



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

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

Domaine aviation

Rapport final n° 2228

du Service suisse d'enquête de sécurité SESE

concernant l'incident grave
du Boeing 737-600, immatriculé TS-IOL,
de la compagnie Tunisair

survenu le 24 novembre 2012

à l'aéroport de Genève

Ursachen

Der schwere Vorfall ist auf ein kurzzeitiges Verlassen der Piste kurz nach dem Aufsetzen zurückzuführen, weil es durch eine räumliche Desorientierung zu einem Kontrollverlust gekommen war.

Die unsachgemässe Benutzung der automatischen Flugsteuerungssysteme hat zum schweren Vorfall beigetragen.

Remarques générales sur le présent rapport

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

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

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

Pour assurer la protection des données, le rapport fait usage du masculin générique.

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

Sauf indication contraire, toutes les heures indiquées dans ce rapport le sont en heure universelle coordonnée (*coordinated universal time* – UTC). Au moment où s'est produit l'incident grave, l'heure normale valable pour le territoire suisse (*local time* – LT) correspondait à l'heure de l'Europe centrale (*central european time* – CET). La relation entre LT, CET et UTC est : $LT = CET = UTC + 1 \text{ h}$.

Table des matières

Introduction.....	7
Enquête.....	7
Synopsis.....	7
Cause.....	7
Recommandation(s) de sécurité, avis concernant la sécurité et mesures prises après l'incident grave.....	8
1 Renseignements de base.....	9
1.1 Déroulement du vol.....	9
1.1.1 Généralités.....	9
1.1.2 Faits antécédents.....	9
1.1.3 Vol au cours duquel s'est produit l'incident grave.....	9
1.1.4 Lieu où s'est produit l'incident grave.....	11
1.1.5 Cinématique de l'incident grave.....	11
1.2 Personnes blessées.....	13
1.3 Dommages à l'aéronef.....	13
1.4 Autres dommages.....	13
1.5 Renseignements sur le personnel.....	17
1.5.1 Equipage de conduite.....	17
1.5.1.1 Commandant de bord.....	17
1.5.1.1.1 Expérience de vol, approches et atterrissages.....	17
1.5.1.1.2 Périodes de service et de repos.....	17
1.5.1.2 Copilote.....	18
1.5.1.2.1 Expérience de vol, approches et atterrissages.....	18
1.5.1.2.2 Périodes de service et de repos.....	18
1.5.2 Personnel des services de contrôle de la circulation aérienne.....	18
1.5.2.1 Contrôleur de la circulation aérienne 1.....	18
1.5.2.2 Contrôleur de la circulation aérienne 2.....	19
1.6 Renseignements sur l'aéronef.....	19
1.6.1 Renseignements généraux.....	19
1.6.2 Masses et centrages.....	20
1.7 Renseignements météorologiques.....	20
1.7.1 Situation météorologique générale.....	20
1.7.2 Situation météorologique locale au moment où s'est produit l'incident grave.....	20
1.7.3 Informations astronomiques locale au moment où s'est produit l'incident grave.....	20
1.7.4 Informations météorologiques d'aérodrome à Genève.....	21
1.7.5 Prévisions d'aéroport à Genève.....	22
1.7.6 Informations météorologiques et prévisions d'aérodrome pour Lyon Saint-Exupéry....	24
1.7.7 Informations météorologiques relatives à l'approche.....	24
1.8 Aides à la navigation.....	26
1.8.1 Renseignements sur les aides à la navigation et à l'atterrissage.....	26
1.8.2 Renseignements sur l'équipement de l'aéronef.....	26
1.9 Communications.....	26
1.10 Renseignements sur l'aérodrome.....	26
1.10.1 Généralités.....	26
1.10.2 Equipements et dimensions de la piste.....	26
1.10.3 Règlement d'exploitation.....	27
1.10.4 Division Sécurité de l'AIG.....	27

