédures (L-S) ont aussi fait l'objet d'analyses approfondies tout comme l'influence des facteurs extérieurs sur le comportement des pilotes (L-E). Parmi les facteurs extérieurs analysés figurent, outre la météo et le service de la navigation aérienne, l'entreprise de transport aérien et l'autorité de surveillance. Le résumé du déroulement du vol joint (cf. annexe 1) a servi de base pour l'étude des procédures dans le temps.

2.2.2 Commandant (L)

2.2.2.1 Faits antérieurs

Les premiers indices des limites de capacités du commandant et de sa difficulté à les accepter remontent à sa formation secondaire non achevée et au refus de sa candidature à l'IAP, même après la troisième demande d'entrée en matière. Ces tentatives répétées sont déjà un signe de son obstination à atteindre ses objectifs aéronautiques.

Lorsqu'il est entré au service de Crossair, en 1979, avec ses 4000 heures de vol le commandant était déjà considéré comme expérimenté. Précédemment, il avait effectué des vols affrétés sur de plus petits avions pendant plusieurs années et il avait obtenu l'autorisation de former des élèves-pilotes aux règles VFR et IFR. Il ressort de ses dossiers que le commandant avait manifestement du talent pour voler à vue et qu'il réussissait haut la main les cours de transition sur de nouveaux types d'avions. En revanche, il n'a obtenu l'autorisation IFR qu'à la troisième tentative, après deux échecs à l'examen. Ses difficultés avec les règles de pilotage IFR, qui avaient été constatées par divers experts de l'Office fédéral de l'air à l'occasion des vols de contrôle périodiques, subsistaient alors qu'il formait lui-même des élèves-pilotes aux règles IFR, qu'il pilotait régulièrement dans ces conditions et jouissait donc d'un bon entraînement. C'est chez Crossair, peu après son entrée dans l'entreprise de transport aérien, qu'il a fréquenté son premier cours de transition sur un avion de transport. Ce cours avait eu lieu dans un centre de formation international. Le commandant a passé l'examen pour l'autorisation de type sous la surveillance d'un expert de l'Office fédéral de l'air et, malgré son expérience de vol, il ne l'a réussi qu'avec la note «*below average*». Le dossier fait état de problèmes de fond dans le domaine des règles IFR et d'une vue d'ensemble lacunaire.

Peu de temps après, l'Office fédéral de l'air avait transféré à des experts employés dans les entreprises de transport aérien la supervision des contrôles de performance des pilotes tels que contrôle lors d'un vol de ligne, contrôle en simulateur et contrôle d'aptitudes après un cours de transition. Cette pratique est encore en vigueur aujourd'hui. A partir de là, les évaluations du commandant sont allées en s'améliorant et en 1982, Crossair a jugé ses prestations de vol supérieures à la moyenne. Hormis quelques exceptions, jusqu'au début de 1996 les fiches de contrôle contenaient peu de remarques probantes et les prestations du commandant étaient jugées dans l'ensemble bonnes (cf. annexe 9).

Les deux cours de transition sur MD 80 ont mis en évidence des difficultés qui avaient déjà été constatées au début de la carrière du commandant. Malgré plusieurs leçons supplémentaires en simulateur, ses progrès sont restés insuffisants. Le jugement selon lequel il avait une vue d'ensemble lacunaire et des problèmes avec des règles de pilotage élémentaires était pertinent et concordait avec les lacunes relevées antérieurement. L'enquête a montré que les cours de transition MD 80 étaient d'un bon niveau et se déroulaient de manière loyale par rapport aux participants.

Pendant la période durant laquelle le commandant a piloté le type d'avion Saab 340, quelques problèmes de performances sont apparus alors que leur appréciation restait tout à fait positive. Les responsables de la compagnie ne les ont soit pas pris en compte, soit n'ont pas réagi de façon adéquate à ces problèmes. La décision a ainsi été prise de réintégrer le commandant dans la flotte Saab 340 sans analyser les raisons de ses échecs aux cours de transition. Par la suite, ses prestations sur Saab 340 ont à nouveau été jugées globalement bonnes. Avec le retrait programmé de ce type d'avion

de sa flotte, Crossair a dû chercher un nouveau type d'avion que le commandant pourrait piloter, celui-ci ayant exprimé son désir de continuer à voler. Sans autre forme de procès, il a été décidé que l'Avro RJ 85/100 serait le mieux adapté pour lui. Ainsi, le commandant a été inscrit à un cours de transition sur ce type d'avion. Comme les instructeurs et les experts responsables de cette formation travaillaient avec les mêmes exigences et les mêmes principes que dans la flotte de Saab 340, les jugements étaient de même positifs. Le fait que, selon les documents produits, le commandant aurait travaillé pratiquement sans commettre d'erreur est en contradiction avec les appréciations antérieures faites par des experts qui n'étaient pas issus de l'entreprise de transport aérien.

Une certaine aversion pour les systèmes techniques complexes se déroule donc tel un fil rouge tout au long de la carrière aéronautique du commandant. L'utilisation inadéquate des aides à la navigation avait déjà été notée au début de son parcours de pilote et les problèmes rencontrés plus tard avec le système de guidage de vol numérique du MD 80 y font écho. La configuration des instruments du commandant, telle qu'elle a été constatée dans l'épave de l'avion accidenté, mène aussi à la conclusion que les instruments de navigation n'ont pas été utilisés de manière optimale lors de ce vol. Néanmoins, ce fait a été estimé comme sans incidence sur le déroulement de l'accident.

2.2.2.2 Comportement pendant le vol CRX 3597

Tous les témoignages présentent le commandant comme une personne très tranquille sachant se dominer. Il faisait autorité sur les copilotes en raison de sa grande expérience de vol et de ce calme presque inébranlable. Les enregistrements du CVR donnent la même image pendant pratiquement toute la durée du vol fatal. Le commandant ne se départit de son flegme que dans deux situations. A 20:48:39 UTC, lorsqu'il apprend que – contrairement à ses attentes – l'approche devra se faire par la piste 28, il laisse échapper un gros mot: «Ou Sch*****, das äno, guet, ok» (Oh, m*****, voilà encore quelque chose... OK, allons-y). Cela pourrait être une indication selon laquelle ce changement de dernière minute ne lui convenait pas particulièrement. A 21:06:25 UTC, soit une dizaine de secondes avant que l'appareil ne frôle les premiers obstacles, il se peut qu'un début de gêne ait provoqué cette nouvelle expression spontanée: «Sch*****, zwoo Meile hät er gseit, gseht er d'Pischte» (M*****, il a dit qu'il voyait la piste à deux nautiques).

Le vol s'est déroulé normalement jusqu'à environ 90 secondes avant que l'avion ne frôle les premiers arbres. Certaines décisions et actions antérieures ont certes influencé le déroulement de l'accident, mais ne devaient pas obligatoirement conduire à une issue fatale. L'enquête reviendra plus loin sur ces actes et décisions préparatoires.

Le premier indice montrant que l'approche ne suivait pas la trajectoire de descente prévue est apparu au commandant à 21:05:21 UTC, lorsque l'avion se trouvait à une distance oblique de 6 NM du VOR/DME KLO. Selon le profil d'approche, l'altitude minimale prévue est ici de 3360 ft QNH, or l'altitude effective du HB-IXM à cet endroit était de 3240 ft QNH. Comme le prouvent les enregistrements du CVR, le commandant a bien vérifié l'altitude à une distance de 6 NM du VOR/DME KLO, mais il n'a pas détecté l'écart de 120 ft ou l'a jugé acceptable. A 20:05:27 UTC, il a dit: «Sächs Meile drüü drüü isch *checked*» (Six nautiques trois trois *checked*). Le commandant devait alors être conscient de la distance par rapport à l'aérodrome mais il n'a pas modifié le taux de descente et n'a même pas abordé ce sujet.

Par la suite, le commandant a parlé plusieurs fois de la MDA, et ce avant de l'atteindre. Environ 15 secondes avant que l'avion n'arrive à la MDA de 2390 ft QNH, il a constaté qu'il avait établi le contact visuel avec le sol: «*ground contact hämmer, hä*» (On a le *ground contact* hein). On peut en déduire que, dans cette phase, il a regardé à l'extérieur. La remarque qu'il a faite ensuite montre qu'il avait compris, au moins en partie, le message météo transmis à 21:04:34 UTC par le vol Crossair CRX 3891: «*Mä hät gseit, Pischte hät er spaht gseh da...*» (On a dit qu'ici, il a vu la piste tard...). L'avion se situait alors à une portée oblique d'environ 4,8 NM du VOR/DME KLO. Contrairement à ce qu'il avait fait à 21:05:27 UTC, cette fois-ci le commandant n'a pas vérifié la distance. On peut considérer que cela constitue le premier indice d'une perte de contrôle au moins partielle de la situation.

Peu après, à 21:06:10 UTC l'avion a atteint la MDA de 2390 ft QNH et simultanément le commandant a dit: «*...zwo vier, s'Minimum... ground contact han ich... mer gönd wiiter im Moment... es chunnt füre, ground contact hämer... mer gönd wiiter...*» (...deux quatre, le minimum... j'ai le *ground contact*... pour le moment on continue... ça se rapproche, on a le *ground contact*... on continue...). Il était donc conscient d'avoir atteint la MDA mais il n'a pas fait le rapprochement avec la distance par rapport au VOR/DME KLO. Alors que les conditions de visibilité prescrites pour quitter la MDA n'étaient pas établies, le commandant a décidé de continuer à descendre. Les éléments suivants ont probablement conduit le commandant à prendre cette décision:

- Il avait établi le contact visuel avec le sol.
- Il s'attendait à voir la piste d'un moment à l'autre – c'est en tout cas ce que laissent entendre ses remarques.
- Fort de sa longue expérience sur Saab 340, le commandant avait l'habitude, fait avéré pour l'approche sur Lugano, de descendre sous la MDA en ayant uniquement établi le contact visuel avec le sol et pas avec la piste. Comme le montre la description de l'incident de décembre 1995, le commandant avait suffisamment confiance en lui pour appliquer cette procédure de nuit et dans des conditions de vol aux instruments.

Vu les conditions météorologiques au moment de l'accident, il est très improbable que l'équipage ait pu établir un contact visuel avec la piste, car lorsque l'avion est passé sous la MDA il se trouvait encore à une portée oblique de 4,4 NM (8,1 km) du VOR/DME KLO et à 3,5 NM (6,5 km) du seuil de la piste.

A 21:06:22 UTC l'avion a atteint l'altitude de 500 ft RA et le message GPWS suivant a été entendu: «*Five hundred*» (cinq cents). Cette annonce a peut-être semé le doute dans l'esprit du commandant, car juste après il a dit: «*Sch*****, zwee Meile hät er gseit, gseht er d'Pischte*» (M*****, il a dit qu'il voyait la piste à deux nautiques). Une fois de plus, il se remémore le message de l'équipage qui a atterri juste avant lui. Le commandant avait compris l'essentiel du message, c'est-à-dire que l'équipage du vol CRX 3891 avait vu la piste à une distance de 2 NM du VOR/DME KLO. Comme à cet instant le HB-IXM se trouvait encore à une distance de 3,1 NM du seuil de piste, il lui était impossible d'établir un contact visuel avec la piste. Mais dans les secondes qui ont suivi, le commandant ne s'est préoccupé que de l'altitude de l'avion. A 21:06:31 UTC, il a lu l'altimètre: «*Zwöi Tuusig*» (deux mille). Comme le commandant a toujours exprimé à haute voix tout ce qu'il lisait sur les instruments pendant ce vol, on peut penser que dans cette phase de l'approche il n'a lu plus que l'altimètre. De toute évidence il n'a plus vérifié la distance du DME. Il a donc perdu le contrôle d'un paramètre essentiel pour la surveillance de l'approche. Probablement que le commandant a alors continué à chercher à établir le contact visuel avec le sol. Puisqu'il n'a plus fait état d'aucune référence visuelle, tout porte à croire qu'il n'en avait plus.

Une seconde plus tard, à 21:06:32 UTC le GPWS a déclenché l'alarme «*minimums*» car l'avion avait atteint l'altitude de 300 ft RA. Une seconde après, le commandant a demandé en hésitant: «Sölled mer en *go around* mache?» (Est-ce qu'on devrait faire un *go around*?). Comme l'ont montré les essais en simulateur, si au lieu de poser la question, le commandant avait alors engagé la procédure de remise des gaz, il aurait probablement pu éviter de justesse la collision avec les arbres.

A 21:06:34 UTC, le commandant a enfin décidé de remettre les gaz, peut-être parce qu'il a vu des obstacles dans le faisceau du phare d'atterrissage.

2.2.2.3 Aspects médicaux

L'enquête n'a rien révélé qui puisse permettre de conclure à une cause médicale de l'accident, même en partie. Il manque en particulier des indices d'une incapacité soudaine due à des raisons médicales (*obvious sudden incapacitation*).

Les deux jours qui ont précédé l'accident, le commandant avait très nettement dépassé les périodes de service de vol autorisées et la durée de ses périodes de repos avait été légèrement plus courte que le minimum prescrit. On peut donc supposer que, le jour de l'accident, le commandant était dans un état de grande fatigue. Lorsque l'accident s'est produit, le commandant était déjà éveillé depuis une quinzaine d'heures. A cause de son activité professionnelle accessoire d'instructeur de vol IFR exercée avant sa période de service de vol de ligne, au moment de l'accident il était déjà en service depuis plus de treize heures, sans interruption de longue durée qui lui aurait permis de se reposer (en dormant par exemple). Les mauvaises conditions météorologiques qui ont régné toute la journée exigeaient une forte concentration, ce qui pourrait aussi avoir contribué à accroître l'état de fatigue du commandant.

Ce type de fatigue entrave la capacité à se concentrer, à prendre des décisions et à analyser des processus complexes. Cela favorise également une augmentation du taux d'erreur comme on a pu l'observer pendant ce vol.

- A 23:43:44 UTC, pendant que le commandant faisait un briefing pour l'approche sur la piste 14, le copilote a attiré son attention sur le fait que la vitesse était trop élevée: «Mer chömed glaub mit de *speed* ächli in rote Bereich ine» (Je crois qu'on arrive un peu dans la zone rouge avec la *speed*). Apparemment le commandant n'a pas accordé suffisamment d'importance à ce paramètre pendant le briefing.
- Lors du deuxième briefing d'approche, celui concernant l'approche pour la piste 28, le commandant a décrit son projet comme suit, peu après 20:52 UTC: «Wämer dä *turn* macht bi Ko...Komma Sächs Meile, Sächs Komma Föif Meile *left turn* und dänn dä Aaflug da gemäss Profil...» (Si on fait le *turn* à vir... virgule six nautiques, six virgule cinq nautiques, *left turn* et puis approche d'après le profil...). Il parle donc d'un virage à gauche, alors qu'un virage à droite est nécessaire pour s'aligner sur l'axe d'approche. Le commandant a décrit ce qu'il voyait sur la carte d'approche sans se représenter la trajectoire de vol dans l'espace: sur une carte d'approche avec le Nord en haut, l'alignement de piste au cap 275° est dirigé vers la gauche.
- C'est peut-être aussi à cause de la fatigue qu'à une distance oblique de 6 NM du VOR/DME KLO il a jugé l'écart par rapport à la trajectoire de descente prescrite trop peu important pour le corriger.
- On pourrait aussi attribuer à la fatigue le fait que la vitesse de descente n'a pas été réduite proportionnellement à la diminution de la vitesse horizontale, ce qui s'est traduit par une pente de descente de plus en plus raide.

Ces éléments permettent d'affirmer que l'état de fatigue du commandant répondait aux critères d'une incapacité légère (*subtle incapacitation*).

2.2.3 Copilote (L)

2.2.3.1 Généralités

Le copilote a suivi un parcours de formation aéronautique sans faute jusqu'à la licence de pilote professionnel avec autorisation IFR. Il possédait en outre une licence ATPL *frozen* puisqu'il avait déjà fréquenté un cours de théorie pour pilote de ligne et réussi les examens correspondants. Son expérience globale de vol était limitée car il avait tout juste 500 heures à son actif. Néanmoins, il avait un tout petit peu plus d'expérience que le commandant sur le type d'avion accidenté car il avait commencé à piloter l'Avro RJ 85/100 deux mois environ avant lui.

De toutes parts, le copilote est décrit comme une personne sensible et aimable. Pendant le processus de sélection des pilotes de Crossair, on avait constaté que le copilote avait tendance à se soumettre. Il avait aussi été qualifié de personne pleine de vitalité, mais pas combative, et recherchant l'harmonie.

En soi, ces traits de caractère ne sont pas un obstacle à une carrière de pilote couronnée de succès, pour autant que cet aspect soit pris en considération dans le cadre de la formation et dans les opérations de vol.

2.2.3.2 Aspects médicaux

L'enquête n'a rien révélé qui puisse permettre de conclure à une cause médicale de l'accident, même en partie. Il manque en particulier des indices d'une incapacité soudaine, totale ou partielle, due à des raisons médicales (*obvious or subtle sudden incapacitation*).

2.2.4 Interactions entre le commandant et le copilote (L-L)

2.2.4.1 Généralités

On constate d'emblée que l'expérience de vol du commandant était près de quarante fois celle du copilote et qu'il était nettement plus âgé que lui. Cela s'est traduit par un net fossé hiérarchique entre les deux membres d'équipage dans le poste de pilotage. Le commandant et le copilote s'étaient connus lors de sa formation IFR à l'école Horizon Swiss Flight Academy, mais ce point n'a probablement pas joué un rôle de premier plan dans le cadre de l'accident du vol CRX 3597, car leur expérience commune était limitée à deux vols d'écologie où le commandant avait été l'instructeur du copilote. En revanche, le commandant a creusé le fossé hiérarchique en donnant une leçon de près de deux minutes sur l'interprétation d'un bulletin de piste, plaçant ainsi le copilote dans la position de l'élève. Pourtant, juste avant, le copilote avait déchiffré correctement, et presque entièrement, le bulletin de piste de Zurich-Kloten. Ces explications étaient donc superflues. D'ailleurs, pendant ce temps le copilote semble se désintéresser de ce que dit le commandant.

2.2.4.2 Poursuite du vol sous l'altitude minimale de descente

Le commandant a décidé de poursuivre la descente au travers de l'altitude minimum de descente (MDA) malgré qu'il ne disposait d'aucun contact visuel avec le dispositif lumineux d'approche, ou de la piste. Au sens de l'analyse d'erreurs, ceci constitue un non-respect des exigences de procédure. La tâche du copilote consistait, entre autres, à surveiller le travail du commandant afin d'identifier des erreurs – si possible avant qu'elles ne soient commises. Comme l'enquête a permis de le constater, cela n'a pas été fait pour les raisons exposées ci-après.