1.11	Enregistreurs de bord	27
1.11.1	Enregistreur de données de vol.....	27
1.11.1.1	Généralités	27
1.11.1.2	Etat de l'enregistreur de données de vol.....	27
1.11.1.3	Résultat de l'analyse des enregistreurs de bord	27
1.12	Renseignements sur l'épave et sur l'impact.....	29
1.13	Renseignements médicaux et pathologiques.....	30
1.14	Incendie	30
1.15	Questions de survie	30
1.16	Essais et recherches	30
1.16.1	Reconstitution de l'incident grave en simulateur de vol	30
1.17	Renseignements en matière d'organisation et de gestion.....	30
1.17.1	Service de la navigation aérienne	30
1.17.1.1	Généralités	30
1.17.1.2	Procédures d'exploitation par faible visibilité (<i>low visibility procedures – LVP</i>)	30
1.17.1.3	Prescriptions opérationnelles en cas de panne du système lumineux, en opération par faible visibilité	31
1.17.1.4	Devoirs du contrôle d'approche relatifs à l'ATIS	31
1.17.2	Infrastructure et équipement de l'aéroport de Genève.....	32
1.17.2.1	Balisage lumineux.....	32
1.17.2.2	Dispositif lumineux de la piste 23	32
1.17.2.3	Contrôle du fonctionnement des dispositifs lumineux	32
1.17.2.4	Système BALUPI	32
1.17.2.5	Alarmes BALUPI activées au moment où s'est produit l'incident grave.....	33
1.17.3	Entreprise de transport aérien Tunisair	34
1.17.3.1	Généralités	34
1.17.3.2	Prescriptions opérationnelles	34
1.18	Renseignements supplémentaires	36
1.18.1	Catégories d'opération d'approche et d'atterrissage de précision.....	36
1.18.2	Informations pertinentes pour l'enquête concernant les systèmes du Boeing 737-600 TS-IOL.....	36
1.18.2.1	Approche couplée à deux pilotes automatiques (<i>Dual A/P approach</i>).....	37
1.18.2.2	Approche couplée à un pilote automatique (<i>Single A/P approach</i>).....	37
1.18.2.3	Système automanettes	38
1.18.3	Atterrissage en pilotage manuel	38
1.18.4	Désorientation spatiale	38
1.18.5	Dépositions des contrôleurs de la circulation aérienne.....	39
1.18.6	Informations pertinentes extraites des rapports et déclarations des pilotes	39
1.19	Techniques d'investigation utiles ou efficaces	40
2	Analyse	41
2.1	Aspects techniques.....	41
2.2	Aspects opérationnels	41
2.2.1	Généralité	41
2.2.2	Approche finale et atterrissage.....	41
2.2.3	Utilisation des commandes automatiques de vol	41
2.2.3.1	Documentation.....	41
2.2.3.2	Utilisation des commandes automatiques de vol dans le déroulement de l'incident grave.....	42
2.3	Aspects humains	42
2.3.1	Désorientation spatiale	42
2.3.1.1	Facteurs environnementaux	42
2.3.1.2	Facteurs psychologiques.....	43
2.3.2	Atterrissage.....	44

2.4	Aspects relatifs au contrôle aérien	44
2.4.1	Secteur APP	44
2.4.2	Tour de contrôle.....	44
2.5	Aspects relatifs à la surveillance de piste.....	45
3	Conclusions	46
3.1	Faits établis	46
3.1.1	Aspects techniques	46
3.1.2	Equipage de conduite et contrôleurs de la circulation aérienne.....	46
3.1.3	Déroulement de l'incident grave	46
3.1.4	Aspects opérationnels	47
3.1.5	Domages au sol.....	47
3.2	Cause.....	47
4	Recommandation(s) de sécurité, avis concernant la sécurité et mesures prises après l'incident grave.....	48
4.1	Recommandation de sécurité.....	49
4.1.1	Système de surveillance des dispositifs de balisage lumineux d'aéroport.....	49
4.1.1.1	Déficit de sécurité	49
4.1.1.2	Recommandation de sécurité n° 495	49
4.2	Avis concernant la sécurité.....	49
4.3	Mesures adoptées pour améliorer la sécurité suite à la survenue de l'incident grave	49