- Lors du briefing pour la procédure d'approche standard VOR/DME 28, entre 20:51:56 et 20:53:05 UTC, les pilotes ont discuté des informations figurant sur la carte d'approche mais ils n'ont pas développé de véritable stratégie pour l'approche. Ils n'ont en particulier pas déterminé en quoi la configuration de l'avion devait s'écarter des procédures standard, comment la vitesse devait être réduite et à quelle distance de la piste l'approche aux instruments serait interrompue. C'est parce qu'il ne disposait pas d'un tel plan d'action que le copilote a eu de la difficulté à apprécier l'évolution de la situation en temps voulu.
- La décision de ne configurer l'avion pour l'atterrissage qu'après le repère d'approche finale et de modifier constamment cette configuration pendant toute l'approche finale a rendu la surveillance de la trajectoire de descente plus difficile pour les deux pilotes et ne leur permettait pas d'anticiper l'évolution de la situation. Cette surveillance a d'ailleurs été inexistante, ou en tout cas insuffisante, ce que prouve le fait qu'à 21:04:36 UTC le commandant a sélectionné un taux de descente (ROD) de 1000 ft/min qui était acceptable pour la vitesse effective de l'avion à ce moment précis (160 kt). Mais par la suite, la ROD n'a plus été adaptée à la diminution de la vitesse horizontale de l'avion. Par conséquent, la pente de descente est devenue de plus en plus raide par rapport au plan de descente nominal et l'avion est passé au-dessous de cette valeur (cf. annexe 10).
- Le premier indice montrant au copilote que l'approche ne suivait pas la trajectoire de descente prévue lui est aussi apparu à 21:05:21 UTC, lorsque l'avion se trouvait à une distance oblique de 6 NM du VOR/DME KLO. Le commandant avait mentionné ce point mais n'avait pas réagi à la différence d'altitude. A ce moment-là, le copilote était encore occupé par les derniers points des vérifications pour l'approche et ne se trouvait pas dans une situation avantageuse pour surveiller le commandant. Dans les secondes qui ont suivi, il a de nouveau été occupé par des manipulations et a pris contact avec la tour de contrôle d'aéroport (TWR) de Zurich.
- Juste après, à 21:05:36 UTC, une nouvelle série d'activités a commencé pour les deux pilotes, rendant un contrôle de l'angle d'approche plus difficile. Commandant: «Flaps 33» – Copilote: «Speed checked, flaps 33 selected» – Commandant: «Final check» – Copilote: «Final check, confirm three greens» – Commandant: «/s checked». Commandant, commentant la vitesse d'approche ($V_{ref} + 5$ kt): «Hundert sächzäh» (Cent seize [116]) – Copilote: «Full flaps... set» – Commandant: «Checked» – Copilote: «Cabin report received» – Commandant: «Received» – Copilote: «Landing clearance to go» – Commandant: «Isch to go» (C'est to go) – Copilote: «Jawohl» (Exact).
- Lorsque les activités décrites ci-dessus se sont achevées, le HB-IXM était à environ 3,9 NM du seuil de piste et encore quelque 200 ft au-dessus de la MDA. Les quinze secondes restantes jusqu'à ce que l'avion atteigne la MDA ont probablement été trop brèves pour que le copilote puisse se refaire une image complète de la situation.

- Les enregistrements du CVR montrent que la communication et la collaboration entre le commandant et le copilote étaient tranquilles et concrètes. Avec son calme légendaire, dont il ne s'est pratiquement pas départi de la journée, le commandant a vraisemblablement donné au copilote l'impression d'un supérieur expérimenté, agissant de manière réfléchie. C'est peut-être la raison principale pour laquelle le copilote n'est pas intervenu lorsque, à 21:06:10 UTC, le commandant a poursuivi la descente sous la MDA. Comme il a dit doucement «Deux, quatre» lorsque l'avion a franchi l'altitude minimale, il est clair qu'il était conscient de la véritable altitude de vol. On ne sait cependant pas s'il a établi une relation entre cette altitude et la distance de la piste.
- Pendant les 24 secondes qui se sont écoulées entre le franchissement de la MDA et le début de la tentative de remise des gaz, le copilote ne s'est visiblement pas exprimé et n'a pas agi. Du fait de sa formation et de ses compétences, on peut supposer qu'il était capable d'interpréter comme une erreur le fait de descendre sous la MDA sans avoir établi des références visuelles suffisantes. Pourtant, il semble qu'il n'ait pas été capable de surmonter sa retenue afin d'intervenir.

2.2.4.3 Gestion des ressources de l'équipage (CRM)

Ce n'est que dans les dernières années de sa carrière que le commandant a eu affaire avec la formation CRM. La formation et le perfectionnement CRM ont pour but, entre autres, d'améliorer les comportements types et l'attitude générale des membres d'équipage afin d'optimiser la collaboration. On sait, par expérience, que ce processus dure plusieurs années. Les circonstances de l'accident montrent des lacunes en matière d'efficacité de la collaboration: les ressources de l'équipage n'ont pas été suffisamment exploitées pour se surveiller réciproquement. Le copilote avait reçu une formation CRM, mais les circonstances de l'accident montrent que le transfert de la théorie à la pratique était encore incomplet.

En résumé, on constate que la composition de l'équipage a joué un rôle dans les décisions et les actes inappropriés des pilotes qui ont conduit à l'issue fatale (cf. Recommandation de sécurité 2002-1)

2.2.5 Interactions entre l'équipage et l'avion (L-H)

2.2.5.1 Généralités

L'analyse des interactions entre l'équipage et l'avion (L-H) s'est concentrée sur l'aspect homme-machine, sans se limiter à l'avion en tant que tel mais en prenant en considération ses équipements, et en particulier la documentation relative à la procédure d'approche utilisée pendant le vol.

Avant toute chose, il faut rappeler que l'avion HB-IXM a été en état de voler jusqu'à la collision avec les premiers obstacles. Les dispositifs de guidage de vol et de navigation, en particulier, ont fonctionné correctement. Les difficultés du GAP, qui ont nécessité une deuxième tentative de démarrage pendant l'approche, n'ont influencé l'accident en aucune manière. A 21:00:04, avant que la descente pour l'approche finale ne commence, le GAP fonctionnait.

En réglant correctement la pression de référence des altimètres à 20:58:13 UTC et en comparant réciproquement leurs instruments, les pilotes se sont mis en condition de

pouvoir mesurer efficacement un paramètre essentiel dans une procédure d'approche classique: l'altitude au-dessus du niveau de la mer.

2.2.5.2 Utilisation des dispositifs de guidage de vol et de navigation

A 20:59:25 UTC, le commandant avait précisé: «LNAV isch dine, das düemer dän schnell mit em LNAV flüüge, detä... uf hundertachtiesiebzig» (Le LNAV est bon, on va vite y aller avec un LNAV, là-bas... à cent septante-huit [178]). Selon toute vraisemblance, il avait alors saisi la route suivante: ZUE - D178F - KLO* - KLO** - RW28. Le pilote automatique travaillait en mode VORNAV1 et un radioalignement *inbound* de 125° vers VOR ZUE avait été saisi.

A 21:00:06 UTC, le commandant avait annoncé: «LNAV isch *engaged*, da simer praktisch druffe... dän hämer hundert achtiesibzig dä Kurs» (LNAV est *engaged*, on y est pratiquement... après on a cent septante-huit [178] comme cap). Le mode du pilote automatique a alors été mis sur LNAV1 et, selon toute vraisemblance, un DTO ZUE a été saisi simultanément. En même temps, le commandant a aussi tourné son sélecteur de radioalignement VOR sur 178°.

A 21:00:17 UTC le commandant a sélectionné la fréquence VOR/DME de 114,85 MHz (KLO) dans la fenêtre de présélection de son panneau de commande VOR/ILS/DME. Jusque-là, ZUE était encore sélectionné activement. Il est probable que, sur son ECP, le commandant ait choisi LNAV comme alignement principal et VOR1 comme alignement secondaire (*2nd course*). Quant au copilote, il avait vraisemblablement sélectionné LNAV comme alignement principal et VOR2 comme alignement secondaire. Etant donné que le sélecteur de navigation latérale était en position LNAV1, le code „LNAV1“ devait s'afficher en jaune sur les deux ND.

A 21:01:14 UTC, le commandant a évoqué ceci: «Guet, das stimmt überii s'LNAV und de *radial*, den gan ich mit dem füre uf Chlote, mit em *inbound track 275*» (Bon, ça coïncide, le LNAV et la radiale, alors je continue avec celui-ci en avant vers Kloten, avec *inbound track 275*). De son côté, quelques secondes auparavant, le copilote avait sélectionné un alignement VOR 275°. Pour pouvoir comparer la radiale VOR avec la route LNAV, le commandant avait peut-être commuté son alignement secondaire sur VOR2. Il a aussi annoncé son intention de continuer sur Kloten en mode de navigation latérale. Peu après, le commandant a aussi changé l'alignement VOR sur 275° de son côté.

A 21:02:32 UTC l'avion a atteint le point de cheminement D178F et a commencé à virer à droite en direction du repère d'approche finale (FAF), toujours en mode de navigation latérale. Les pilotes avaient alors tous deux déjà branché leur dispositif de navigation VHF sur la fréquence du VOR/DME KLO et l'avaient contrôlé.

A 21:03:38 UTC, le copilote a proposé de présélectionner le VOR, comme les procédures de la compagnie l'exigent (*PIH Avro RJ 85/100, procedure 15.1, standard GNS-X procedures*). Le commandant était toujours persuadé qu'il valait mieux poursuivre l'approche en mode de navigation latérale. Mais il s'est ensuite rallié à la proposition du copilote et a sélectionné le mode VOR à 21:03:52 UTC.

A 21:04:15 UTC l'avion a rejoint l'alignement VOR sélectionnée et s'y est maintenu (*VOR capture*). Jusqu'à l'accident, le pilote automatique est resté en mode VOR.

Pendant la descente par paliers, le pilote automatique a été exploité en alternance en mode de maintien d'altitude et en mode de vitesse verticale. A 21:04:23 UTC, le vol CRX 3597 a atteint le point de cheminement D8KLO (KLO*) à une altitude de

4000 ft QNH et a alors entamé sa trajectoire de descente avec, au début, une vitesse descendionnelle de 1000 ft/min.

Le pilote automatique a été déclenché à 21:06:34 UTC et une procédure manuelle de remise des gaz a été engagée.

Après l'accident, les boutons ont été retrouvés dans les positions indiquées ci-après:

Emplacement	Élément	Position
Tableau de bord - gauche	Commutateur EFIS	<i>NORM</i> coiffe de protection intacte
	EFIS 1 MSTR (interrupteur à levier)	<i>ON</i>
Boîtier de commande d'intensité lumineuse	Commutateur du radar météo	en bout de course en sens antihoraire
Tableau de bord - droite	EFIS 2 MSTR (interrupteur à levier)	<i>ON</i>
	Sélecteur de relèvement (BRG)	<i>VOR</i>
ECP – gauche	Sélecteur de distance (RNG)	10
	Sélecteur d'alignement (CRS)	<i>OFF</i>
	Format	<i>MAP</i>
	Sélecteur de relèvement (BRG)	<i>OFF</i>
ECP - droite	Sélecteur de distance (RNG)	10
	Sélecteur d'alignement (CRS)	<i>LNAV</i>
	Format	<i>MAP</i>

On peut penser que le commandant a mis le sélecteur de radioalignement en position *OFF* pendant l'approche finale afin de libérer de l'espace sur son ND (*declutter*). Dans cette situation, il avait très probablement sélectionné *VOR2* comme radioalignement secondaire. Etant donné que, sur le tableau de commande *VOR/ILS/DME*, le sélecteur *DME* était en position *HOLD*, le ND du commandant indiquait également l'écart *VOR*, en plus du relèvement et de l'alignement *VOR*.

On peut estimer que le copilote a utilisé les modes susmentionnés tels qu'ils ont été retrouvés pendant toute l'approche, et qu'il avait sélectionné le *VOR2* comme alignement secondaire. Le sélecteur *DME* était également en position *HOLD* sur son tableau de commande *VOR/ILS/DME*, si bien qu'il disposait sur son ND, outre de la présentation *LNAV*, de l'alignement et de l'écart *VOR*. Par contre, il n'avait pas accès au relèvement du *VOR*, pas même sur son *DBI*.

Pour conclure, voici en bref ce qui peut être dit au sujet de l'utilisation des dispositifs de guidage de vol et de navigation:

Il existe de nombreuses possibilités d'affichage des informations sur les écrans de navigation des pilotes. En outre, le sélecteur d'alignement et le bouton *2nd CRS* permettent un grand nombre de combinaisons. Il n'est donc pas possible de se prononcer avec précision sur les modes d'affichage choisis, car ces manipulations ne sont pas enregistrées.

Néanmoins, sur la base de la position des interrupteurs relevée dans l'épave de l'avion, on peut se prononcer avec une quasi-certitude sur les modes d'affichage sélectionnés

pour l'approche finale. On ne s'explique pas pour quelle raison l'interrupteur placé sur le tableau de commande était sur la position *LNAV1* et non *SPLIT* comme le prévoyaient les procédures de vol de Crossair.

La présentation choisie ne paraît pas optimale, mais il est pratiquement certain que cela n'a eu aucune incidence sur le déroulement de l'accident.

2.2.5.3 Avertisseurs

Environ une minute avant l'engagement de la procédure de remise des gaz, l'avion affichait une ROD constante de 1200 ft/min. L'enquête a révélé que, pendant toute l'approche finale, les paramètres dynamiques de l'avion sont restés juste à la limite des restrictions correspondant aux modes 1 (*excessive descent rate*) et 2B (*excessive terrain closure rate*), raison pour laquelle les avertisseurs du GPWS ne se sont pas déclenchés.

Par rapport au GPWS dont le modèle accidenté était équipé, un système d'avertissement et d'alarme d'impact (TAWS) aurait présenté plusieurs avantages. En particulier, lorsque l'avion configuré pour l'atterrissage se rapproche du sol à une trop grande distance de la piste, le système génère un avertisseur optique et sonore. Cette fonction est possible par l'accès à une banque de données topographiques sur les environs de l'aéroport. Si l'avion HB-IXM avait été équipé d'un système de ce type, ce dernier aurait détecté le danger de manière précoce et aurait pu avertir l'équipage.

Il faut mentionner qu'au moment de l'accident, il n'existait pas de document approuvé et remplissant les spécifications du TSO C151, classe A destiné à l'équipement d'un GPWS sur un TAWS pour le type d'avion AVRO 146-RJ100, Mark 1 (HB-IXM). En raison des exigences des JAA, ce changement doit être accompli au 1^{er} janvier 2005. Cette modification concerne également la flotte AVRO 146RJ85. Les avions de type AVRO 146-RJ100 Mark II étaient déjà équipés d'origine d'un TAWS. Il s'agissait alors d'un *enhanced ground proximity warning system* (EGPWS) produit par Honeywell, lequel remplit les spécifications du TSO C151, Classe A.

Afin d'accélérer le processus, le BFU a déjà émis la recommandation 2002-5 au début de l'enquête.

2.2.5.4 Avertissements vocaux (*call outs*)

La voix synthétique du GPWS a fonctionné normalement lorsque les hauteurs de 500 ft RA (*«five hundred»*) et 300 ft RA (*«minimums»*) ont été franchies. Ces avertissements ont déclenché certaines réactions chez les pilotes: l'avertissement concernant les 500 ft RA a semé le doute et peu après l'appel *«minimums»* l'éventualité d'une procédure de remise des gaz a été envisagée.

2.2.5.5 Obstacles non signalés sur les cartes d'approche

Aucun obstacle n'était signalé pour le segment d'approche finale de la piste 28 sur la carte d'approche 13-2 du 13 novembre 2000 du manuel des routes Jeppesen utilisé par l'équipage. Deux obstacles figuraient en revanche sur la carte d'approche LSZH AD 2.24.10.7-1 de l'AIP Suisse valable lors de l'accident. L'appareil HB-IXM est entré en collision avec l'obstacle situé au Nord, une colline équipée d'un feu d'obstacle à 1880 ft AMSL. On ne peut exclure que, si ces obstacles avaient figuré sur sa carte d'approche, le commandant aurait peut-être pris plus de temps avant de décider de

passer sous la MDA sans références visuelles suffisantes (cf. Recommandation de sécurité 2003-XX Représentation du profil du terrain sur les cartes d'approche).

2.2.6 Comportement de l'équipage vis-à-vis des procédures (L-S)

2.2.6.1 Généralités

L'analyse du comportement de l'équipage vis-à-vis des procédures (L-S) a porté en priorité sur l'application et la mise en œuvre des règles de vol en général et des procédures spécifiques à l'entreprise de transport aérien.

2.2.6.2 Passage des règles de vol IFR aux règles VFR

A 21:03:36 UTC, lorsque l'avion était entrain de virer à droite pour intercepter l'alignement de piste de l'approche standard VOR/DME 28, le commandant a évoqué pour la première fois le fait qu'il avait plus ou moins établi le contact visuel avec le sol: «*ground contact hämmer...*» (On a le *ground contact...*). Vu la position de l'avion à cet instant, il se peut qu'il ait aperçu les lueurs de Kollbrunn sur la gauche.

Entre 21:05:55 UTC et 21:06:21 UTC, le commandant a encore utilisé l'expression «ground contact» pour justifier la descente sous la MDA. Dans cette phase, l'avion survolait Nürensdorf et il est pratiquement certain que ce sont les lueurs de cette localité que le commandant a vues.

L'équipage du vol CRX 3891, qui avait atterri juste avant sur la piste 28, avait annoncé n'avoir vu la piste qu'à une distance d'environ 2,2 NM du VOR/DME KLO. Si l'on se réfère à cette annonce et aux conditions météorologiques à l'aéroport de Zurich à ce moment-là, on peut quasiment exclure que l'équipage du vol CRX 3597 ait pu voir le dispositif lumineux d'approche ou le balisage de piste. Ainsi les critères définis dans les JAR-OPS 1 et dans l'OM A de Crossair pour pouvoir poursuivre la descente sous la MDA n'étaient-ils pas remplis. L'expérience du commandant et les dossiers de formation du copilote montrent que les deux membres d'équipage connaissaient ces critères, d'autant qu'ils figuraient déjà dans les procédures Crossair avant l'introduction des JAR-OPS 1 en 1998.

Les remarques du commandant concernant le contact visuel avec le sol montrent qu'il regardait à l'extérieur, au moins de temps en temps. Selon la répartition des tâches dans le poste de pilotage, il était PF et donc responsable du pilotage de l'avion aux instruments. Les observations qu'il a faites entre 21:05:55 UTC et 21:06:21 UTC, surtout, laissent présumer qu'il s'est de plus en plus appuyé sur les références visuelles, pourtant insuffisantes. Ce passage inconscient des règles de vol IFR aux règles VFR l'a peut-être perturbé dans l'évaluation de la position effective de l'avion par rapport à la piste et à l'altitude de vol. Les procédures de l'entreprise de transport aérien (cf. ch. 1.17.1.8 et *OM A 8.4.7.4.15.2 Co-operation on changeover to visual flying*) prévoient une répartition des tâches claires entre le PF et le PNF pendant cette phase de vol. L'équipage ne s'est pas tenu à ces règles de procédures.

Comme l'a montré l'enquête, dans d'autres situations comparables le commandant avait déjà pris des décisions du même ordre et interprété ainsi à sa manière les procédures de l'entreprise. Il se peut que le copilote ait lui aussi déjà vécu de tels écarts par rapport aux procédures établies, ce qui pourrait expliquer pourquoi il n'est pas intervenu.

2.2.6.3 Configuration pendant une approche classique (NPA)

Les procédures de Crossair et les PANS-OPS prescrivait que l'avion devait être configuré pour l'atterrissage avant le passage du repère d'approche finale (FAF). De la sorte, l'assiette reste pratiquement inchangée, ce qui simplifie l'alignement et la surveillance de la trajectoire de descente pendant l'approche finale. Sans l'évoquer lors du briefing pour l'approche, le commandant a décidé de commencer l'approche plus tôt que prévu et de modifier constamment la configuration de l'avion pendant l'approche finale. Une telle démarche exigeait l'adaptation permanente du taux de descente à la vitesse de l'avion, ce qui n'a pas été réalisé (cf. annexe 4 & 10).

2.2.6.4 Calage de l'altitude pendant une approche classique (NPA)

Dans le PIH et dans les directives de formation Avro RJ (*training guidelines*), l'entreprise de transport aérien exigeait que l'altitude de remise des gaz (*go around altitude*) soit présélectionnée sur le MCP juste avant d'atteindre le FAF. Selon cette règle, l'équipage devait assurer les paliers en utilisant le mode de maintien d'altitude du pilote automatique. Le changement de palier devait être contrôlé par le mode de vitesse verticale.

Auparavant, conformément aux dispositions du PIH, la MDA était calée sur le MCP pendant l'approche finale. Cette procédure offrait un filet de sécurité car, de la sorte, une mise en palier se faisait automatiquement à la MDA si le pilote n'intervenait pas.

Le constructeur de l'avion accidenté laissait au choix de l'exploitant la possibilité de caler l'altitude sur le MCP.

En ce qui concerne la présélection de l'altitude de remise des gaz, l'équipage du vol CRX 3597 a respecté les règles de procédure de l'entreprise qui, par rapport aux anciennes procédures de Crossair, présentent l'inconvénient d'avoir éliminé un filet de sécurité supplémentaire. Reste que, même si l'ancienne procédure avait été appliquée, le commandant aurait pu empêcher le passage de l'avion en vol horizontal au moment où il aurait atteint la MDA.

2.2.7 Influence des facteurs extérieurs sur l'équipage (L-E)

2.2.7.1 Généralités

L'analyse de l'influence des facteurs extérieurs sur l'équipage a porté essentiellement sur les avions ayant précédé le HB-IXM sur la piste 28, la situation météorologique, le service de la navigation aérienne, la structure de l'approche et enfin l'entreprise de transport aérien et l'autorité de surveillance.

2.2.7.2 Avions précédents

Deux avions de la même entreprise de transport aérien (CRX 3891 et CRX 3797) ont atterri sur la piste 28 avant le vol CRX 3597 en adoptant la même procédure d'approche. Le commandant a en tout cas réalisé que le vol CRX 3891 avait réussi à atterrir et il n'est pas exclu que cela ait exercé une certaine pression à la réussite ou ait au moins éveillé l'espoir que les conditions météorologiques permettraient un atterrissage.

2.2.7.3 Conditions météorologiques et minima

Selon les minima en vigueur à l'époque, l'approche sur la piste 28 était possible dans les conditions météorologiques prévalant à ce moment-là.

Cependant, compte tenu de la visibilité au sol et de la nébulosité dans le secteur d'approche de la piste 28 annoncées par l'équipage du vol CRX 3891, une approche n'était possible qu'en volant horizontalement à la MDA jusqu'à une distance d'environ 2,2 NM du VOR/DME KLO. L'approche finale à vue à partir de cette position se traduit par une trajectoire de descente de 6° environ (cf. annexe 11).

Une telle pente doit être qualifiée de raide et d'inappropriée pour des grands avions car elle comporte un risque d'instabilité à basse altitude pendant l'approche finale.

Lorsque l'accident a eu lieu, la portée visuelle de piste minimale publiée pour les avions des catégories C et D était de 2000 m pour l'approche standard VOR/DME 28. Dans de telles conditions de visibilité, les premières lampes du dispositif lumineux d'approche peuvent être aperçus au plus tôt à une distance de 2,3 NM du VOR/DME KLO (cf. annexe 11, point P-3), soit 2 km des premiers feux d'approche.

La portée visuelle minimale, pour une NPA, est en relation avec la MDA. Si l'on applique les recommandations de l'OACI (doc. 9365-AN910, Manuel d'exploitation tous temps) la portée visuelle minimale est de 4000 m pour l'approche VOR/DME 28 pour les avions de la catégorie C.

A cet égard, la relation entre le point de descente à vue (VDP) et la visibilité horizontale minimale est intéressante. Pour l'approche standard VOR/DME 28, le VDP devrait être, par définition, le point d'intersection du plan du PAPI (3,7°) avec la MDA. Ce point d'intersection se situe à une distance oblique de 3,5 NM du VOR/DME KLO, soit 2,6 NM (4,8 km) du seuil de la piste (cf. annexe 11, point VDP). Pour apercevoir les feux d'approche, d'une longueur de 650 m, à partir de ce point, il faudrait donc avoir une portée visuelle de 4200 m. Les essais en simulateur ont montré qu'avec une visibilité horizontale minimale de 5000 m, le dispositif lumineux d'approche n'est visible que 0,2 NM après avoir survolé le VDP.

2.2.7.4 Service de la navigation aérienne

2.2.7.4.1 Affectation du personnel

Selon le plan d'affectation des secteurs de skyguide, à l'heure de l'accident quatre postes de travail auraient encore dû être occupés tant au contrôle d'approche qu'à la tour de contrôle. En réalité, un seul poste était occupé au contrôle d'approche et deux postes à la tour de contrôle.

Après l'atterrissage du premier avion (d'une série de trois) selon la procédure d'approche standard VOR/DME 28, le chef de service avait décidé de réduire à deux CCA l'effectif travaillant à la tour de contrôle. Lui-même a remis sa fonction au CCA GRO, a quitté la vigie peu après 21:03 UTC et allait rentrer à la maison après une brève halte dans son bureau.

La fonction de chef de service prévue jusqu'à 22:00 UTC selon le plan d'affectation des secteurs n'était donc plus assurée par une personne dûment formée. En effet, le CCA GRO qui avait repris cette fonction ne disposait pas d'une formation de chef de service et n'était pas assez expérimenté pour exercer cette activité.

Il régnait ce soir-là des conditions météorologiques difficiles qui auraient nécessité des décisions comme par exemple un changement de piste ou la transmission d'une annonce de pilote. Pour cette raison, la présence d'un chef de service expérimenté aurait été requise.

Le fait de savoir si la réduction importante du nombre de places de travail occupées dans le contrôle d'approche et à la tour de contrôle a produit des effets défavorables comme par exemple la surveillance du vol CRX 3597 dans sa dernière phase de vol reste ouvert.

2.2.7.4.2 Choix de la procédure d'approche

Selon la loi fédérale sur l'aviation, l'exploitant d'un aéroport soumet le règlement d'exploitation à l'approbation de l'OFAC. La modification de ce règlement pour les approches de la piste 28, demandée par Unique dans l'optique du traité à conclure avec l'Allemagne, a été acceptée par l'OFAC le 18 octobre 2001 et est entrée en vigueur le lendemain.

Ces dispositions transitoires interdisaient de donner des autorisations de survol de l'espace aérien allemand sous le niveau de vol 100 entre 21:00 et 05:00 UTC, et ce tant pour les avions pilotés en navigation autonome que pour ceux guidés par radar.

Ainsi, dans cette plage horaire, il n'était pas permis de faire des approches ILS sur les pistes 14 et 16 lorsque les conditions météorologiques et les minima publiés pour la piste 28 n'étaient pas remplis. Les approches sur Zurich devaient donc obligatoirement être autorisées par la procédure standard VOR/DME 28.

Jusqu'à l'entrée en vigueur des dispositions transitoires du traité germano-suisse, le 19 octobre 2001, l'approche standard VOR/DME 28 n'était exploitée que sporadiquement par le service de la navigation aérienne, en cas de fort vent d'Ouest. Dans les situations typiques avec vent d'Ouest, la visibilité est généralement bonne et le plafond des nuages relativement élevé, sauf en cas de précipitations.

2.2.7.4.3 Exécution de l'approche standard VOR/DME 28

L'approche standard VOR/DME 28 ne se fait pas par guidage radar mais en navigation autonome.

A 21:03:01 UTC le CCA APP (A) a transféré le vol CRX 3597 à ADC1 (TWR) alors que celui-ci, à environ 11 NM à l'Est de l'aéroport, débutait le virage à droite pour s'aligner sur l'axe d'approche de 275° en direction du VOR/DME KLO sans s'assurer que le vol CRX 3597 se trouvait en approche finale (*final approach track*). A 21:05:21 UTC, le vol CRX 3597 s'est annoncé pour la première fois à ADC1: «*Tower, gueten Aabig, CRX 3597, established VOR/DME runway 28.*» (*Tower, bonsoir, CRX 3597, established VOR/DME runway 28*).

Le CCA APP (B) qui a repris la surveillance du vol CRX 3597 assurée précédemment par le CCA APP (A) devait surveiller simultanément plusieurs approches. Il a indiqué avoir vu l'avion sur son écran radar (cf. ch. 1.8.4). Par la suite, le CCA n'a plus effectué de contrôle de l'altitude car l'avion volait en navigation autonome.

2.2.7.4.4 Surveillance radar

Skyguide a produit une directive concernant la surveillance radar (*radar monitoring*) pour l'approche standard VOR/DME 28, selon laquelle la trajectoire de l'avion était à surveiller et que les corrections nécessaires étaient à communiquer. L'enquête a révélé que la compréhension relative à l'exécution pratique du *radar monitoring* lors d'une approche standard VOR/DME variait parmi les contrôleurs interrogés. Malgré ce fait, les exigences de la surveillance radar pour l'approche du vol CRX 3597 étaient remplies.

2.2.7.4.5 Système d'avertissement d'altitude minimale de sécurité (MSAW)

Suite à la chute d'un avion de la compagnie Alitalia sur le Stadlerberg le 14 novembre 1990, le BEAA avait émis une recommandation de sécurité préconisant l'installation d'un système d'avertissement d'altitude minimale de sécurité (MSAW). Alors que ce système semble prédestiné à être utilisé dans le cadre des approches classiques (NPA) en raison de leurs paliers discrétionnaires, le secteur d'approche 28 n'a pas été doté de cet équipement, privant les équipages d'un filet de sécurité supplémentaire qui aurait peut-être permis d'éviter l'accident du vol CRX 3597.

Le 11 avril 2002 le BEAA a transmis un rapport intermédiaire à l'OFAC qui proposait, entre autres, d'installer un système MSAW dans le secteur d'approche de la piste 28, comme le demandait la recommandation de sécurité 2002-7 (cf. ch. 4.1.4).

Par courrier du 31 octobre 2002, l'autorité de surveillance de skyguide, c'est-à-dire l'OFAC, a exigé l'installation d'un MSAW pour le secteur d'approche de la piste 28.

2.2.7.5 Géométrie de l'approche standard VOR/DME 28

Comme l'expertise de la DGAC l'a montré (cf. ch. 1.16.2) la procédure d'approche standard VOR/DME 28 diverge des normes fixées par les PANS-OPS en divers points. Ces divergences ne sont cependant pas directement en cause dans l'accident du vol CRX 3597.

Si la visibilité effective au moment de l'accident était égale au minimum de 2000 m, les premières lampes du dispositif lumineux d'approche pouvaient être aperçus au plus tôt à une distance de 2,3 NM du DVOR KLO (cf. annexe 11, point P-3). Comme l'angle d'approche à partir de ce point jusqu'au seuil de la piste est d'environ 6°, l'équipage risque une approche finale instable à basse altitude.

2.2.7.6 Entreprise de transport aérien

Il n'existe aucune trace d'examen d'aptitude du commandant lors de son entrée dans l'entreprise en 1979. A l'époque, l'aptitude d'un pilote était déterminée par la possession de la licence requise et par l'expérience professionnelle, qui était estimée uniquement en fonction du nombre d'heures de vol. Il y avait aussi un entretien personnel avec les candidats. Un test d'aptitudes n'était cependant pas obligatoire.

Avec plus de 4000 heures de vol à son actif, le commandant était alors considéré comme expérimenté. Lors de l'examen pour l'autorisation de type SA 226 TC Metroliner II, l'expert à plein temps de l'Office fédéral de l'air avait constaté certaines lacunes dans les prestations du commandant. Peu de temps après, l'autorité de surveillance avait transféré la compétence des contrôles périodiques des membres d'équipage à des experts eux-mêmes employés comme pilotes dans l'entreprise de

transport aérien concernée. Jusqu'à son premier cours de transition sur MD 80, le commandant a rarement vu des commentaires négatifs sur ses fiches de contrôle (cf. statistiques dans l'annexe 9). Bien que conformes aux exigences de l'Office fédéral de l'air puis de l'Office fédéral de l'aviation civile, ces fiches n'étaient pas très probantes sur le fond. A l'occasion des deux cours de transition sur MD 80, les instructeurs de vol et les experts, dont certains étaient issus d'une autre culture aéronautique, ont constaté des lacunes dans les prestations du commandant. Les difficultés en question concernaient des compétences de pilotage élémentaires et n'étaient pas liées à un type d'avion particulier, en l'occurrence le MD 80. Lorsque, pour finir, le commandant a suivi le cours de transition sur Avro 146-RJ 85/100, il a été formé et contrôlé par des instructeurs de vol qui avaient les mêmes exigences et les mêmes principes de travail que dans la flotte de Saab 340. Des responsables de l'entreprise de transport aérien ont d'ailleurs indiqué que le cours de transition sur cet avion à réaction n'avait pas posé de problèmes au commandant parce qu'il s'était déroulé dans un environnement qui lui était familier.

Les divergences dans l'évaluation des prestations du commandant montrent que certains experts et instructeurs de vol de l'entreprise de transport aérien avaient des exigences différentes et n'ont pas pu identifier les déficits existants. Dans le même ordre d'idée, l'entreprise de transport aérien n'a pas su mettre en relation les événements survenus au cours de la carrière du commandant et n'a pas été en mesure d'identifier des aspects communs ou récurrents, ni de prendre des mesures appropriées.

Si l'on compare la procédure de sélection des copilotes de Crossair avec les directives des JAR-FCL 3, on constate ceci:

- L'aspect des comportements critiques et des troubles psychiques possibles était totalement inexistant.
- Les prestations aéronautiques (*operational aptitudes*) étaient analysées, mais pas de manière standardisée. Aucun test de performance fiable et normalisé n'était utilisé. Ce facteur était évalué lors d'un exercice en simulateur, or les simulateurs de vol ne se prêtent que de manière limitée à ce type de tests. De plus, les informations recueillies de la sorte ne sont pas très fiables.
- Des traits de la personnalité très importants pour un pilote, comme la capacité à prendre des décisions (*decision making*) ou la résistance au stress (*stress coping*), n'étaient pas examinés de manière systématique.
- L'expertise psychodiagnostique externe se concentrait sur le comportement social et entrepreneurial. Les traits de caractère et les aptitudes spécifiques attendus d'un pilote, tels qu'ils figurent dans les JAR-FCL 3, n'étaient traités que de manière marginale. De plus, la portée des dimensions traitées n'était pas définie clairement. Par exemple, la description de comportement «reste soi-même» est identique pour les dimensions «Résistance émotionnelle» (*Emotionale Verträglichkeit*) et «Individualisme» (*Individualist*), ce qui rend la compréhension et la délimitation de chaque dimension plus difficile.
- Les instruments utilisés se rapprochaient plus d'un système de sélection pour le management et ne s'appuyaient que partiellement sur un profil d'exigences propre à des pilotes. Aucune preuve n'a été apportée pour établir que les divers aspects de la personnalité et les aptitudes des candidats pouvaient être analysés de manière indépendante. Rien ne prouve non plus que l'objectivité de la procédure a été examinée et optimisée. Ce point est important dans la mesure où toute procédure de sélection est empreinte de subjectivité. Or cet aspect doit être maîtrisé afin

d'éviter des distorsions flagrantes. Comme il n'existe pas de procédure normalisée, ni d'enquête sur la fiabilité ou l'exactitude des résultats, la standardisation, la répétabilité et la vérifiabilité de la procédure doivent être qualifiées de faibles. Étant donné que l'objectivité est une condition à la fiabilité, qui est elle-même une condition aux études de validité, la procédure de sélection de Crossair ne satisfait à aucun des critères de qualité prévus par les JAR-FCL 3.

- La procédure de sélection de Crossair diverge également des JAR-FCL 3 en termes de méthodologie car elle ne fixe aucun critère de décision formel pour décider de la sélection ou du rejet d'un candidat.

Lors de l'examen d'aptitudes, le service responsable de la sélection des pilotes avait noté que le copilote n'avait pas encore grande conscience de sa valeur et qu'il tendait à se soumettre à l'autorité. Ces traits de caractère montraient un besoin de formation ou d'accompagnement en matière d'estime de soi et de capacité à s'imposer. Le fait que le copilote ne soit pas intervenu lorsque le commandant a décidé de passer sous la MDA tend à indiquer que ces déficits n'avaient pas encore été comblés, malgré la formation CRM.

Comme l'enquête l'a montré, les règles de procédure n'ont pas été ignorées uniquement lors de cet accident. Cette situation peut être attribuée à la croissance rapide de l'entreprise qui impliquait un changement fréquent des responsables et des structures. Dans un souci d'économie, certains principes étaient parfois fixés avec largesse. L'entreprise n'est pas parvenue à créer un esprit sécuritaire homogène au sein du personnel navigant.

Le service de la sécurité de vol de Crossair était doté de ressources en personnel modestes pour une entreprise gérant une flotte de plus de 80 avions. En outre, son intégration dans le secteur *flight operations support* n'était pas optimale car, de la sorte, le *flight safety officer* n'avait accès aux flottes qu'à travers plusieurs niveaux hiérarchiques. Ce service n'était pas contacté en cas de problèmes de formation ou de performance, ou encore en cas de violation des règles de procédure par des membres d'équipage. Ce n'est que peu avant l'accident qu'un système d'annonce confidentiel avait été mis en place. Tous ces éléments ont eu pour conséquence que le service de la sécurité de vol n'a pas pu intervenir efficacement pour améliorer les points susmentionnés.

2.2.7.7 Autorité de surveillance

Une surveillance systématique de l'exploitation aérienne par l'autorité de surveillance (Office fédéral de l'air puis Office fédéral de l'aviation civile) aurait peut-être permis d'identifier les déficits du commandant. On en veut pour exemple le fait qu'après le cours de transition sur SA 226 TC Metroliner, un inspecteur de l'Office fédéral de l'air avait relevé des lacunes qui n'ont été remarquées qu'à de rares occasions par les experts de l'entreprise jusqu'au cours de transition sur MD 80.

Cela aurait aussi permis de constater que les équipages de l'entreprise de transport aérien dérogeaient à plusieurs reprises aux règles de procédure.

Jusqu'à cet accident, Crossair n'avait jamais été soumise à un audit aéronautique par l'OFAC et l'activité des experts de l'entreprise agissant sur mandat de l'OFAC n'était pas surveillée. Cette situation était justifiée par le manque d'effectif. Ce n'est que le 28 août 2002 que Crossair, devenue entretemps Swiss International Air Lines Ltd., a subi un audit aéronautique.

3 Conclusions

3.1 Faits établis

3.1.1 Aspects techniques

- Rien ne montre qu'au moment de l'accident l'avion HB-IXM n'était pas en état de voler.
- Les alarmes de l'avertisseur de proximité du sol (GPWS) ne se sont pas déclenchées car, sur toute la trajectoire de vol, l'avion est resté juste à la limite des restrictions des modes 1 (*excessive descent rate*) et 2B (*excessive terrain closure rate*).
- Les aides à la navigation au sol utilisées pour l'approche ont fonctionné normalement.
- Le secteur d'approche de la piste 28 n'est pas doté d'un système d'avertissement d'altitude minimale de sécurité (MSAW).

3.1.2 Equipage

- Les documents fournis indiquent que les pilotes étaient titulaires de licences de vol valables.
- L'enquête n'a fourni aucun élément concluant à une origine médicale de l'accident.
- L'entreprise de transport aérien n'a pas soumis le commandant à un examen global d'aptitudes.
- Le commandant a échoué à deux cours de transition sur le type d'avion MD 80 pour cause de performances insuffisantes.
- La carrière du commandant montre que ce dernier ne s'est pas toujours tenu aux exigences des procédures.
- La déclaration d'aptitude de l'entreprise de transport aérien décrit le copilote comme une personne pleine de vitalité mais pas combative, tendant à se soumettre et recherchant l'harmonie.
- Le jour avant l'accident, la période de service de vol du commandant a été de 15 heures et 31 minutes.
- La période de repos du commandant avant le jour de l'accident a été de 10 heures et 59 minutes.
- Au moment de l'accident, la période de service de vol du commandant était de 13 heures et 37 minutes.
- Il n'y avait pas de surveillance et de coordination des temps de service d'équipage entre l'entreprise de transport aérien (Crossair) et l'école d'aviation (Horizon Swiss Flight Academy).
- Le jour avant l'accident, la période de service de vol du copilote a été de 10 heures et 15 minutes.

- La période de repos du copilote avant le jour de l'accident a été de 18 heures et 49 minutes.
- Au moment de l'accident, la période de service de vol du copilote était de 4 heures et 47 minutes.