Rapport final

Introduction

Propriétaire	Non communiqué
Exploitant	Société Tunisienne de l'Air, Tunisair, Charguia II, 2035 Tunis-Carthage, Tunisie
Constructeur	Boeing Commercial Airplanes, Seattle, Washington, Etats-Unis d'Amérique
Type d'aéronef	B737-600
Pays d'immatriculation	Tunisie
Immatriculation	TS-IOL
Indicatif d'appel	<i>Tunisair 700</i> (TAR 700)
Lieu	Aéroport de Genève (LSGG)
Date et heure	24 novembre 2012, 08:46 UTC

Enquête

L'incident grave s'est produit le 24 novembre 2012 à 08:46 UTC. Il a été annoncé au Service d'enquête suisse sur les accidents (SESA) le même jour à 17:25 UTC. Une enquête a été ouverte à 18:00 UTC.

Le SESA a notifié l'incident grave aux autorités de la Tunisie et des Etats-Unis d'Amérique, qui ont chacune nommé un représentant accrédité.

Le rapport final est publié par le Service suisse d'enquête de sécurité (SESE).

Synopsis

A l'aube du 24 novembre 2012, l'équipage de conduite du Boeing 737-600 opérant le vol TAR 700 en provenance de Tunis, effectuée à Genève une approche au moyen du système d'atterrissage aux instruments de la piste 23. Le ciel est obscurci par du brouillard, la visibilité verticale est de 200 ft et les procédures d'exploitation par faible visibilité sont en vigueur. L'approche est conduite en mode automatique, les automanettes et les deux pilotes automatiques sont enclenchés.

A l'altitude de décision, ces derniers sont déclenchés et l'avion se cabre légèrement. Les pilotes effectuent un atterrissage à 1290 m du seuil de piste, avec un toucher dur à gauche de l'axe. Le train principal gauche sort de la piste sur une distance de 120 m et brise deux feux du balisage de bord de piste.

L'incident grave est passé inaperçu pendant trois heures au cours desquelles des débris de lampes et d'ampoules sont restés sur la piste.

Cause

L'incident grave est dû à une sortie de piste momentanée en début de roulement à l'atterrissage, consécutive à une perte de maîtrise provoquée par une désorientation spatiale.

L'utilisation inappropriée des systèmes de commandes automatiques de vol a contribué à la survenue de l'incident grave.

Recommandation(s) de sécurité, avis concernant la sécurité et mesures prises après l'incident grave

Le rapport met en évidence un déficit de sécurité qui a donné lieu à une recommandation de sécurité.

Recommandations de sécurité

Selon l'Annexe 13 de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) et l'art. 17 du règlement (UE) n° 996/2010 du Parlement européen et du Conseil du 20 octobre 2010 sur les enquêtes et la prévention des accidents et des incidents dans l'aviation civile et abrogeant la directive 94/56/CE, toutes les recommandations de sécurité formulées dans le présent rapport sont adressées aux autorités de surveillance de l'État concerné, qui peuvent choisir de les appliquer en tout ou partie. Cependant toutes les organisations, entreprises et personnes sont invitées à améliorer la sécurité aérienne conformément aux objectifs poursuivis par les recommandations de sécurité.

Concernant les recommandations de sécurité, la législation suisse prévoit dans l'ordonnance sur les enquêtes de sécurité en cas d'incident dans le domaine des transports (OEIT) la réglementation suivante :

« Art. 48 *Recommandations en matière de sécurité*

¹ *Le SESE adresse les recommandations en matière de sécurité à l'office fédéral compétent et en informe le département compétent. En cas de problèmes de sécurité urgents, il informe immédiatement le département compétent. Il peut donner son avis sur les rapports de mise en œuvre de l'office fédéral à l'attention du département compétent.*

² *Les offices fédéraux informent périodiquement le SESE et le département compétent de la mise en œuvre des recommandations ou des raisons pour lesquelles ils ont renoncé aux mesures.*

³ *Le département compétent peut adresser des mandats de mise en œuvre à l'office fédéral compétent. »*

Le SESE publie les réponses de l'office fédéral compétent ou des autorités de surveillance étrangères sur son site (www.sust.admin.ch), offrant de la sorte un aperçu quant au degré de mise en œuvre de la recommandation de sécurité correspondante.