3.1.3 Déroulement du vol

- Conformément aux règles de procédure de l'entreprise de transport aérien, avant de quitter l'altitude d'approche initiale (4000 ft QNH) l'équipage a calé l'altitude de remise des gaz (*go around altitude*) à 6000 ft QNH sur le tableau de commande des modes.
- Les règles de procédure spécifiées dans le PIH exigent que l'avion soit configuré pour l'atterrissage avant le repère d'approche finale (FAF). Sans en discuter, l'équipage a configuré l'avion pour l'atterrissage après le FAF.
- L'équipage a configuré l'avion pour l'atterrissage après le repère d'approche finale (FAF), sans que cela ait été convenu auparavant.
- Le contrôleur d'approche (CCA APP A) n'a pas signalé à l'équipage du vol CRX 3597 les modifications de l'information ATIS relatives à la visibilité météorologique et au plafond des nuages.
- En se fondant sur le règlement d'exploitation et sur les conditions météorologiques, le chef de service du contrôle de la circulation aérienne a décidé de recourir à l'approche standard VOR/DME 28 à partir de 21:00 UTC.
- Le contrôleur d'approche (CCA APP B) devait assister quelques avions au décollage en plus de l'approche du vol CRX 3597.
- Les postes de travail du contrôle d'approche (APP) et de la tour de contrôle (TWR) n'étaient pas occupés conformément au plan d'engagement.
- Les enregistrements du CVR et les transcriptions des messages radio montrent que, juste avant que l'avion n'atteigne l'altitude minimale de descente (MDA), le copilote a effectué diverses manipulations.
- Les règles de procédure de l'entreprise de transport aérien prévoyaient une répartition des tâches claires entre le pilote aux commandes (PF) et le pilote assistant (PNF) pour cette phase de vol. L'équipage ne s'est pas tenu à ces règles.
- Le commandant a franchi consciemment la MDA fixée pour la procédure d'approche standard VOR/DME 28.
- Le copilote n'a rien tenté pour empêcher la poursuite du vol sous la MDA.
- Ni le commandant ni le copilote ne disposait d'un contact visuel suffisant avec la piste ou avec les feux d'approche. Les conditions requises pour quitter la MDA et poursuivre l'approche finale à vue n'étaient donc pas remplies.
- Pendant le passage d'un vol de descente contrôlé à une procédure de remise des gaz, l'avion a touché les arbres d'un relief boisé à 21:06:36 UTC et s'est ensuite écrasé dans la forêt.
- Le contrôleur d'aérodrome a déclenché le degré d'alarme maximal à 21:10:32 UTC, soit quatre minutes après avoir autorisé l'atterrissage.

- Le chef de service du contrôle de la circulation aérienne a quitté son poste de travail environ trois minutes avant l'accident, après avoir transmis sa fonction au contrôleur sol (CCA GRO).
- Le contrôleur sol (CCA GRO) n'était pas formé comme chef de service. Son expérience professionnelle de contrôleur de la circulation aérienne était de trois ans.
- Les mesures de sauvetage et d'extinction ont été rapides et adéquates.
- Les chances de survivre à cet accident étaient très aléatoires.

3.1.4 Cadre général

- Les procédures opérationnelles de Crossair pour les approches classiques (NPA) en vigueur au moment de l'accident étaient conformes aux exigences de l'OFAC et aux Codes communs de l'aviation JAR-OPS 1.
- Au moment de l'accident, le segment d'approche intermédiaire de la procédure d'approche standard VOR/DME 28 mesurait 3,5 NM.
- Pour une approche dont la géométrie correspond à celle de l'approche standard VOR/DME 28, les normes PANS-OPS de l'OACI prescrivent un segment d'approche intermédiaire de 7 NM.
- Selon les normes de l'OACI, dans une approche classique il faut prévoir un segment horizontal d'une longueur minimale de 1,5 NM avant le repère d'approche finale (FAF) si le segment d'approche intermédiaire présente une pente. La pente maximale autorisée pour le segment d'approche intermédiaire est de 5 %.
- Si l'on applique la pente maximale prévue de 5 % à la procédure d'approche standard VOR/DME 28, il ne reste qu'un tronçon horizontal de 0,2 NM avant le FAF.
- Les divergences entre la procédure d'approche standard VOR/DME 28 et les prescriptions de l'OACI avaient été partiellement identifiées lors d'un contrôle périodique en 2000, mais elles n'avaient pas été publiées.
- Entre le repère d'approche finale (FAF) et le point situé à une distance oblique de 6 NM du VOR/DME KLO, le segment d'approche finale de la procédure standard VOR/DME 28 présente une pente de 5,3 %. La pente du segment d'approche finale de ce point jusqu'à une position située à 50 ft au-dessus du seuil de la piste est de 6,3 %. Dans l'AIP Suisse, la pente indiquée pour l'ensemble du segment d'approche finale était de 5,3 %.
- Conformément à l'AIP Suisse en vigueur lorsque l'accident a eu lieu, la portée visuelle de piste minimale pour les avions des catégories C et D était de 2000 m pour l'approche standard VOR/DME 28.
- Au moment de l'accident, la visibilité météorologique à l'aéroport de Zurich était de 3500 m.
- Dans l'information ATIS NOVEMBER, diffusé à 20:50 UTC, le plafond des nuages était indiqué à 1500 ft AAL.
- Les indications sur la nébulosité contenues dans les messages METAR concernent la zone aéroportuaire et ses environs immédiats, celles figurant dans les messages QAM (ATIS) se rapportent à l'ancienne position de la radioborne intermédiaire de la piste 16.

- Selon les dépositions fournies par d'autres pilotes, à l'heure de l'accident le plafond des nuages se situait aux alentours de 1000 ft AAL dans la zone de l'accident.
- Le point d'intersection entre le plan du PAPI (3,7°) et l'altitude minimale de descente (MDA) se situait à une distance oblique de 3,5 NM du VOR/DME KLO, soit 2,6 NM (4,8 km) du seuil de la piste. Pour apercevoir le dispositif lumineux d'approche à partir de ce point, il faudrait avoir une portée visuelle de 4200 m au minimum.
- Trois minutes environ avant l'accident, l'équipage du vol Crossair CRX 3891 a atterri sur la piste 28 et a annoncé avoir vu la piste à une distance d'environ 2,2 NM du VOR/DME KLO. A ce moment-là, cet avion se trouvait à une distance de 1700 m du dispositif lumineux d'approche de la piste 28.
- Le relief heurté par l'avion était signalé dans l'AIP Suisse mais il ne figurait pas sur la carte d'approche 13-2 du manuel des routes Jeppesen que l'équipage a utilisé.
- Le processus de sélection des copilotes de Crossair ne répondait que partiellement aux directives des *Joint Aviation Requirements flight crew licensing* JAR-FCL 3.
- Le concept de formation de l'entreprise de transport aérien Crossair dans le domaine de la gestion des ressources en équipe (CRM) était conforme aux JAR-OPS et aux JAR-FCL.
- Le service de la sécurité de vol de l'entreprise avait un équivalent-poste de 80 %.
- Le service de la sécurité de vol n'était pas informé des problèmes de performance des membres d'équipage.
- Plus de quarante incidents au cours desquels des équipages ont développé leurs propres procédures ou n'ont pas respecté les règles de procédure ont été répertoriés entre 1995 et l'accident.
- Il n'existe pas de dossier attestant des inspections faites auprès de Crossair par le processus Entreprises de transport aérien (LV) de l'OFAC.
- L'OFAC ne contrôlait pas l'activité des experts employés par Crossair qui procédaient, pour son compte, à des qualifications de type et à des contrôles de performance des membres d'équipage tels que les contrôles lors des vols de ligne.

3.2 Causes

L'accident est dû à la collision de l'appareil avec un relief boisé (*controlled flight into terrain - CFIT*), en navigation autonome, lors de la phase finale de la procédure d'approche standard VOR/DME 28. La collision s'est produite après que l'équipage a poursuivi la descente sous l'altitude minimale de descente dans des conditions de vol aux instruments, sans disposer des conditions nécessaires pour une telle action. L'équipage a entamé une manœuvre de remise des gaz trop tardivement.

L'enquête a établi les facteurs de causalité suivants:

- Le commandant a franchi l'altitude minimale de descente fixée pour la procédure d'approche standard VOR/DME 28 sans contact visuel avec le dispositif lumineux d'approche ou la piste.
- Le copilote n'a rien tenté pour empêcher la poursuite du vol sous l'altitude minimale de descente.

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

- Le secteur d'approche de la piste 28 de l'aéroport de Zurich n'était pas doté d'un système d'avertissement d'altitude minimale de sécurité (MSAW).
- Les performances aéronautiques du commandant n'ont pas toujours été évaluées de manière pertinente. Les mesures requises n'ont pas été prises pour combler les lacunes constatées.
- La capacité du commandant à se concentrer, à prendre des décisions et à analyser des processus complexes était diminuée par son état de fatigue.
- La répartition des tâches dans le poste de pilotage n'était pas adéquate pour l'approche.
- Le relief heurté par l'avion n'était pas signalé sur la carte d'approche utilisée par l'équipage.
- La visibilité météorologique déterminée à l'aéroport n'était pas représentative pour l'approche de la piste 28 car elle ne correspondait pas à la visibilité en vol effective dans le secteur d'approche.
- Les minima de visibilité en vigueur lorsque l'accident a eu lieu étaient inappropriés pour exploiter la procédure d'approche standard VOR/DME 28.

4 Recommandations de sécurité et mesures adoptées pour améliorer la sécurité aérienne

4.1 Recommandations de sécurité du 11 avril 2002

4.1.1 Composition de l'équipage (*crewpairing*)

4.1.1.1 Déficit de sécurité

Le commandant disposait d'une grande expérience générale de vol, mais n'avait qu'une expérience minimale des avions dotés de systèmes de guidage de vol modernes et que peu d'expérience de vol sur des appareils équipés de turboréacteurs, comme le type d'avion accidenté. On lui a fait faire équipe avec un jeune copilote possédant une expérience générale de vol minimale et ayant également peu d'heures de vol sur des avions à turboréacteurs, en particulier l'avion accidenté. Le déroulement de l'accident permet de conclure que les membres de l'équipage ne se complétaient pas judicieusement.

Les prescriptions des JAR-OPS 1 reprises par la Suisse prévoient que les deux pilotes doivent pouvoir faire état d'une durée minimale de vol donnée sur le type d'avion correspondant avant de pouvoir faire équipe. Or cette exigence était remplie dans le cas présent. Le BEAA estime donc que les critères purement quantitatifs retenus pour qualifier les membres d'équipage de «peu expérimentés» (*inexperienced crews*) ne suffisent pas. Il faudrait aussi prendre en compte des critères qualitatifs complémentaires, propres à garantir que les équipages – indépendamment de leur expérience de vol – maîtrisent en toute sécurité une procédure donnée ou les nouveaux systèmes complexes d'un avion. Ce n'est qu'après que le pilote a accumulé une certaine expérience que la preuve de cette capacité peut être établie (p. ex. à l'occasion d'un contrôle lors d'un vol de ligne ou d'un contrôle sur simulateur). On peut alors le qualifier de pilote «expérimenté» et lui demander de faire équipage avec des pilotes «inexpérimentés».

4.1.1.2 Recommandation de sécurité 2002-1 (No 33)

L'Office fédéral de l'aviation civile devrait examiner la possibilité de fixer des critères selon lesquels, lors de la composition de l'équipage d'un avion, il ne soit pas tenu compte de la seule expérience de vol des différents membres de l'équipage. Il devrait en particulier vérifier dans quelle mesure il faut élaborer des directives portant sur des critères qualitatifs et mettre en place des contrôles de leur mise en application. Cela afin de garantir que, jusqu'à ce que les compétences requises soient acquises, les pilotes nouvellement engagés sur un type d'avion donné ou dans une opération bien précise soient encadrés ou assistés par un membre d'équipage expérimenté.

Le cas échéant, l'Office fédéral de l'aviation civile devrait proposer aux Autorités Conjointes de l'Aviation (JAA) une modification des prescriptions correspondantes des JAR-OPS 1.

4.1.1.3 Prise de position de l'Office fédéral de l'aviation civile du 6 mai 2002

«Les critères évoqués, qui doivent être pris en considération lors de la composition d'un équipage, sont des facteurs humains comme l'estime de soi, la capacité de

jugement, la connaissance de ses propres limites etc. Ces facteurs dits 'intangibles' ou 'soft' peuvent fluctuer chez un même sujet. Ils ne peuvent donc pas être quantifiés ou qualifiés de manière absolue. C'est pourquoi nous croyons que des directives et des contrôles qui iraient plus loin que les JAR-OPS et qui seraient imposés par les autorités ne sont pas appropriés. L'exploitant doit tout d'abord disposer d'un système suffisamment perfectionné pour lui permettre d'identifier, et le cas échéant d'éviter, les équipages dont la composition pourrait s'avérer critique. On saurait certes s'appuyer, en cela, que sur des facteurs d'expérience comme le nombre d'heures de vol, car même le meilleur des pilotes peut avoir un mauvais jour ou se révéler comme un facteur supplémentaire de risque de conflit dans certaines configurations d'équipage. Par ailleurs, les changements de composition des équipages de dernière minute doivent pouvoir être répertoriés, sinon gérés.

Selon nous, la solution réside dans le dialogue avec les responsables. Il s'agit, à l'aide d'exemples, d'explicitier une vision de la sécurité et de l'ancrer dans la pratique, d'inspecter le système (procédures, y compris entraînement CRM) et de l'adapter au besoin. Le développement systématique des compétences personnelles (non-technical skills) et leur inclusion dans le système est le principal facteur d'amélioration de la sécurité aérienne.

Les dispositions des JAR-OPS 1 en la matière sont suffisantes et, à notre avis, il n'est pas nécessaire de les compléter.»

4.1.2 Examen des performances des pilotes

4.1.2.1 Déficit de sécurité

Le commandant de l'appareil accidenté a été affecté pendant plus de vingt ans sur des avions à moteurs à piston et à turbopropulseurs. De 1987 à 2001, il a piloté le Saab 340 pour la même compagnie d'aviation. Pendant cette période, il a essayé à plusieurs reprises de faire la transition sur des appareils plus rapides et plus grands. A cause de ses performances insuffisantes, il a toujours été contraint d'interrompre ces cours et a continué à voler sur le Saab 340. Le retrait de ce type d'avion de la flotte de Crossair a obligé la compagnie à trouver un nouvel avion pour le commandant, et celui-ci a donc effectué la transition sur Avro RJ 85/100 au printemps 2001.

Le déroulement de l'accident permet de conclure que l'équipage a effectué la procédure d'approche sans être suffisamment conscient de la situation générale et du déroulement spatial et temporel de la procédure (*lack of situational awareness*). Il existe plusieurs indices montrant que les actions de l'équipage ont été marquées par un excès de confiance en soi (*overconfidence*) et d'autosatisfaction (*complacency*). En particulier, l'approche a été consciemment poursuivie au-dessous de l'altitude minimale de descente (MDA).

Sur la base de l'enquête, on peut penser que Crossair emploie encore d'autres pilotes qui, au cours de leur carrière, ont manifesté des comportements inadéquats, de brusques variations de leurs performances ou des aptitudes insuffisantes, qui rendent nécessaire un examen de leurs performances, de leurs connaissances et de leur mode de travail.

4.1.2.2 Recommandation de sécurité 2002-2 (No 34)

L'Office fédéral de l'aviation civile devrait examiner les critères, directives et procédures qui règlent la sélection et la transition des pilotes d'avions à moteurs à piston ou à turbopropulseurs sur des avions à turboréacteurs ou sur des avions dotés d'un équipement moderne (p. ex. Saab 2000, Embraer, Airbus).

4.1.2.3 Prise de position de l'Office fédéral de l'aviation civile du 6 mai 2002

«Nous partons du principe que le type de propulsion et l'équipement d'un avion ne devraient pas être des critères décisifs dans le choix des pilotes devant effectuer une transition. Le cours de transition doit garantir que les caractéristiques propres à un type de propulsion sont connues et comprises. La transition sur des équipements électroniques modernes et intégrés doit satisfaire à une exigence supplémentaire: communiquer de manière claire et approfondie la conception sous-jacente, les principes de fonctionnement et les limites de ces systèmes.

A notre avis, les exigences relatives au résultat d'un cours de transition (par rapport au type d'avion, à l'équipement, etc.) sont décrits et définis de manière suffisamment détaillée. La définition des critères de sélection des candidats à un cours de transition devrait rester à la discrétion du responsable de formation.

Plus encore que les aspects techniques mentionnés, il nous semble important de relever que les cours de transition impliquent généralement un changement d'ordre opérationnel. Si tel est le cas, il est clair que la formation doit aller au-delà d'un simple cours de transition. Les JAR-OPS mentionnent l'importance des aspects humains et relationnels (CRM) suivants dans le cadre des cours de transition: 'human error and reliability, error prevention and detection, philosophy of the use of automation (if relevant to the type), case based studies'. La répartition des rôles entre le responsable de la formation (exploitant) et les autorités doit être réglée comme nous l'avons expliqué dans notre prise de position sur la recommandation de sécurité 2002-1.»

4.1.2.4 Recommandation de sécurité 2002-3 (No 35)

L'Office fédéral de l'aviation civile devrait examiner les performances et les connaissances des pilotes de Crossair et, le cas échéant, d'autres compagnies d'aviation, dont la carrière présente de brusques variations de performances, des comportements inadéquats ou des incidents particuliers. Cet examen ne devrait pas se limiter à la seule lecture du dossier de ces pilotes, mais comporter une observation de longue durée et des contrôles, tout au moins par pointage, de leurs prestations en vol de ligne. Des mesures idoines devraient être prises en collaboration avec la direction de la compagnie d'aviation ou avec le personnel psychomédical à l'intention des pilotes présentant des prestations insuffisantes.

4.1.2.5 Prise de position de l'Office fédéral de l'aviation civile du 6 mai 2002

«Plus encore que pour les deux recommandations précédentes, il apparaît ici que les responsabilités des autorités et de l'entreprise de transport aérien doivent rester clairement séparées. La connaissance de l'évolution de la performance des pilotes est de toute évidence une condition à la mise en œuvre de la politique de sécurité d'une entreprise. Les responsables de flotte doivent connaître leurs 'troupes' pour pouvoir ordonner des mesures au besoin. Il appartient à l'exploitant de définir les instruments qu'il souhaite utiliser (qualifications, évaluation des observations faites 'sur le terrain', résultats des entraînements, etc.). En outre, les points relevés doivent être pris en considération dans la formation et le perfectionnement professionnel.

Ici aussi, le rôle des autorités consiste à s'assurer que de tels instruments sont mis en place et qu'ils sont utilisés. Les autorités ne devraient agir activement, par exemple sous la forme d'inspections, que dans des cas particuliers.»

4.1.3 Calage de l'altitude pendant une approche classique

4.1.3.1 Déficit de sécurité

A 21:04:23 UTC, le commandant a ordonné au copilote de caler une altitude de remise des gaz (*go around altitude*) de 6000 ft sur le tableau de contrôle des modes (MCP). Le copilote a confirmé cette instruction.

Dans les procédures de vol standard spécifiées dans le manuel à l'intention des pilotes (PIH) et dans les directives de formation Avro RJ (*training guidelines*), l'entreprise Crossair prescrivait ce qui suit pour la phase qui précède immédiatement le repère d'approche finale (FAF), situé à 4000 ft AMSL à Zurich:

Présélectionner l'altitude de remise des gaz sur le MCP (6000 ft AMSL à Zurich). Le pilote doit respecter les paliers (*step altitudes*) à l'aide du mode de maintien d'altitude. Le franchissement des paliers doit toujours être initié par la sélection du mode de vitesse verticale. La question du taux de descente (ROD) cible doit être discutée.

L'observation de l'altitude minimale de descente (MDA) est garantie par le mode de maintien d'altitude, comme pour les paliers intermédiaires. Plus loin, Crossair publiait aussi une règle empirique pour fixer le point de descente à vue (VDP).

4.1.3.2 Recommandation de sécurité 2002-4 (No 36)

L'Office fédéral de l'aviation civile devrait examiner dans quelle mesure les procédures de vol standard de Crossair (*standard flight procedures*) devraient être adaptées. Il faudrait notamment examiner si, lors d'une approche classique (NPA), il ne serait pas préférable de caler la MDA plutôt que l'altitude de remise des gaz sur le MCP.

4.1.3.3 Prise de position de l'Office fédéral de l'aviation civile du 6 mai 2002

«Nous sommes d'accord avec cette recommandation.»

4.1.4 Système d'avertissement et d'alarme d'impact

4.1.4.1 Déficit de sécurité

Le système d'avertissement et d'alarme d'impact (TAWS) a plusieurs avantages sur le dispositif avertisseur de proximité du sol (GPWS) simple en fonction dans l'appareil accidenté. L'équipage est par exemple averti lorsque, en configuration pour l'atterrissage, l'avion se rapproche trop du sol à une trop grande distance de la piste. Cela est possible parce que le TAWS a accès à une base de données topographiques de la région aéroportuaire.

Ce système aurait pu détecter à temps le fait que l'appareil se rapprochait dangereusement du sol près de Bassersdorf, et alerter l'équipage.

Le législateur prescrit l'obligation d'installer un TAWS sur les grands avions mis en service à partir du 1^{er} janvier 2001. Tous les autres grands avions sans TAWS, qui étaient en service avant cette date doivent en être équipés avant le 1^{er} janvier 2005.

4.1.4.2 Recommandation de sécurité 2002-5 (No 37)

L'Office fédéral de l'aviation civile devrait examiner des mesures garantissant que les grands avions sans TAWS seront équipés d'un tel système le plus rapidement possible.

4.1.4.3 Prise de position de l'Office fédéral de l'aviation civile du 6 mai 2002

«Nous sommes d'accord avec cette recommandation.»

4.1.5 Système d'observation météorologique

4.1.5.1 Déficit de sécurité

Quelques minutes avant la chute du vol CRX 3597, deux autres avions de la même entreprise de transport aérien ont effectué une approche standard VOR/DME 28. Après l'atterrissage, le premier de ces deux appareils, le vol CRX 3891, a communiqué l'information météorologique suivante sur la fréquence du contrôleur d'aérodrome: *«Just for information, the weather for runway 28 is pretty minimum, so we had runway in sight about 2,2 DME distance away»* (Petite information: la visibilité pour la piste vingt-huit [28] est pratiquement au minimum; nous avons aperçu la piste à environ 2,2 nautiques). A ce moment-là, cet avion se trouvait à une distance d'environ 1700 m du dispositif lumineux d'approche de la piste 28 et 2400 m du seuil de la piste.

Par ailleurs, l'information ATIS NOVEMBER diffusée à partir de 20:50:00 UTC contenait les informations météorologiques suivantes:

METAR 242050Z 16002KT 3500 -SN FEW006, BKN015, OVC022, 00/M00 Q1024 8829//99 TEMPO 5000.

La différence était donc flagrante entre les conditions météo observée à l'aéroport de Zurich et les conditions réelles dans le secteur d'approche de la piste 28.

4.1.5.2 Recommandation de sécurité 2002-6 (No 38)

L'Office fédéral de l'aviation civile devrait examiner si le système actuel d'observation météorologique à partir de la piste 16 et la configuration des instruments de mesure sont adéquats pour fournir un bulletin météorologique donnant des informations équivalentes pour les pistes 28 et 14/16, notamment lorsque les conditions météorologiques sont critiques. Il faudrait diffuser un bulletin météorologique spécifique, en particulier lorsque la météo régnant sur le secteur d'approche de la piste 28 est plus mauvaise ou plus instable que pour l'ensemble de l'aéroport.

D'ici l'introduction d'une observation météorologique améliorée, il faudrait maintenir les minima pour l'approche de la piste 28 au niveau auquel ils ont été portés suite à l'accident du vol CRX 3597.

4.1.5.3 Prise de position de l'Office fédéral de l'aviation civile du 5 décembre 2003

«La valeur du télémètre de plafond de Bassersdorf doit être remplacée par un bulletin météorologique local pour les axes d'approche respectifs.»

4.1.6 Installation d'un système d'avertissement d'altitude minimale de sécurité pour le secteur d'approche de la piste 28 à Zurich-Kloten

4.1.6.1 Déficit de sécurité

Dans la procédure d'approche standard VOR/DME 28 de Zurich-Kloten telle qu'elle était décrite dans la carte d'approche aux instruments *ICAO AIP LSZH AD 2.24.10.7-1*, l'altitude minimale de descente (MDA) était de 2390 ft QNH. Il est prévu qu'un appareil en approche ne franchisse la MDA ou l'altitude de franchissement d'obstacles (OCA) que si l'équipage a établi un contact visuel avec des éléments précis de la piste 28.

A environ 3,5 NM du seuil de la piste, soit 4,4 NM du VOR/DME KLO, l'appareil CRX 3597 a franchi l'OCA/MDA de 2390 ft AMSL et a continué à descendre, jusqu'à entrer en collision avec un relief boisé, à une distance d'environ 2,7 NM du seuil de la piste.

Après l'accident du vol Alitalia AZA 404 du 14 novembre 1990, les approches des pistes 14 et 16 avaient été équipées d'un système d'avertisseur d'altitude minimale de sécurité (MSAW). Le MSAW attire l'attention du contrôleur de la circulation aérienne par une alarme optique sur l'écran radar et une alarme sonore lorsqu'un avion en approche franchit une altitude de sécurité. Le contrôleur de la circulation aérienne peut alors avertir l'équipage de l'avion en question.

L'approche de la piste 28 n'était pas équipée d'un système MSAW.

Si un tel système avait existé, celui-ci aurait très probablement déclenché l'alarme à un moment qui aurait encore permis au contrôleur d'avertir à temps l'équipage de l'avion. Dans le cas présent, le déclenchement de cette alarme aurait dû se faire lorsque le vol CRX 3597 est passé sous la trajectoire de descente recommandée, et au plus tard lorsqu'il a franchi prématurément l'OCA/MDA. Dans le pire des cas, le contrôleur aurait encore disposé d'une trentaine de secondes pour avertir l'équipage de l'altitude dangereusement basse à laquelle il se trouvait.

4.1.6.2 Recommandation de sécurité 2002-7 (No 39)

L'Office fédéral de l'aviation civile devrait faire en sorte que le secteur d'approche de la piste 28 soit équipé d'un système MSAW, qui émet automatiquement un signal d'alarme optique et sonore en cas de franchissements de paliers de vol critiques. Les directives opérationnelles de l'organe de contrôle de la circulation aérienne devront ensuite être complétées par des prescriptions relatives à la signalisation de tels dépassements aux équipages (de manière analogue au système MSAW déjà installé sur les secteurs d'approche des pistes 14 et 16).

4.1.6.3 Prise de position de l'Office fédéral de l'aviation civile du 5 décembre 2003

(Le 31 octobre 2002 et le 23 décembre 2002, l'OFAC a écrit à skyguide en lui demandant d'installer un MSAW dans le secteur d'approche de la piste 28.)

«Le MSAW 28 est opérationnel et en service».

4.1.7 Signalisation des obstacles dans le manuel de routes Jeppesen

4.1.7.1 Déficit de sécurité

Les obstacles situés dans le secteur d'approche de la piste 28 n'étaient pas signalés sur la carte d'approche (13-2, 10 NOV 00) du manuel des routes Jeppesen utilisé par l'équipage. Ces obstacles figurent sur la carte d'approche publiée dans l'AIP Suisse (LSZH AD 2.24.10.7-1).

4.1.7.2 Recommandation de sécurité 2002-8 (No40)

L'Office fédéral de l'aviation civile devrait faire en sorte que les obstacles situés sous les couloirs d'approche figurent dans les publications à large diffusion comme le manuel de routes Jeppesen.

4.1.7.3 Prise de position de l'Office fédéral de l'aviation civile du 5 décembre 2003

«L'OFAC a demandé aux publications Lido et également Jeppesen de donner suite à cette recommandation».

4.2 Recommandations de sécurité du 2 octobre 2003

4.2.1 Définition et publication d'un point de descente à vue

4.2.1.1 Déficit de sécurité

Le point de descente à vue (VDP) est le point d'une approche classique (NPA) situé à l'altitude minimale de descente (MDA) à partir duquel il est possible de passer aux règles de vol à vue pour l'approche finale. S'il y a un indicateur de trajectoire d'approche de précision (PAPI), le VDP se situe à l'intersection du plan du PAPI avec la MDA. Dans une approche classique, seul le point d'approche interrompue (MAP) est défini.

4.2.1.2 Recommandation de sécurité No 94

L'Office fédéral de l'aviation civile devrait examiner dans quelle mesure il convient de compléter les cartes d'approche pour les approches classiques avec un point de descente à vue.

4.2.1.3 Prise de position de l'OFAC

La prise de position de l'OFAC est en attente

4.2.2 Portées visuelles minimales publiées pour les approches classiques

4.2.2.1 Déficit de sécurité

L'enquête a montré que les portées visuelles minimales en vigueur pour l'approche standard VOR/DME 28 lors de l'accident n'étaient pas appropriées. Par ailleurs, des divergences importantes ont été constatées par rapport aux recommandations des JAR et de l'OACI.

La définition d'une portée visuelle minimale n'a de sens que si celle-ci permet une approche finale à partir du point de descente à vue (VDP) lorsque les références visuelles requises sont établies.

4.2.2.2 Recommandation de sécurité No 95

L'Office fédéral de l'aviation civile devrait contrôler dans quelle mesure les portées visuelles minimales prescrites pour les approches classiques (NPA) doivent être modifiées pour qu'une approche finale soit possible à partir du VDP lorsque les références visuelles requises sont établies.

4.2.2.3 Prise de position de l'OFAC

La prise de position de l'OFAC est en attente

4.2.3 Représentation du profil du terrain sur les cartes d'approche

4.2.3.1 Déficit de sécurité

De nombreux aérodromes de Suisse sont entourés de reliefs nettement plus élevés que l'altitude de référence de l'aérodrome lui-même.

Une représentation en long du profil du terrain sous la route d'arrivée permettrait d'attirer l'attention des équipages sur les obstacles situés dans le secteur d'approche.

4.2.3.2 Recommandation de sécurité No 96

L'Office fédéral de l'aviation civile devrait examiner s'il convient de faire figurer le profil du terrain situé sous les routes d'arrivée dans les cartes d'approche aux instruments toutes catégories.

4.2.3.3 Prise de position de l'OFAC

La prise de position de l'OFAC est en attente

4.2.4 Temps de service d'équipage

4.2.4.1 Déficit de sécurité

Le jour avant l'accident, ayant déjà effectué deux vols d'écolage IFR avant les quatre tronçons de vol prévus pour le compte de l'entreprise de transport aérien, le commandant avait été en service pendant 15 heures et 31 minutes. La période de repos prescrite n'a pas été respectée. Au moment de l'accident, le commandant était déjà en service depuis 13 heures et 37 minutes parce qu'il avait déjà effectué trois vols d'écolage IFR avant le vol fatal. Les rapports sur les périodes de service de vol montrent que cette pratique consistant à combiner les activités d'instructeur et de pilote de ligne pendant une même journée était courante. Il n'existait aucun contrôle des temps de service d'équipage incluant toutes les activités des pilotes.

Comme le déroulement de l'accident l'a prouvé, le commandant montrait des signes évidents de fatigue.

4.2.4.2 Recommandation de sécurité No 97

L'Office fédéral de l'aviation civile devrait examiner, avec les entreprises de transport aérien, comment garantir un contrôle sans faille des périodes de service de vol et de repos.

4.2.4.3 Prise de position de l'OFAC

La prise de position de l'OFAC est en attente

4.2.5 Amélioration du système de management de la qualité des entreprises de transport aérien

4.2.5.1 Déficit de sécurité

L'enquête a montré qu'avant l'accident déjà, des équipages ne se tenaient pas aux directives et règles de procédure publiées. Les efforts déployés par l'entreprise de transport aérien dans le domaine de la sécurité de vol ainsi que les mesures de

surveillance de l'Office fédéral de l'aviation civile se sont avérés insuffisants pour identifier et empêcher ce type d'incidents.

4.2.5.2 Recommandation de sécurité No 98

Dans le cadre du système d'assurance qualité prévu par les Codes communs de l'aviation sur le transport commercial de personnes et de marchandises par avion (JAR-OPS 1, ch. 1.035), l'Office fédéral de l'aviation civile devrait exiger que les entreprises de transport aérien mettent en place des procédures comprenant des mesures internes pour identifier et combler les lacunes dans le comportement et le mode de travail des pilotes, et surveiller l'application de ces procédures.

4.2.5.3 Prise de position de l'OFAC

La prise de position de l'OFAC est en attente

4.2.6 Exécution des contrôles de compétence des pilotes

4.2.6.1 Déficit de sécurité

L'enquête a montré que, pendant une longue période, l'entreprise de transport aérien n'a pas été en mesure d'évaluer les compétences effectives d'un pilote. Les experts qui ont mené les contrôles de compétence (*skill test, proficiency check, line check*) – des pilotes employés par l'entreprise de transport aérien exerçant cette fonction sur mandat de l'Office fédéral de l'aviation civile – n'ont pas été en mesure, pour la plupart, d'identifier les lacunes et faiblesses qui ont conduit à l'accident.

4.2.6.2 Recommandation de sécurité No 99

L'Office fédéral de l'aviation civile devrait s'organiser de manière à ce que les contrôles de compétence soient effectués, au moins ponctuellement, par des inspecteurs de l'office ou par des experts indépendants mandatés par lui.

4.2.6.3 Prise de position de l'OFAC

La prise de position de l'OFAC est en attente

4.3 Mesures adoptées depuis l'accident pour améliorer la sécurité aérienne

4.3.1 Prise de position de Swiss du 14 février 2003

Le 14 février 2003, l'entreprise de transport aérien Crossair, dont la raison sociale est aujourd'hui Swiss International Air Lines Ltd., a indiqué avoir pris les mesures suivantes suite à l'accident du vol CRX 3597:

Citation:

1. „Approach and Landing Accident Reduction“ (ALAR)

Eine Analyse zur Beurteilung von Potentialen zur Reduktion der Anflug- und Landerisiken, die unmittelbar nach dem Unfall vom 24. November 2001 durch den damals zuständigen „Emergency Director“ in Auftrag gegeben wurde. Die dabei angewendeten Kriterien wurden von der unabhängigen „Flight Safety Foundation“ definiert.

2. „Operational Risk Analysis and Control“ (ORAAC)

Aus der unter Pt. 1 erwähnten „ALAR“ Analyse wurden Erkenntnisse gewonnen, die insgesamt 81 Aktionspunkte umfasst und zur Zusammenstellung eines Aktionsplans mit dem Arbeitstitel „Operational Risk Analysis and Control“ (ORAAC) führte. Dieser Aktionsplan hatte zum Ziel, mögliche Schwachstellen in der Operation offen zu legen um dadurch gute Voraussetzungen zu schaffen, die dabei entdeckten Lücken schliessen zu können.

Im Rahmen des ORAAC Aktionsplans wurden unter anderem folgende Massnahmen umgesetzt:

- *Klarifizierung und/oder Ergänzungen in den Pilotenhandbüchern „Operation Manuals“*
- *Verbesserung der technischen Ausrüstungen in den Regionalflugzeugen*
- *Anpassungen bei der Aus- und Weiterbildung der Besatzungen*
- *Gezielte Prüfung der Leistungsfähigkeit bestimmter Besatzungsmglieder „Screening-1“ mit Umsetzung geeigneter Massnahmen zur Behebung festgestellter Defizite bzw. (wo angezeigt) Auflösung der Arbeitsverhältnisse.*
- *Institutionalisierung eines jährlichen Qualifikationsprozesses, der flottenübergreifend geführt wird und wo nötig unmittelbar wirksame Massnahmen auslöst.*

Bis Ende 2002 konnten 95 % aller unter ORAAC festgelegten Massnahmen umgesetzt werden.

3. Flight Safety und Flight Crew Training als Brückenfunktion

Im Zusammenhang mit dem Aufbau der SWISS wurden die Zuständigkeiten der Funktionen „Flight Safety“ und „Flight Crew Training“ im Sinne sogenannter Brückenfunktionen über beide Pilotenkörpers, OC-1 (ex Crossair) und OC-2 (ex Swissair), ausgedehnt. Dadurch konnte sichergestellt werden, dass die diesbezüglichen Kompetenzen beider ehemaligen Fluggesellschaften nach Massstäben des „best-practice“ zur Wirkung gebracht und nachhaltig erhalten werden können.

4. "SWISS Safety Advisory Board" (SSAB)

Im Verlauf der ersten Jahreshälfte 2002 beauftragte die Geschäftsleitung ein externes, international anerkanntes Team von Experten im Bereich Flugsicherheit mit der Überprüfung des Flugsicherheitsstandards in der SWISS.

Dieses Team verfasste einen Zwischenbericht mit Datum vom 5./6. September 2002 und rapportierte ihre Erkenntnisse mit entsprechenden Empfehlungen direkt dem Verwaltungsrat. Die Umsetzung der SSAB Empfehlungen wurden vom Bereich „Flight Operations“ umgehend an die Hand genommen (siehe Pt. 6).

5. IST-SOLL Analyse des "Flight Safety Officers"

Im Auftrag des Flugbetriebsleiters hat die verantwortliche Fachstelle für Flugsicherheit eine IST-SOLL Analyse betreffend aktuellem Potential im Hinblick auf die weitere Erhöhung des Sicherheitsstandards durchgeführt. Die Resultate wurden im entsprechenden Bericht vom 12. September 2002 festgehalten und dem Flugbetriebsleiter zur Behandlung übergeben. Die Umsetzung der darin enthaltenen Empfehlungen wurden zusammen mit jenen des SSAB umgehend an die Hand genommen (siehe Pt. 6)

6. "Flight Safety Program" (FSB)

Die Erkenntnisse bzw. Empfehlungen aus dem unter Pt. 4 erwähnten SSAB, der unter Pt. 5 erwähnten IST-SOLL Analyse des „Flight Safety Officers“ sowie den internen Berichten betreffend dem Unfall Werneuchen vom 10. Juli 2002 und dem OC-1 Führungsseminar vom 3./4. September 2002 wurden im Rahmen des sogenannten „Flight Safety Program“ (FSB) zu einem umfassenden und ganzheitlichen Massnahmenprogramm zusammen gefasst.

Die Umsetzung der darin enthaltenen Massnahmen wird in monatlichem Rhythmus kontrolliert und dem Verwaltungsrat in Form eines Statusberichts jeweils direkt rapportiert.

Nachstehend eine Zusammenfassung des Aktionsplans mit aktuellem Status:

Aktion	Beschreibung	Status Februar 2003
Screening-2	Prüfung der Leistungsnachweise sämtlicher Piloten der SWISS und ggf. Einleitung entsprechender Korrekturmassnahmen mit Controlling	Abschluss April/03
Kultur-CRM	2-Tageskurse zur Zusammenführung der beiden Kulturen	Management abgeschl. Instruktoren abgeschl. Basiskurs bis 12/05
Organisation	„Flight Safety“ und „Security“ werden direkt dem COO unterstellt.	Abgeschlossen

<i>Rapportwesen</i>	<p><i>Monatlicher Rapport durch den „Flight Safety Officer“ betreffend Status der Flugsicherheit an COO und CEO</i></p> <p><i>„Operations-“ und „Air Safety Report“ neu definiert und eingeführt. IT-Lösung zur EDV-Erfassung</i></p> <p><i>Einführung und Förderung eines „non-punitive“ Rapportwesens</i></p>	<p><i>Eingeführt</i></p> <p><i>Erledigt</i></p> <p><i>Abschluss März/03</i></p> <p><i>Abgeschlossen</i></p>
<i>Flugüberwachung</i>	<i>Einbau von „Flight Data Monitoring“ Ausrüstung in Regionalflotten</i>	<i>EMB-145 ab 03/03 Abschluss 12/05</i>
<i>Sicherheitsbewusstsein</i>	<i>Kurse in „Safety-Awareness“ z. Hd. Verwaltungsrat GL und „Vice Presidents“</i>	<i>Abgeschlossen Abschluss April/03</i>
<i>Sicherheitsprozesse</i>	<i>Harmonisierung der Prozesse zwischen Piloten und Kabinenbesatzungen zur Sicherstellung eines hohen Sicherheitsstandards</i>	<i>Abschluss März/03</i>
<i>Kapitänsanstellungen</i>	<i>Keine Neuzulassung als Kapitän ohne mind. 5 Jahre Erfahrung bei SWISS und min. 25 Altersjahren</i>	<i>Umgesetzt</i>
<i>OCC-Unterstützung</i>	<i>Optimierung der Unterstützung z.G. von Besatzungen bei schwierigen Wetterbedingungen</i>	<i>Umsetzung läuft Abschluss Okt./03</i>
<i>Flugplanung</i>	<i>Erhöhung der Systematisierung bei der Flugplanung</i>	<i>Umgesetzt</i>
<i>Dokumentation</i>	<i>Information über Notflughplätze in Unterlagen integrieren</i>	<i>Abschluss Juli/03</i>
<i>Disziplin</i>	<i>Spezielles Programm zur Förderung der Disziplin</i>	<i>Umsetzung läuft</i>
<i>Qualifikationen</i>	<i>Institutionalisierung eines jährlichen Qualifikationsprozesses zur Gewährleistung nachhaltiger Pilotenqualität</i>	<i>Abgeschlossen</i>

Fin de citation.