Avis concernant la sécurité

Le SESE peut publier des avis concernant la sécurité en réaction à des déficits de sécurité constatés lors de l'enquête. Des avis concernant la sécurité sont formulés lorsqu'une recommandation de sécurité au sens du règlement (UE) n° 996/2010 semble inadéquate, n'est formellement pas possible ou lorsque la forme moins contraignante de l'avis concernant la sécurité aura vraisemblablement plus d'impact. Les avis concernant la sécurité du SESE se fondent juridiquement sur l'art. 56 OEIT :

« Art. 56 *Informations pour la prévention des accidents*

Le SESE peut préparer et publier des informations générales utiles pour la prévention des accidents. »

1 Renseignements de base

1.1 Déroulement du vol

1.1.1 Généralités

Le déroulement de l'incident grave a été établi à l'aide des enregistrements des communications radiotéléphoniques, des données et tracés radar, des transmissions descendantes Mode S ainsi que des enregistrements des paramètres de vol. La description s'appuie également sur les informations et photographies des traces de l'atterrissage mises à disposition par les services techniques de l'aéroport international de Genève (AIG) et sur les dépositions des pilotes et contrôleurs de la circulation aérienne impliqués dans l'incident grave.

1.1.2 Faits antécédents

Le 24 novembre 2012, le commandant de bord, le copilote et les quatre membres du personnel navigant commercial du vol TAR 700 doivent effectuer les rotations Djerba (DTTJ) – Tunis (DTTA) – Genève (LSGG) – Tunis – Djerba à bord du Boeing B737-600 immatriculé TS-IOL. Ils débutent leur service à 04:00 UTC. Au moment de la préparation de vol, la prévision d'aérodrome (*terminal aerodrome forecast* – TAF) la plus récente pour Genève est celle de 02:25 UTC du même jour.

Le vol TAR 700 décolle de Djerba à 05:30 UTC et atterrit à Tunis à 06:09 UTC. L'escale dure trente minutes. La quantité minimale de carburant (*minimum block fuel*) nécessaire pour le vol à destination de Genève est de 6303 kg; l'équipage de conduite décide d'emporter 300 kg de carburant supplémentaire (*extra fuel*). L'avion est avitaillé de 5400 l de combustible, portant la masse de carburant (*actual block fuel*) à 6650 kg. L'aérodrome de décollage planifié est Lyon Saint-Exupéry (LFLL).

Le vol TAR 700 décolle à destination de Genève à 07:03 UTC avec 124 passagers à son bord. Le copilote est le pilote en fonction (*pilot flying* – PF).

1.1.3 Vol au cours duquel s'est produit l'incident grave

Le 24 novembre 2012 à l'aube, du brouillard se forme dans la région genevoise. Le message d'observation météorologique régulière pour l'aviation (*meteorological aviation routine weather report* – METAR) de 06:50 UTC fait état d'un brouillard partiel et d'une visibilité de 3000 m. Une heure plus tard, cette dernière est de 800 m, le brouillard est établi et le ciel obscurci avec une visibilité verticale de 200 ft. Les contrôleurs aériens de la tour de contrôle (*aerodrome control* – ADC) de Genève mettent alors en œuvre la phase de préparation de l'opération par faible visibilité (*low visibility procedures* – LVP). Elle est mise en application à 08:24 UTC, la piste 23 est en service.

A 08:27:40 UTC, l'équipage de conduite du Boeing 737-600 effectuant le vol TAR 700 en provenance de Tunis appelle le contrôle d'approche (*approach control unit* – APP) de Genève en indiquant son niveau de vol (*flight level* – FL) autorisé FL 160 et l'information météorologique du service automatique d'information de région terminale (*automatic terminal information service* – ATIS) « M ». Il suit l'arrivée normalisée aux instruments KINES 1R et l'avion se trouve entre les points de cheminement KINES et GOLEB. Le contrôleur APP le prend en charge et lui donne les instructions de descente et de réduction de vitesse, en fonction des contraintes environnementales et de trafic.

A 08:32:54 UTC le contrôleur APP demande à un trafic établi sur le système d'atterrissage aux instruments (*instrument landing system* – ILS) de la piste 23 de réduire sa vitesse à 150 kt jusqu'à 4 NM du seuil de piste. Devant l'éton-

nement du pilote qui semble juger cette décélération prématurée, il l'informe que l'opération LVP est en vigueur. Le pilote fait alors remarquer que cette information n'est pas contenue dans le message ATIS diffusé.

A 08:33:17 UTC le contrôleur APP demande aux pilotes de TAR 700 de continuer au cap et ajoute que l'opération par faible visibilité est en vigueur. Il indique que la portée visuelle en milieu de piste (*runway visual range – RVR*) est de 500 m. L'équipage de conduite répond qu'il continue l'approche.

Alors qu'ils sont en fin vent arrière main gauche, les pilotes prennent à 08:36 UTC les informations météorologiques et opérationnelles relatives à l'approche, l'information « O » de 08:20 UTC : la visibilité météorologique est alors de 700 m, de 1300 m dans la zone de toucher des roues, il y a du brouillard et le ciel est obscurci avec une visibilité verticale de 200 ft.

Le contrôleur APP communique à trois reprises des RVR en milieu de piste variant de 450 à 400 m à d'autres vols en phase d'approche.

A 08:37:03 UTC le vol TAR 700 est autorisé à l'approche ILS de la piste 23. L'équipage de conduite décide d'engager les deux pilotes automatiques.

A 08:39:36 UTC les pilotes contactent la tour de contrôle de Genève. Le contrôleur ADC leur communique les RVR de 550 m dans la zone de toucher des roues, 375 m en milieu de piste, et les autorise à 08:43:47 UTC à atterrir sur la piste 23. L'avion se trouve à ce moment à 5.4 NM du seuil de piste et à une hauteur de 1800 ft.

A 08:45:51 UTC, l'altitude de décision est atteinte, le commandant de bord annonce « *rampe en vue* » et le copilote déclenche les pilotes automatiques. L'assiette de l'avion augmente alors légèrement, le positionnant à une hauteur de 92 ft au seuil de piste.

L'appareil survole les marques de point de visée (*aiming point marking*) à 47 ft et effectue à cette hauteur, un palier le long de l'axe de piste pendant une dizaine de secondes. L'avion vire à gauche, le commandant de bord doute alors de la réussite de l'atterrissage et prend les commandes de vol en annonçant « *commandes à gauche* ».

Il diminue rapidement l'assiette de vol et la prise de contact avec le sol s'effectue durement, proche du bord gauche de la piste, à 1290 m du seuil de piste 23. Une seconde plus tard, le train principal gauche de l'avion sort de piste, parcourt une distance de 120 m et brise deux feux du balisage de bord de piste. Des débris de lampes sont projetés sur la piste. L'avion rejoint l'axe de piste et quitte cette dernière par la bretelle D alors qu'un autre appareil situé au point d'attente 23 est autorisé à s'aligner. Un passager témoignera avoir été fortement secoué pendant l'atterrissage et mentionnera un état de panique et des hurlements dans la cabine.

A la tour de contrôle, une alarme de panne totale des feux de bord de piste est déclenchée. Le superviseur téléphone à 08:47 UTC au Service électricité pour obtenir des informations au sujet du défaut du dispositif de balisage. Seul le service de permanence est disponible et il faudra attendre l'arrivée d'un spécialiste pour apprendre à 09:35 UTC que trois feux sont défectueux.