4.3.2 Prise de position de Swiss du 8 décembre 2003

Dans sa prise de position du 8 décembre 2003, Swiss International Air Lines Ltd. a communiqué le plan d'action actualisé suivant:

Citation:

Aktion	Beschreibung	Status Dezember 2003
<i>Screening-1 & 2</i>	<i>Prüfung der Leistungsnachweise sämtlicher Piloten der SWISS und ggf. Einleitung entsprechender Korrekturmassnahmen mit Controlling</i>	<i>Abgeschlossen</i>
<i>Umschulungsassessment</i>	<i>UK-Assessment mit Leistungsbeurteilung vor Umschulungen</i>	<i>Eingeführt</i>
<i>Basisselektion</i>	<i>Überarbeitung der Basisselektion bei SWISS im Hinblick auf JAR-FCL 3 Empfehlungen</i>	<i>Erledigt</i>
<i>Kultur-CRM</i>	<i>2-Tageskurse zur Zusammenführung der beiden Kulturen</i>	<i>Management und Instruktoren abgeschl.</i>
<i>Organisation</i>	<i>Flight Safety und Security werden direkt dem COO unterstellt.</i>	<i>Abgeschlossen</i>
<i>Flugverfahren / SOP / Wordings</i>	<i>Harmonisierung der Flotten</i>	<i>Abgeschlossen</i>
<i>Rapportwesen</i>	<i>Monatlicher Rapport durch den Flight Safety Officer betreffend Status der Flugsicherheit an COO und CEO. Operations- und Airsafety Report neu definiert und eingeführt. IT-Lösung zur EDV Erfassung. Einführung und Förderung eines „non-punitive“ Rapportwesens.</i>	<i>Eingeführt</i> <i>Erledigt</i> <i>Eingeführt</i> <i>Erledigt</i>
<i>Flugüberwachung</i>	<i>Einbau von „Flight Data Monitoring“ Ausrüstung in Regionalflotte</i>	<i>Auswertung der DFDR-Daten läuft, Umrüstung abgeschlossen 12/05</i>
<i>Sicherheitsbewusstsein</i>	<i>Kurse in „Safety-Awareness“ zHd VR, GL und VPs</i>	<i>Abgeschlossen</i>

<i>Sicherheitsprozesse</i>	<i>Harmonisierung der Prozesse zwischen Piloten und Kabinenbesatzungen zur Sicherstellung eines hohen Sicherheitsstandards</i>	<i>Abgeschlossen</i>
<i>Kapitänsanstellungen</i>	<i>Keine Neuzulassungen als Kapitän ohne min. 5 Jahre Erfahrung bei SWISS und min. 25 Altersjahre</i>	<i>Umgesetzt</i>
<i>OCC-Unterstützung</i>	<i>Optimierung der Unterstützung z.G. von Besatzungen bei schwierigen Wetterbedingungen</i>	<i>Umgesetzt</i>
<i>Flugplanung</i>	<i>Erhöhung der Systematisierung bei der Flugplanung</i>	<i>Umgesetzt</i>
<i>Dokumentation</i>	<i>Information über Notflugplätze in Unterlagen integrieren</i>	<i>Umgesetzt</i>
<i>Disziplin</i>	<i>Spezielles Programm zur Förderung der Disziplin</i>	<i>Umsetzung läuft</i>
<i>Qualifikationswesen</i>	<i>Institutionalisierung eines jährlichen Qualifikationsprozesses zur Gewährleistung nachhaltiger Pilotenqualität</i>	<i>Eingeführt</i>
	<i>Qualifikations Datenbank</i>	<i>Eingeführt</i>
	<i>Weiterausbildung und Überwachung der Instruktoren</i>	<i>Umgesetzt</i>

Fin de citation.

Glossaire

A/P	<i>autopilot</i>	pilote automatique
AAL	<i>above aerodrome level</i>	au-dessus du niveau de l'aéroport
ACR		autorisation pour les vols acrobatiques
ADC	<i>aerodrome control (TWR)</i>	contrôle d'aérodrome
ADC	<i>air data computer</i>	centrale anémobarométrique
ADF	<i>automatic direction finding equipment</i>	radiogoniomètre automatique
ADS	<i>air data system</i>	Système anémobarométrique
AFS	<i>automatic flight system</i>	commandes automatiques de vol
AGL	<i>above ground level</i>	au-dessus du sol
AIP	<i>Aeronautical Information Publication</i>	publication d'informations aéronautiques
AIRMET		renseignements sur les dangers météorologiques au-dessous du niveau de vol 240
AMSL	<i>above mean sea level</i>	au-dessus du niveau moyen de la mer
AND	<i>attitude nose down</i>	assiette descendante
ANU	<i>attitude nose up</i>	assiette montante
AOA	<i>angle of attack</i>	angle d'incidence
APA	<i>altitude preselector alerter</i>	avertisseur d'altitude
APE	<i>approach control east</i>	contrôle d'approche Est
APN	<i>apron</i>	aire de trafic
APP	<i>approach control unit</i>	contrôle d'approche
APW	<i>approach control west</i>	contrôle d'approche Ouest
APU	<i>auxiliary power unit</i>	groupe auxiliaire de puissance
APW	<i>approach control west</i>	contrôle d'approche Ouest
ARP	<i>aerodrome reference point</i>	point de référence d'aérodrome
ATC	<i>air traffic control</i>	contrôle de la circulation aérienne
ATIS	<i>automatic terminal information service</i>	service automatique d'information de région terminale
ATPL	<i>air transport pilot licence</i>	licence de pilote de ligne
ATT	<i>attitude</i>	assiette
BEAA		Bureau d'enquête sur les accidents d'aviation
BKN	<i>broken</i>	fragmenté, 5-7 octas
BRG	<i>bearing</i>	relèvement
CA	<i>cabin attendant</i>	membre de l'équipage de cabine
CAM	<i>cockpit area microphone</i>	microphone d'ambiance
CAO		conception assistée par ordinateur
CBT	<i>computer based training</i>	didacticiel
CCA		contrôleur de la circulation aérienne
CCA	<i>circuit card assembly</i>	carte à circuit imprimé
CDU	<i>control display unit</i>	boîte de commande et de visualisation
CEO	<i>chief executive officer</i>	président directeur général
CLD	<i>clearance delivery</i>	délivrance des autorisations
COPI	<i>copilot</i>	copilote
CPL	<i>commercial pilot licence</i>	licence de pilote professionnel
CPM	<i>cockpit procedure mockup</i>	entraîneur de procédures
CPU	<i>central processor unit</i>	unité centrale de traitement
CRM	<i>crew resource management</i>	gestion des ressources de l'équipage

CRS	<i>course</i>	radioalignement, alignement
CVR	<i>cockpit voice recorder</i>	enregistreur de conversations de poste de pilotage
DBI	<i>distance bearing indicator</i>	indicateur de relèvement et distance
DDL	<i>deferred defect list</i>	registre des pannes et défauts
DETEC		Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication
DFI		Département fédéral de l'intérieur
DGAC		Direction générale de l'aviation civile (France)
DH	<i>decision height</i>	hauteur de décision
DME	<i>distance measuring equipment</i>	dispositif de mesure de distance
DOC	<i>designated operational coverage</i>	couverture opérationnelle spécifiée
DTO	<i>direct to</i>	directement au prochain point de cheminement
DU	<i>display unit</i>	unité d'affichage
DV		directeur de vol
DVOR	<i>doppler VOR</i>	VOR Doppler
ECP	<i>EFIS control panel</i>	panneau de commande EFIS
EFIS	<i>electronic flight instrument system</i>	système d'instruments de vol électroniques
ELC	<i>engine life computer</i>	calculateur de durée de vie moteur
ELT	<i>emergency locator transmitter</i>	émetteur de localisation d'urgence
FADEC	<i>full authority digital engine control</i>	système de régulation électronique numérique à pleine autorité du moteur
FAF	<i>final approach fix</i>	repère d'approche finale
FCU	<i>fuel control unit</i>	régulateur de débit carburant
FDAU	<i>flight data acquisition unit</i>	module d'acquisition des paramètres de vol
FDEP	<i>flight data entry panel</i>	tableau d'entrée des paramètres de vol
(D)FDR	<i>(digital) flight data recorder</i>	enregistreur (numérique) de données de vol
FEW	<i>few</i>	peu, 1-2 octas
FGC	<i>flight guidance computer</i>	ordinateur du système de guidage de vol
FGS	<i>flight guidance system</i>	système de guidage de vol
FI	<i>flight instructor</i>	instructeur de vol (qualification)
FL	<i>flight level</i>	niveau de vol
FOCA	<i>Federal Office for Civil Aviation</i>	cf. OFAC
FOM	<i>flight operations manual</i>	manuel d'exploitation
ft	<i>feet</i>	pied (1 ft = 0,3048 m)
GAMET		renseignements sur les dangers météorologiques au-dessous du niveau de vol 150
GAP		groupe auxiliaire de puissance
GP	<i>glide path</i>	trajectoire d'alignement de descente
GPS	<i>global positioning system</i>	système de navigation par satellites
GPU	<i>global position unit</i>	unité de positionnement par satellites
GPWC	<i>ground proximity warning computer</i>	ordinateur d'avertisseur de proximité du sol

GPWS	<i>ground proximity warning system</i>	système avertisseur de proximité du sol
GRO	<i>ground control</i>	contrôle sol
HDG	<i>heading</i>	cap
hPa		hectopascal
IAP		Instruction aéronautique préparatoire
IAS	<i>indicated airspeed</i>	vitesse indiquée
IFR	<i>instrument flight rules</i>	règles de vol aux instruments
IGS	<i>instrument guidance system</i>	système de guidage aux instruments
ILS	<i>instrument landing system</i>	système d'atterrissage aux instruments
IPG	<i>IFR procedure group</i>	groupe de travail Procédures IFR
IR	<i>instrument rating</i>	qualification de vol aux instruments
IRI	<i>instrument rating instructor</i>	qualification d'instructeur de vol aux instruments
IRS	<i>inertial reference system</i>	système de référence à inertie
IRU	<i>inertial reference unit</i>	centrale de référence à inertie
JAA	<i>Joint Aviation Authorities</i>	Autorités Conjointes de l'Aviation
JAR	<i>Joint Aviation Requirements</i>	Codes communs de l'aviation
JAR-FCL	<i>Joint Aviation Requirements for Flight Crew Licensing</i>	Codes communs de l'aviation pour la délivrance des licences
JAR-OPS	<i>Joint Aviation Requirements for Air Operator Certificate Holders</i>	Codes communs de l'aviation pour les exploitants
JAR-STD	<i>Joint Aviation Requirements for Synthetic Training Devices</i>	Codes communs de l'aviation pour les entraîneurs synthétiques de vol
KIAS	<i>knots indicated airspeed</i>	vitesse indiquée exprimée en nœuds
kN		kilo newton
kt	<i>knots</i>	nœuds (1 kt = 1 NM/h)
LNAV	<i>lateral navigation</i>	navigation latérale
LOC	<i>localizer</i>	radioalignement de piste
LT	<i>local time</i>	heure locale
MAP	<i>missed approach point</i>	point d'approche interrompue
MCP	<i>mode control panel</i>	panneau de commande des modes
MCT	<i>maximum continuous thrust</i>	poussée maximale continue
MDA	<i>minimum descent altitude</i>	altitude minimale de descente
MDH	<i>minimum descent height</i>	hauteur minimale de descente
ME	<i>multi-engine</i>	multimoteurs
METAR	<i>aviation routine weather report</i>	message d'observation météorologique régulière pour l'aviation
MHz		mégahertz
MM	<i>middle marker</i>	radioborne intermédiaire
MOC	<i>minimum obstacle clearance</i>	marge minimale de franchissement d'obstacle
MSAW	<i>minimum safe altitude warning system</i>	système d'avertissement d'altitude minimale de sécurité
MSTR	<i>master</i>	interrupteur principal
MSU	<i>mode select unit</i>	unité de sélection de modes
ND	<i>navigation display</i>	écran de visualisation des paramètres de navigation
NDB	<i>navigation data base</i>	base de données de navigation
NDB	<i>non-directional radio beacon</i>	radiophare non directionnel
NIT		autorisation pour les vols de nuit
NM	<i>nautical mile</i>	nautique (1 NM = 1,852 km)

NMS	<i>navigation management system</i>	système de gestion de la navigation
NMU	<i>navigation management unit</i>	unité de gestion de la navigation
NOAA	<i>National Oceanic & Atmospheric Administration</i>	Service météorologique maritime et aérien national (USA)
NPA	<i>non precision approach</i>	approche classique
NVM	<i>nonvolatile memory</i>	mémoire non volatile
OACI		Organisation de l'aviation civile internationale
OCA	<i>obstacle clearance altitude</i>	altitude de franchissement d'obstacle
OCH	<i>obstacle clearance height</i>	hauteur de franchissement d'obstacle
OFAC		Office fédéral de l'aviation civile
OM	<i>outer marker</i>	radioborne extérieure
OM A	<i>operations manual part A</i>	manuel d'exploitation, partie A
OVC	<i>overcast</i>	couvert, 8 octas
PANS-OPS	<i>Procedures for Air Navigation Services - Aircraft Operations</i>	Procédures pour les services de navigation aérienne - Exploitation technique des aéronefs
PAPI	<i>precision approach path indicator</i>	indicateur de trajectoire d'approche de précision
PBK	<i>Pistenbenützungskonzept</i>	concept d'utilisation des pistes (aéroport de Zurich)
PF	<i>pilot flying</i>	pilote en fonction
PFD	<i>primary flight display</i>	écran de visualisation des paramètres principaux de vol
PIC	<i>pilot in command</i>	pilote commandant de bord
PIH	<i>pilots' information handbook</i>	manuel à l'intention des pilotes
PLA	<i>power lever angle</i>	position de la manette de puissance
PNF	<i>pilot not flying</i>	pilote non en fonction
PPL	<i>private pilot licence</i>	licence de pilote privé
PSR	<i>primary radar system</i>	Radar de surveillance primaire
QAM	<i>local weather report</i>	message d'observation météorologique locale
QFE		pression atmosphérique à l'altitude de l'aérodrome
QNH		pression atmosphérique rétablie au niveau de la mer, calculée selon la table d'atmosphère type de l'OACI
RA	<i>radar altitude</i>	hauteur radar
RADALT	<i>radio altimeter</i>	radioaltimètre
RNG	<i>range</i>	distance, portée
ROD	<i>rate of descent</i>	vitesse verticale de descente
RTI		autorisation pour la radiotéléphonie internationale
RVR	<i>runway visual range</i>	portée visuelle de piste
RWY	<i>runway</i>	piste
SAFA	<i>Safety Assessment of Foreign Aircraft</i>	Evaluation de la sécurité des aéronefs étrangers
SCT	<i>scattered</i>	épars, 3-4 octas
SE	<i>single engine</i>	monomoteur
SG DETEC		Secrétariat général du DETEC
SG EFIS	<i>EFIS symbol generator</i>	générateur de symboles EFIS
SID	<i>standard instrument departure</i>	départ normalisé aux instruments

SIGMET		renseignements concernant des phénomènes météorologiques en route qui peuvent affecter la sécurité de l'exploitation aérienne
SIM	<i>simulator</i>	simulateur
SR	<i>slant range</i>	portée oblique
SSCVR	<i>solid state cockpit voice recorder</i>	CVR à mémoire à semi-conducteurs
SSR	<i>secondary surveillance radar system</i>	radar de surveillance secondaire
STAR	<i>standard instrument arrival route</i>	arrivée normalisée aux instruments
SWC	<i>significant weather chart</i>	carte du temps significatif
TAF	<i>aerodrome forecast</i>	prévision d'aérodrome
TAWS	<i>terrain awareness and warning system</i>	système d'avertissement et d'alarme d'impact
TCAS	<i>traffic alert and collision avoidance system</i>	système anticollision embarqué
TMG		licence pour motoplaneur
TMM	<i>transmissometer</i>	transmissiomètre
TOGA	<i>takeoff go around</i>	décollage/remise des gaz
TRP	<i>thrust rating panel</i>	indicateur de poussées nominales
TWR	<i>tower</i>	tour de contrôle
TWY	<i>taxiway</i>	voie de circulation
ULB	<i>underwater locator beacon</i>	radiobalise sous-marine de détresse
USOAP	<i>Universal Safety Oversight Audit Programme</i>	Programme universel d'audits de la supervision de la sécurité
UTC	<i>universal time coordinated</i>	temps universel coordonné
VDP	<i>visual descent point</i>	point de descente à vue
VFR	<i>visual flight rules</i>	règles de vol à vue
VHF	<i>very high frequency</i>	très haute fréquence
VOLMET		renseignements météorologiques destinés aux aéronefs en vol
VOR	<i>VHF omnidirectional radio range</i>	radiophare omnidirectionnel VHF
VPU	<i>vortac position unit</i>	unité vortac
WAFC	<i>world area forecast center</i>	centre mondial de prévisions de zone
ZUE	<i>VOR Zurich East</i>	radiophare omnidirectionnel Zurich Est

Annexe 1: Chronologie des événements marquants

UTC	Événement	Remarque
20:36:48 – 20:37:23	Le copilote (copi) decode le bulletin de piste.	
20:37:25 – 20:39:17	Le commandant (cdt) explique au copi une partie de ce bulletin, le copi répond 12 fois „Ja“ ou „Jawohl“, et à la fin „Jetzt han i grad wider öppis glärnt.“	
20:40:10	ATIS LIMA entre en vigueur: „ <i>Landing runway 28, VOR/DME standard approach</i> “.	Cette information est à ce moment inconnue de l'équipage.
20:42:58 – 20:44:05	<i>Approach briefing</i> RWY 14, ev. 16.	Attente de l'équipage: atterrissage sur la piste 14.
20:43:44	Le copi fait remarquer un dépassement de vitesse au cdt. Le cdt s'excuse à plusieurs reprises.	Erreur professionnelle mineure peut-être imputable à la fatigue. Il n'a plus la capacité de surveiller tous les paramètres simultanément.
20:44:56	ATIS MIKE entre en vigueur, mise à jour du <i>runway report</i> , sans changement significatif.	Cette information est à ce moment inconnue de l'équipage.
20:46:20	Le copi demande au cdt s'il doit se renseigner sur la possibilité d'utilisation de la piste 14: „Söli ämal fragä öbs Vierzähni oder sägemer...s'wird grad eso knapp“.	Cette déclaration montre que le copi était conscient qu'un changement de piste était prévisible au vu du temps écoulé.
20:46:23	Le cdt répond: „Ja, s'isch scho s'Vierzähni“; le copi réplique: „S'Vierzähni“.	Le cdt réagit brièvement à la question du copi. Entre 20:46:04 und 20:46:27, le cdt est concentré sur la surveillance de la vitesse: Il y a sans doute le danger que la valeur de celle-ci soit excessive.
20:48:22	Le copi appelle Zürich <i>arrival</i> et confirme l' ATIS KILO	Le copi confirme une information périmée depuis 20:40:10.
20:48:30	ATC: „ <i>Crossair 3597, you're identified, it will be a standard VOR/DME approach runway 28 for you</i> “	Le changement de la piste 28 est communiqué pour la première fois à l'équipage..
20:48:39	Le cdt: „Ou, ***** ¹ , das äno, ja, guet ok“.	
20:50	ATIS OSCAR entre en vigueur	
20:51:56 –	<i>Rebriefing</i> dans le circuit d'attente RILAX	

¹ Les expressions qui représentent une appréciation personnelle face à une situation présente ainsi que les manifestations personnelles qui n'ont pas un lien direct avec le déroulement de l'accident sont marquées du signe*****.