Le contrôleur ADC demande aux pilotes de l'avion aligné, à 08:47:28 UTC, s'ils voient encore les feux de bord de piste allumés et leur signale l'alarme qu'il soupçonne d'être intempestive. L'équipage de conduite répond par l'affirmative et accepte de décoller dans ces conditions. Une fois en vol, il confirme le bon fonctionnement du balisage lumineux.

Une fois l'avion stationné, le commandant de bord jugeant que son atterrissage a été dur, demande une inspection à cet effet qui sera effectuée par un agent de maintenance.

Après le débarquement, un passager émotionnellement choqué d'avoir vu l'avion rouler dans l'herbe est pris en charge par l'infirmerie de l'aéroport. La division Sécurité de l'AIG en est avertie et le responsable de service, en quête d'informations, téléphone au superviseur de la tour de contrôle.

A 09:47:56 UTC l'équipage de conduite du vol au cours duquel s'est produit l'incident grave contacte par radio le service de délivrance des autorisations et annonce qu'il sera prêt dans cinq minutes pour effectuer le vol TAR 701 à destination de Tunis. Le contrôleur ADC lui demande de rappeler lorsqu'il sera prêt et lui fait part des observations du passager choqué. Le pilote précise : « [...] *on a fait un atterrissage dur... et c'était à gauche de l'axe, mais pas sur l'herbe.* [...] ».

Lors du contrôle de piste de routine de 12:00 UTC, des débris de lampes et d'ampoules sont découverts sur la piste. Les contrôleurs ADC établissent alors une relation de cause à effet entre ces débris, l'alarme de panne totale des feux de bord de piste et les affirmations du passager choqué. Il considère alors qu'une sortie de piste du vol TAR 700 est probable. Le superviseur se fait apporter la « *lampe cassée* » et constate qu'elle porte « [...] *des traces de pneu, de gomme noire* [...] ». Les contrôleurs ADC demandent qu'un nouveau contrôle de piste soit effectué pour s'assurer qu'aucun débris n'y soit resté. Les conducteurs des véhicules de pistes font part des dégâts constatés sur les deux feux de bord de piste ainsi que de la présence de traces de roues dans l'herbe.

1.1.4 Lieu où s'est produit l'incident grave

Lieu	Aéroport de Genève
Date et heure	24 novembre 2012, 08:46 UTC
Conditions d'éclairage naturel	Jour
Situation	En bordure sud de la piste 23, à 1400 m du seuil, à une centaine de mètres de la voie de sortie de piste B

1.1.5 Cinématique de l'incident grave

La cinématique de l'incident grave a été établie en observant les variations d'assiette et de roulis de l'avion par rapport à sa trajectoire.

Jusqu'à la hauteur de 200 ft (*radio altitude* – RA), les systèmes de commandes automatiques de vol sont enclenchés. La trajectoire ainsi que les paramètres dynamiques de l'avion (assiette, poussée, vitesse, cap) sont conformes à la procédure d'atterrissage aux instruments ILS.

A l'altitude de décision de l'ILS 23 de catégorie (CAT) I, les pilotes automatiques sont déclenchés (08:45:51 UTC) et l'assiette augmente d'un peu plus d'un degré pendant une dizaine de secondes, positionnant l'avion au seuil de piste à la hauteur de 92 ft. Il entame alors pendant une vingtaine de secondes un mouvement de roulis sinusoïdal lent, de variations d'inclinaison de 5° à droite à 10° à gauche.

De 08:46:01 à 08:46:07 UTC, l'assiette passe de 3.2 à 7° (*attitude nose up* – ANU). L'appareil survole les marques de point de visée à une hauteur de 47 ft. Il la maintient le long de l'axe de piste pendant une dizaine de secondes, à la vitesse sol (*ground speed* – GS) de 129 kt. Au cours des trois dernières secondes de ce palier, l'assiette diminue de moitié pour revenir à 4° ANU (08:46:19 UTC).

L'avion s'écarte de l'axe de piste vers la gauche, son assiette diminue rapidement et la prise de contact avec le sol s'effectue à 08:46:20 UTC. La sortie de piste a lieu une seconde plus tard sur une distance de 120 m, jusqu'à mi-chemin entre les voies de sortie de piste B et C. L'avion rejoint l'axe de piste au travers de la bretelle C.

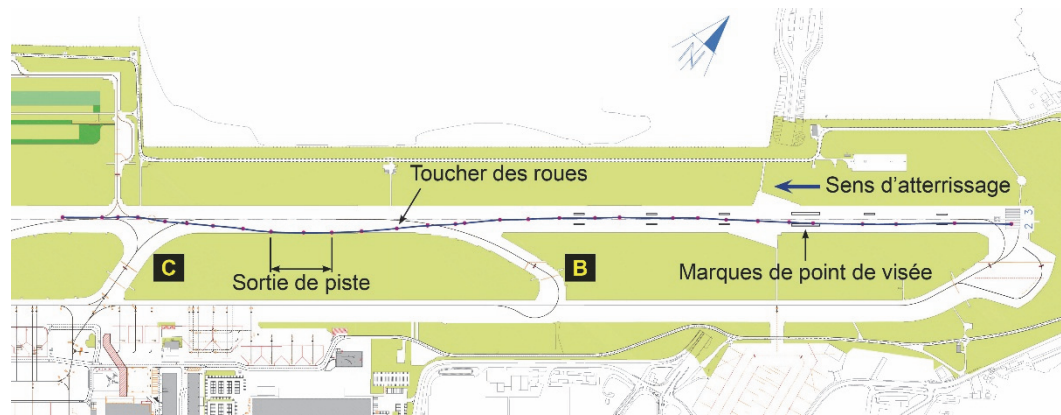


Figure 1 : trajet de l'avion reconstitué à l'aide des plots du système de surveillance de piste SAMAX¹