UTC	Événement	Remarque
20:53:05	20:52:ff Le cdt parle de la procédure d'approche et souligne qu'un <i>left turn</i> est prescrit: „Wämer de <i>turn</i> macht bi Ko...Komma sächs Meile, sächs Komma föif Meile <i>left turn</i> ...“ 20:53:ff: „S'NAV <i>setting</i> bitte zweimal Chlote für de <i>approach</i> , bis deet ane isch's <i>up to you</i> .“	La représentation spatiale de l'approche est omise. L'itinéraire comprend un virage à droite. Pas de description de la phase de descente: la configuration, le VDP, etc. manquent.
20:53:37	Le cdt: „Also schön Ziit, mer werded...also wirklich <i>well on time</i> sii, hä?“	Indique l'intention du cdt de pouvoir se poser selon l'horaire.
20:53:42	L'avion quitte le circuit d'attente RILAX	
20:55:03	L'avion vole à une vitesse indiquée de 210 kt, Le cdt demande au copi de se renseigner sur les limites de vitesse en vigueur. Le copi questionne l'ATC dont la réponse est: „Ah, <i>no restriction on speed for the time being</i> “ Le cdt: „I dem Fall 250, hä?“	Indication supplémentaire que l'horaire doit être tenu. La vitesse sera augmentée progressivement à 250 kt entre 20:55:16 et 20:55:46.
20:56:14	ATC: „... <i>follow ZUE VOR radial 125 inbound</i> “ Le copi: „... <i>radial 152, Crossair 3597</i> “ ATC: „Aah, <i>radial 125</i> “ Le copi: „125, Crossair 3597“	L'indication de l'ATC est erronée de 180°, le malentendu concernant la fausse indication est corrigé.
20:56:38 – 20:57:10	Le cdt réfléchit à la donnée de l'ATC et réalise qu'il s'agit d'un „ <i>track 125</i> “.	La clarification avec l'ATC manque, utilisation du bon sens.
20:58:13	Calage des altimètres au QNH 1024 et contrôle de leur indication.	La comparaison ne révèle aucun écart.
20:58:40	Suite à la demande du copi, le cdt le prie de démarrer l'APU. 1er essai.	L'APU ne démarre pas.
20:58:50	L'ATC donne l'autorisation pour la VOR/DME <i>standard approach runway 28</i>	
20:59:25	Le cdt: „LNAV isch dine...“	
20:59:55	Le copi essaie à nouveau de démarrer l'APU, 21:00:04: „Jawohl, jetzt chunnt's guet“	L'APU démarre
21:00:56	ATC: „Crossair 3597 <i>reduce speed to one eight zero (180 kt) or less</i> “.	Début de la décélération partiellement avec les aérofreins.
21:01:39	Le cdt: „ <i>Speed is checked, flaps eighteen (18°)</i> “	
21:02:00	Le cdt mentionne que la vitesse est d'env.160 kt	
21:03:01	ATC: „Crossair 3597, <i>tower one one eight one (118.1 MHz) continue your speed reduction to final approach speed</i> “ – Le cdt confirme qu'il est en train de réduire la vitesse de l'avion.	Transfert au secteur d'approche (ADC)

UTC	Événement	Remarque
21:03:29	CRX 3891, un EMB 145 atterrit sur la piste 28	
21:03:36	Le cdt: „ <i>Ground contact hämmer...</i> “	L'avion survole Kollbrunn, le cdt commence à voir au dehors.
21:03:56	Le cdt confirme à nouveau une vitesse de 160 KIAS	
21:04:23	L'équipage constate la distance oblique de 8 NM jusqu'au VOR/DME KLO et débute la descente	
21:04:31	CRX 3981 transmet à l' ATC: „ <i>Just for your information: the weather for runway 28 is pretty minimum. So we had the runway in sight about 2.2 DME</i> “	Cette information est enregistrée au minimum par le cdt, comme le montrent ses réactions à 21:05:59 et à 21:06:25.
21:04:34	Le cdt ordonne: „ <i>Gear down</i> “	Selon les procédures de Crossair pour une NPA, l'avion devrait être configuré avec le train d'att. Sorti et les volets à 24° avant le début de l'approche finale.
21:04:37	HB-IXM quitte 4000 ft QNH, 160 kt, avec un taux de descente de 1000 ft/min au début, puis de 1200 ft/min	
21:04:47	Le cdt ordonne: „ <i>Flaps two four (24°)</i> “	Le changement de la configuration et de la vitesse pendant l'approche rend le maintien de l'angle d'approche plus difficile.
21:04:51	Début du <i>check for approach</i> , qui se termine à 21:05:00 avec les mots du copi: „ <i>airchange over</i> “ – le cdt: „Mache!“	Le copi est à la fin de la liste de contrôles pour l'approche, ce que le cdt constate à 21:05:02. Le copi est probablement occupé avec le <i>airchange over</i> .
21:05:02	Le cdt constate: „...sechs Meile, drüü, drüü (33) das chunnt guet“	
21:05:15	Le cdt: „Speed 140 chömmer nä, hä?“ Le copi: „Jawohl, me händ de <i>pack recirc valve...</i> “	L'avion se trouve à 3340 ft QNH
21:05:21	Le copi: „ <i>Tower gueten Abig, Crossair 3597, established VOR/DME runway two eight</i> “. ATC: „Crossair 3597, gueten Abe“.	L'avion est à 6 NM et se trouve en fait à 3240 ft QNH au lieu de 3360 ft QNH, Cet écart n'est pas relevé.
21:05:27	Le cdt: „Sechs Meile drüü drüü isch <i>checked...</i> “ Le copi: „Jawohl“ Le cdt: „S'Minimum isch 2400 grundet“	Dernière indication de distance du VOR KLO par l'équipage. Première référence à la MDA.

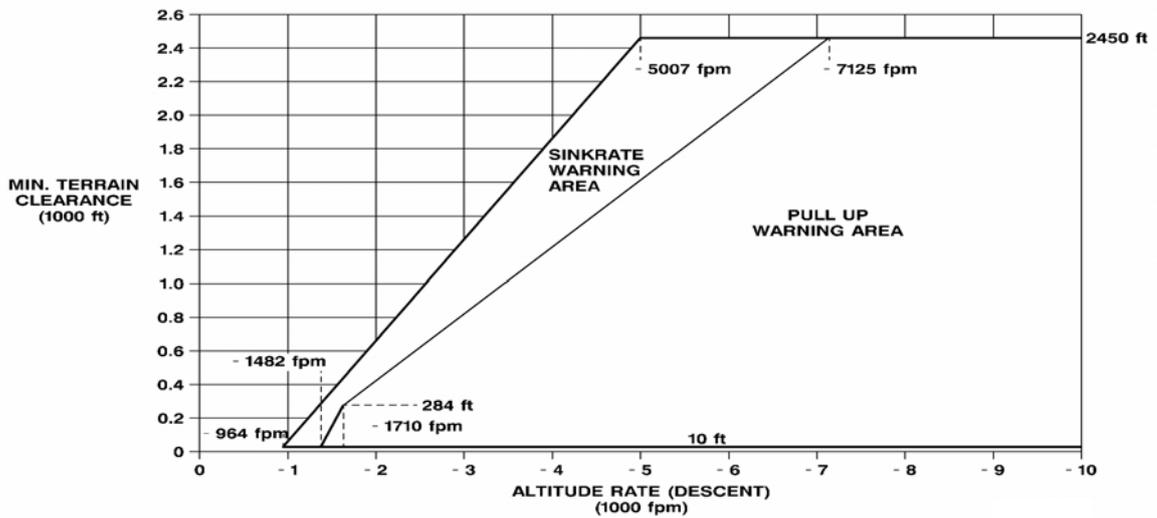
UTC	Événement	Remarque
21:05:36	Le cdt: „Flaps three three (33°)” – le copi: „Speed checked, flaps three three selected” Le cdt: “Final check” – le copi: “Final check, confirm three greens” – le cdt: “Is checked”	A ce moment débute une séquence qui occupe les deux membres du cockpit
21:05:44	Le cdt: „Hundert sächzäh (116 kt)” – Le copi: „Full flaps...set” – le CDT: “Checked” – le copi: “Cabin report received” – le cdt: “Received” – le copi: “Landing clearance to go” – le cdt: “Isch to go” – le copi: “Jawohl”	La configuration est à nouveau changée. Les deux membres du cockpit sont occupés.
21:05:55	Le cdt: „Ground contact hämmer, hä?” – le copi: “Jawohl”	HB-IXM se trouve à env. 2680 ft QNH, approchant la MDA. Le cdt réalise cela et regarde de nouveau à l'extérieur. Selon la répartition des tâches, il devrait, en tant que PF, regarder exclusivement ses instruments.
21:05:59	Le cdt: „Mä hät gseit, Pischte hät er spaat gseeh da...approaching minimum descent altitude...da hämmer echli ground contact”	Le cdt se souvient de l'annonce du CRX 3891 et regarde de nouveau à l'extérieur. Aucun contrôle croisé de la distance n'est mentionné.
21:06:10	Le cdt: „...zwo vier, s'Minimum...ground contact han ich...mer gönd wiiter im Moment...es chunnt füre...ground contact hämmer...mer gönd wiiter” le copi dit entre-temps doucement: „Zwei, vier”	HB-IXM atteint la MDA Le copi mentionne la MDA
21:06:22	RA <i>callout</i> : „Five hundred”	L'avion se trouve à 2150 ft QNH
21:06:25	Le cdt: „*****”, 2 Meile hät er gseit, gseht er d'Pischte” HB-IXM se trouve alors à 4 NM DME KLO	Le RA <i>callout</i> crée probablement un sentiment d'inquiétude. Le cdt se souvient à nouveau de l'annonce du CRX 3891. Toutefois HB-IXM est encore trop éloigné de la piste pour permettre d'établir un contact visuel avec les lampes d'approche. Un contrôle de la distance DME n'a pas plus lieu.
21:06:31	Le cdt: „Zwöi tusig (2000)”	
21:06:32	RA <i>callout</i> : „Minimums”	300 ft RA

UTC	Événement	Remarque
21:06:33	Le cdt: „... <i>go around</i> mache?“ – En même temps l'ATC donne l'autorisation d'atterrissage et la <i>cavalery charge retentit</i> .	
21:06:34	Le cdt: „ <i>Go around!</i> “ – le copi: „ <i>Go around!</i> “	
21:06:36	Début des bruits d'impact et simultanément le RA <i>callout</i> : „ <i>One hundred</i> “	100 ft RA
21:10:32	L'ATC déclenche l'alarme.	

Annexe 2: Installation de l'indicateur d'huile



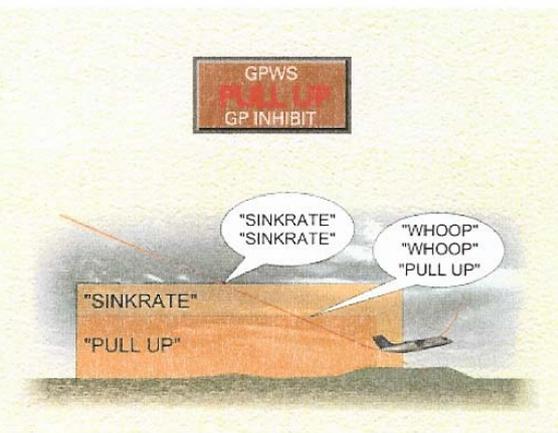
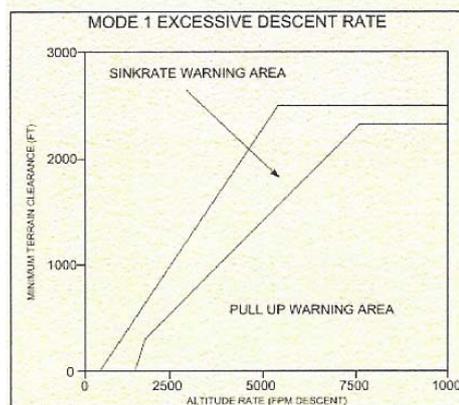
Annexe 3: Warning envelope of the *ground proximity warning system (GPWS)*



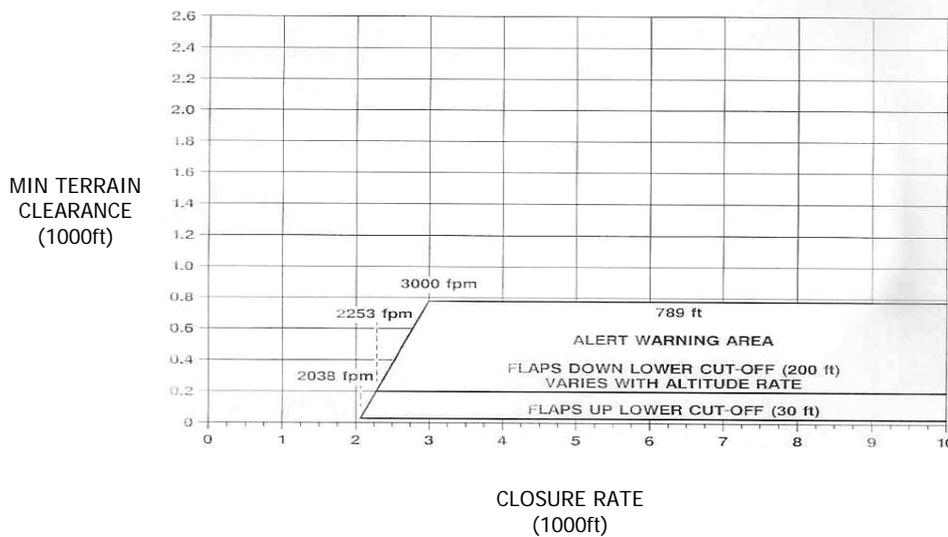
Mode 1. Excessive sink rate

This mode is effective in all aircraft configurations and provides for flight over level ground when the aircraft is losing height at an excessive rate. The GPWC compares the IRS vertical speed (or ADC barometric altitude sink rate if IRS is not available) with the available terrain clearance to determine if a hazard exists. The warning is given to allow time for a gentle recovery manoeuvre. Thus, the smaller the terrain clearance the smaller the sink rate that triggers a warning. Below certain heights, it is assumed that the aircraft is making a deliberate descent and a greater sink rate is tolerated. When using IRS data, the lower limit for this mode is 10 ft. When using ADC data below 30 ft., the GPWS is inhibited to avoid nuisance warnings resulting from ground effect on the static pressure system. This mode has two unique boundaries. The outer boundary advises the pilot that the rate of descent for a given altitude is excessive and the condition should be adjusted.

The warnings are the PULL UP annunciators illuminating and a SINK RATE SINK RATE audible warning. If the second boundary is penetrated, a WHOOP WHOOP PULL UP audible warning sounds.



If the envelope is penetrated, the aural warning "SINK RATE" is given and PULL UP warning light on the glareshield illuminates until the envelope is left. If descent continues and the inner envelope is penetrated, the aural warning "WHOOP WHOOP PULL UP" is given. It can be seen that the PULL UP warning occurs at a higher radio altitude for higher descent rates. This is designed to provide sufficient response time for the pilot to recover.

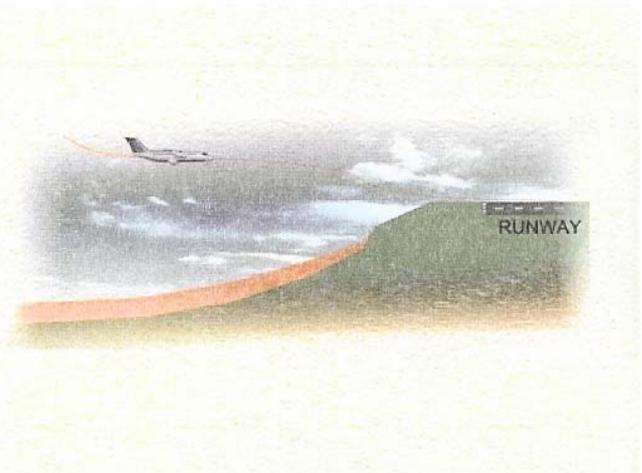
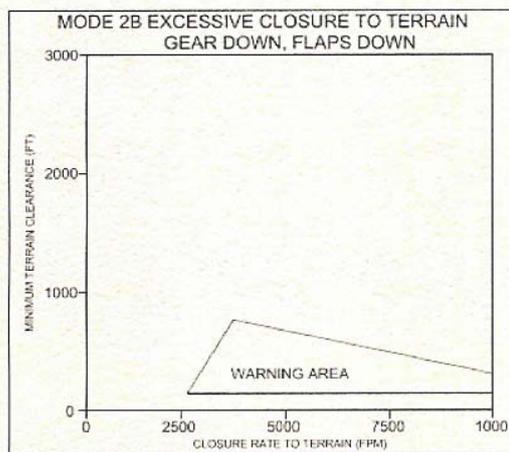


Mode 2. Excessive terrain closure rate

This mode provides for level flight in which the terrain is rising. Terrain closure rate is derived from radio altitude and is compared against terrain clearance. Two sub-modes (mode 2a and mode 2b) are provided to afford adequate protection in cruise while keeping nuisance warnings to a minimum during approach.

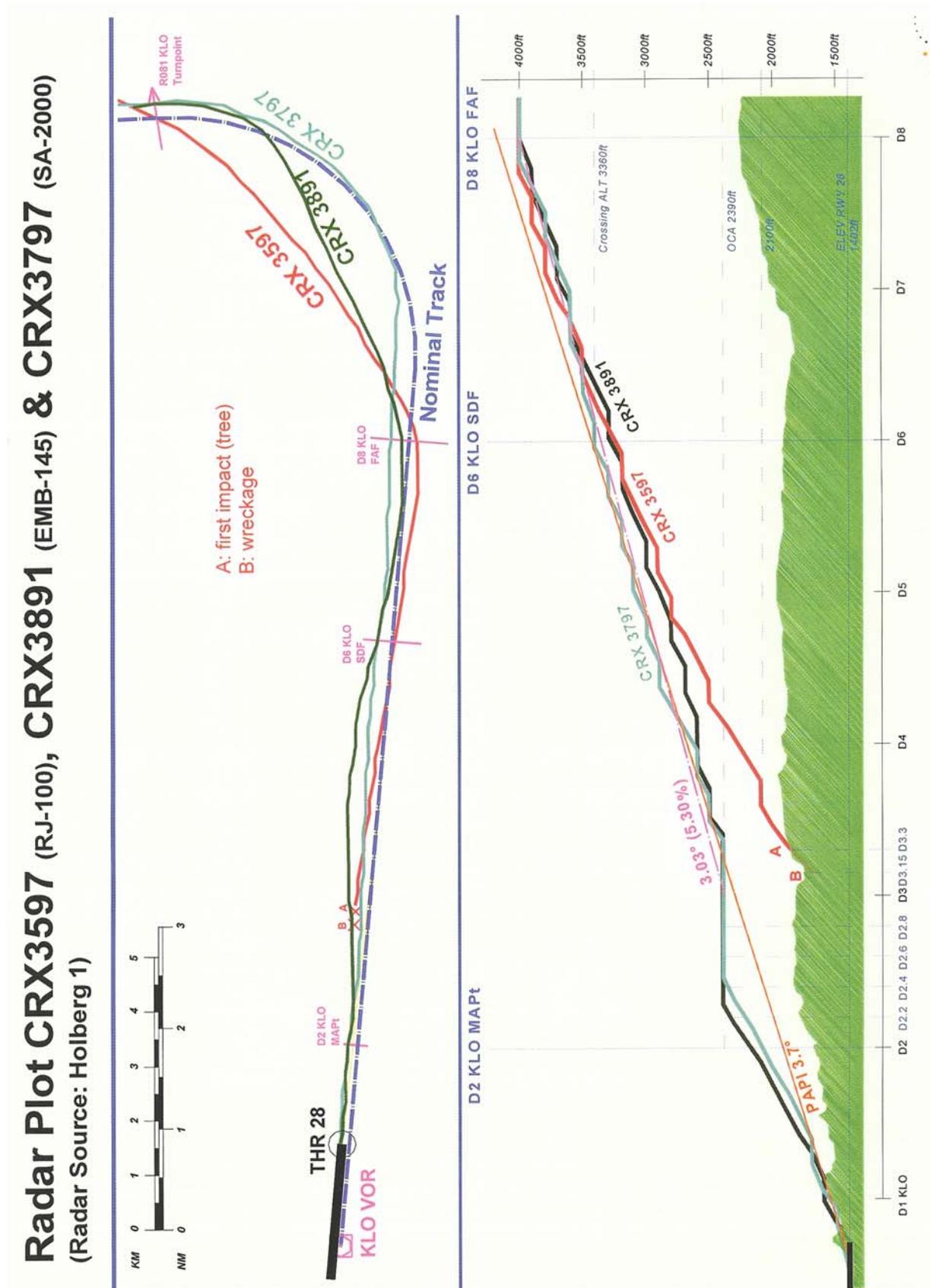
Mode 2b. With the flaps selected to land, this mode operates between 789 ft and 200ft. The slope of the flight path reflects a ground closure rate appropriate to landing. The mode is also active when making an ILS approach with a glide slope deviation less than 1.3 dot. It can be selected by pressing the FLAP WARN OVRD switch.

Mode 2b warnings are red PULL UP annunciators and an audible warning. The warning is cancelled when the aircraft has gained 300ft altitude and is on a safe flight path.



Mode 2b. During an approach with either the flaps in the landing configuration or with the aircraft established on an ILS, the envelope is modified to allow passage over hilly terrain without triggering a warning. The warnings are the same as mode 2a

Annexe 4: Profil d'approche du vol CRX 3597



Annexe 5: Reconstitution au simulateur de l'approche pour la piste 28

Vue de la piste 28 au *Visual Descent Point* (VDP) à 2390 ft AMSL de jour avec une visibilité supérieure à 10 km



Vue identique, toutefois avec une visibilité de 5000 m



A partir de cette vue, on réalise qu'une réduction supplémentaire de la visibilité à 3500 m rend la reconnaissance des balises d'approche et/ou du seuil de piste difficile. Avec une visibilité de 2000 m, on ne voit ni les balises d'approche, ni le seuil de piste.

La vue suivante a été réalisée à env. 1000 ft (MDA) au-dessus de l'altitude de l'aéroport alors que l'avion se trouve sur une pente de 3°. Les conditions météorologiques étaient les suivantes: Broken à 2000 ft avec une visibilité de 5000 m.

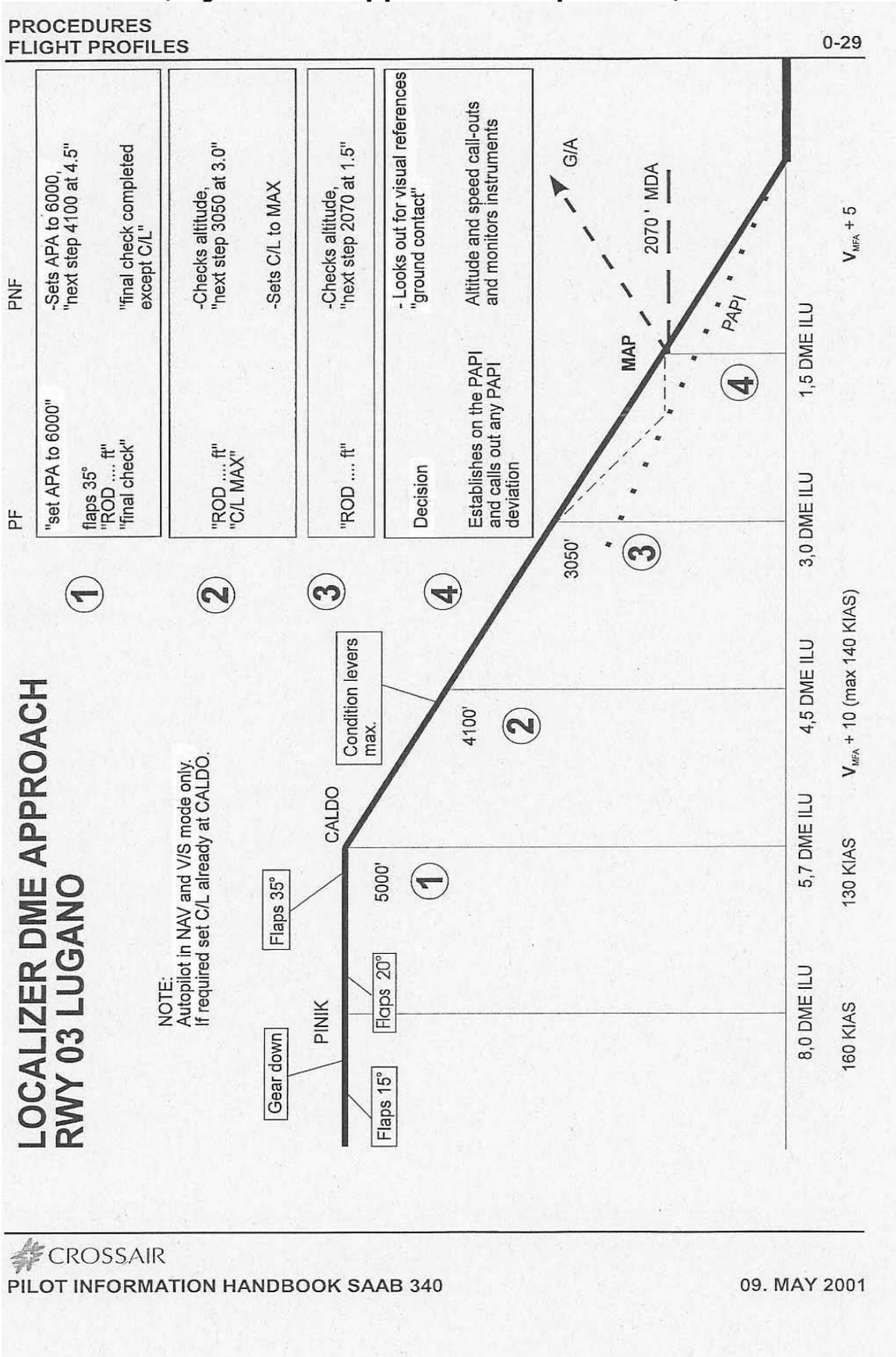


Balises d'approche

La vue ci-dessous montre la représentation visuelle à *la Minimum Descent Altitude* (MDA) une fois au *Missed Approach Point* avec une visibilité de 10 km. Approx. de cette position les deux vols CRX3891 (D2.2 KLO) et CRX3797 (D2.4 KLO) commencèrent leur approche finale.



Annexe 6: Localizer DME piste 03 à Lugano (aujourd'hui approche IGS piste 01)



Annexe 7: Carte d'approche AIP Suisse, LSZH AD 2.24.10.7-1

AIP SWITZERLAND

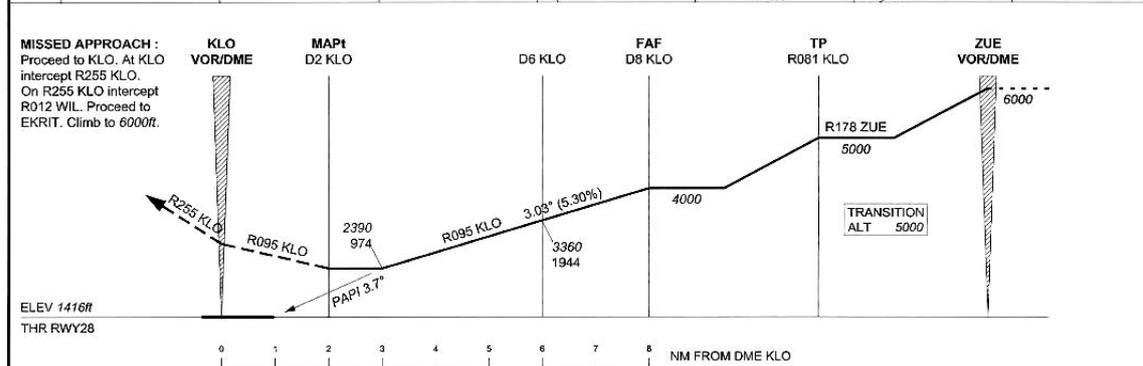
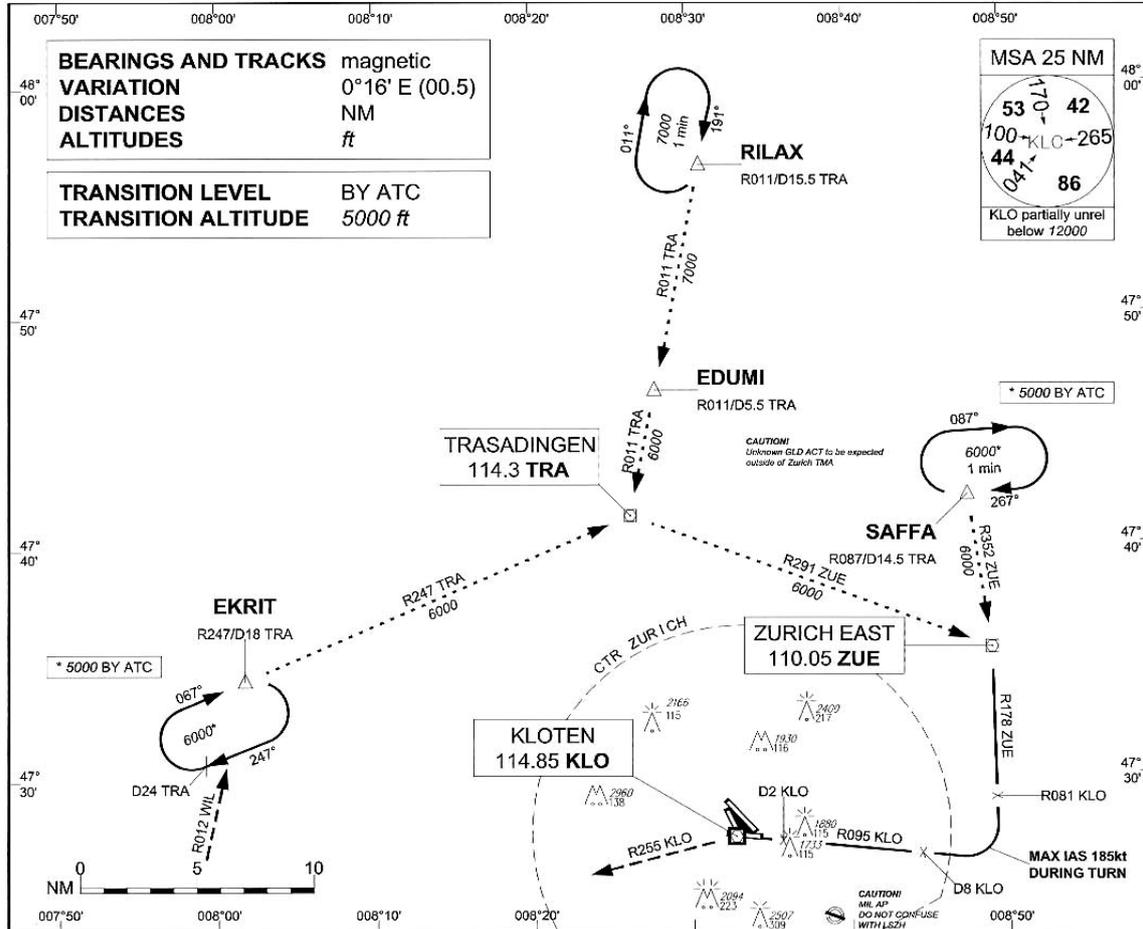
INSTRUMENT APPROACH CHART ICAO

ELEV 1416 ft

ATIS	128.525	
APP	118.000	120.750
FINAL	125.325	
TWR	118.100	

LSZH AD 2.24.10.7 - 1

ZURICH
VOR/DME STANDARD RWY 28
CAT A / B / C / D



OBSTACLE CLEARANCE ALTITUDE/HEIGHT (OCA/H)	A	B	C	D
STRAIGHT-IN APPROACH		2390 / 974		

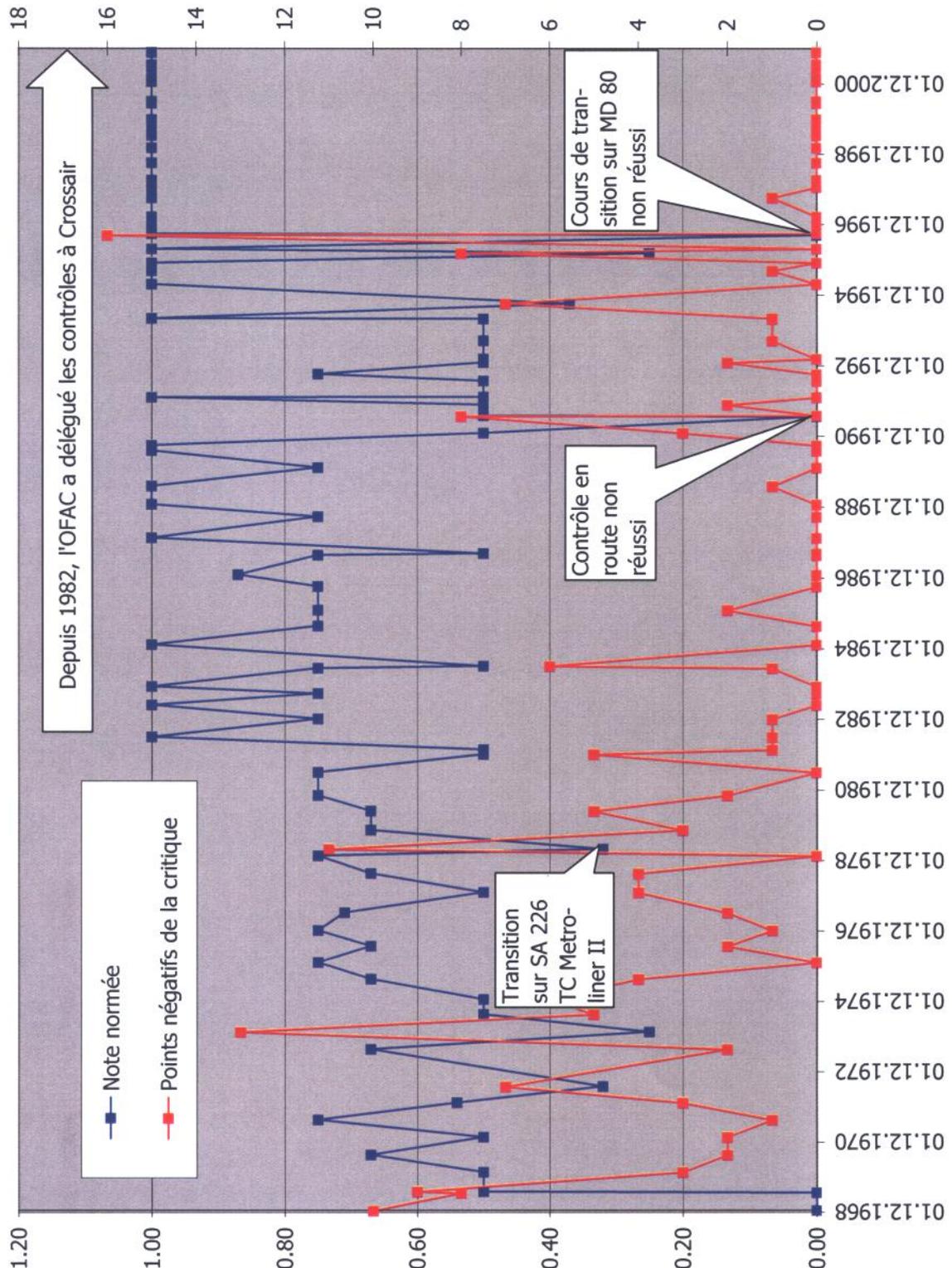
- Remarks:**
- At MAPI D2 KLO ACFT POS is APRX 100m left of RCL 28
 - When VIS FLW PAPI APCH slope 3.7°

CAUTION!
Do not confuse RWY32 with RWY28

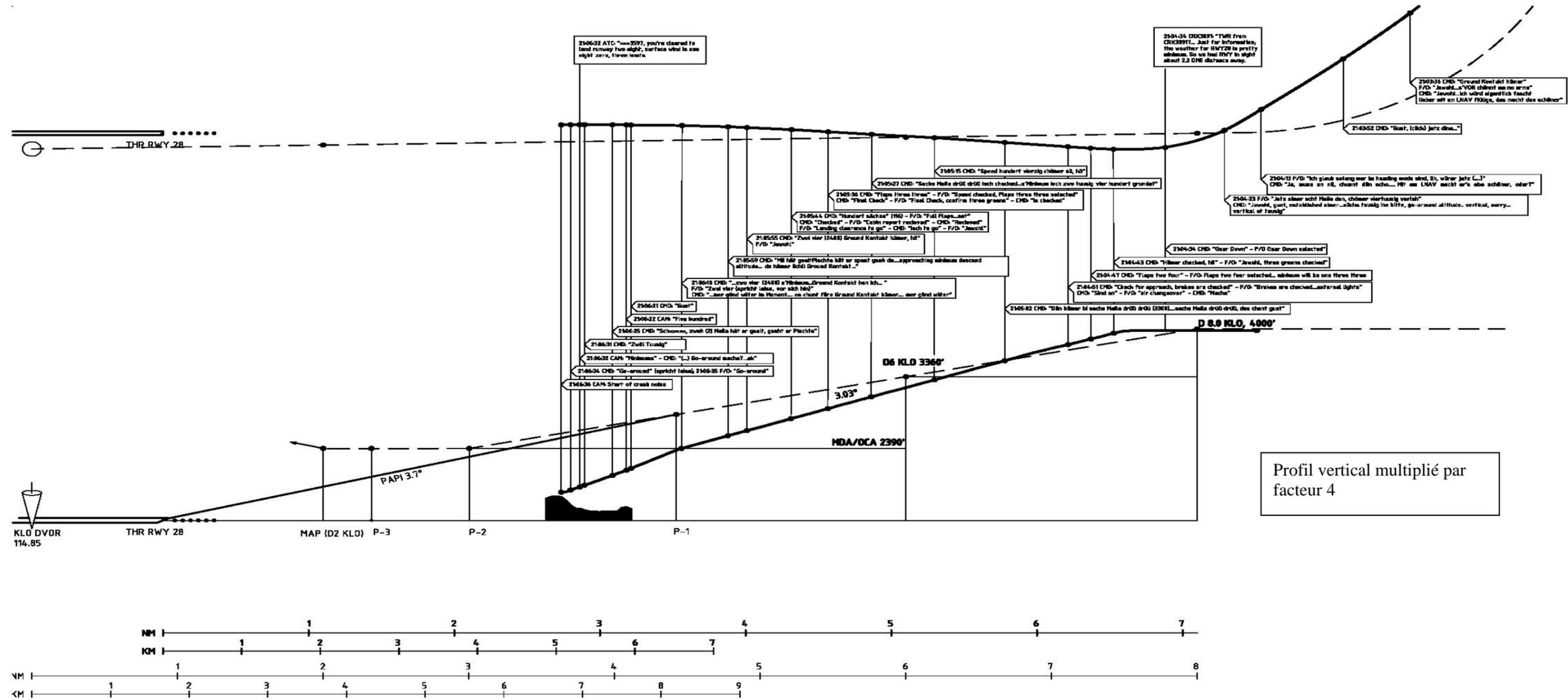
COR: limiting DIST EKRIT HLDG

Annexe 9

Représentation graphique des résultats du commandant lors de ses *line*, *route* et *simulator checks*. Comme l'échelle des notes a changé au cours du temps, elles ont été normées de façon à permettre une comparaison directe (ligne bleue). La valeur de 0,5 correspond à une performance moyenne. Le nombre des points négatifs relevés sur les feuilles de contrôle a également été reporté dans ce graphique (ligne rouge).



Annexe 10: Profil d'approche détaillé du vol CRX 3597



Annexe 11: Représentation graphique du segment final de l'approche standard VOR/DME pour la piste 28