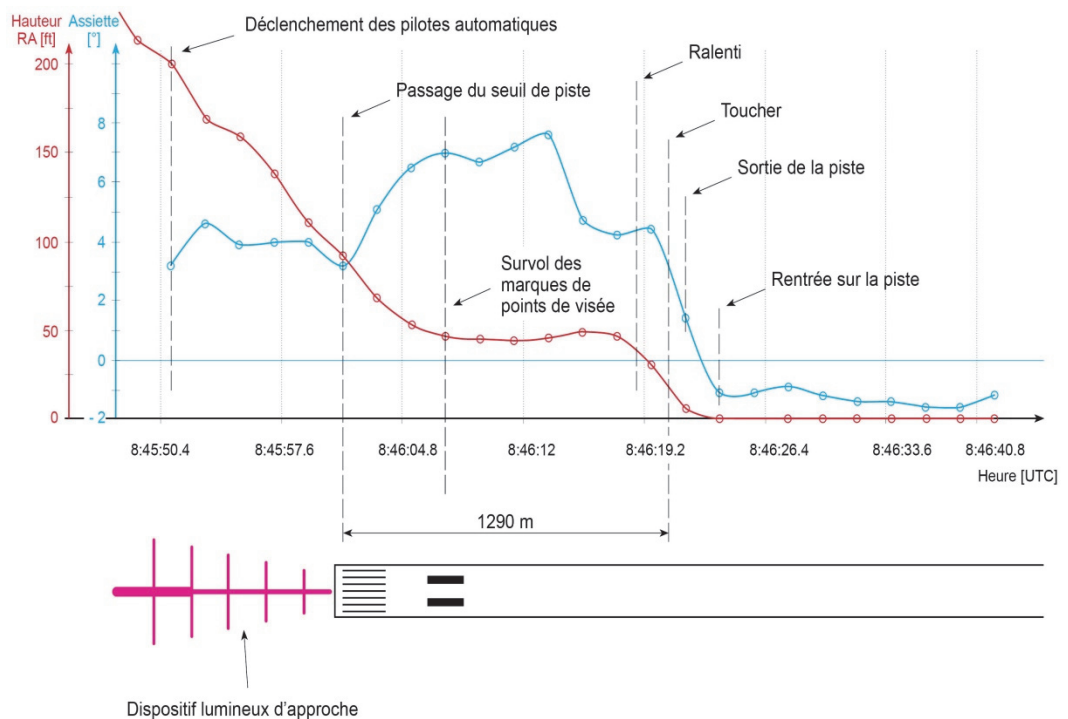


Figure 2 : assiettes et hauteurs RA pendant l'atterrissage. Les valeurs discrètes RA sont corrigées d'une erreur systématique

¹ SAMAX : Swiss airport movement area control system

1.2 Personnes blessées

Blessures	Membres d'équipage	Passagers	Nombre total de personnes à bord	Autres personnes
Mortelles	0	0	0	0
Graves	0	0	0	0
Légères	0	0	0	0
Aucune	6	124	130	Sans objet
Total	6	124	130	0

Après le débarquement, un passager en état de choc émotionnel a été pris en charge par l'infirmerie de l'AIG.

1.3 Dommages à l'aéronef

Les enregistrements de données de vol révèlent qu'à l'atterrissage, l'accélération verticale a atteint 2.5 g. L'équipage de conduite ne disposait pas d'accès direct ni d'indication concernant cette valeur. Le commandant de bord a jugé que l'atterrissage avait été dur, raison pour laquelle il a demandé qu'une inspection à cet effet (*hard landing inspection*) soit effectuée par un agent de maintenance. Ce contrôle consiste principalement à vérifier que les éléments du train d'atterrissage n'ont pas été endommagés. Aucun dégât à ce niveau, ni aucune présence d'herbe sur les pneumatiques n'ont été constatés.

Une inspection relative à la structure de l'avion (*structural examination*) n'est pas requise si l'équipage de conduite établit que l'atterrissage n'a pas été effectué sur toutes les roues simultanément, qu'il n'a pas sollicité de manière anormale le train avant ou que ce dernier n'a pas été le premier à toucher le sol. L'agent de maintenance a demandé au commandant de bord d'annoter le journal technique de bord qu'une telle inspection n'était pas requise.

Après le vol au cours duquel s'est produit l'incident grave, l'équipage a effectué le retour à destination de Tunis, puis une dernière étape vers Djerba. Une déchirure sur la face intérieure du pneumatique extérieur du train principal gauche y a été constatée et la roue correspondante a été changée. L'avion TS-IOL a ensuite été remis en service.

Le lendemain matin, dès qu'il fut mis au courant de la sortie momentanée de piste, l'agent de maintenance qui avait effectué l'inspection de l'avion à Genève a immédiatement envoyé un courrier électronique à Tunisair pour signaler qu'une inspection spécifique à ce type d'incident était prescrite.

1.4 Autres dommages

A la prise de contact avec le sol à 08:46:20 UTC, l'avion se trouvait à gauche de l'axe de piste 23, avec une composante de vitesse latérale le déportant vers l'extérieur. Le train principal gauche était sur la surface bétonnée à 5 m du bord. Une seconde plus tard, sa roue intérieure gauche a heurté le feu de bord de piste n° 2044 dont les débris, notamment le pied métallique de la lampe, d'une longueur de 15 cm et d'un diamètre variant de 5 à 12 cm et son embase mesurant une quinzaine de cm de diamètre et 3 cm de haut, ont été projetés sur la piste.

Le train principal gauche est sorti de la piste sur une distance de 120 m, le long de laquelle il a creusé des ornières dans le terrain en herbe et fissuré la bordure de piste bétonnée. Les forces exercées sur le sol ont endommagé le coin d'une trappe d'accès et déplacé les plaques métalliques la recouvrant. A 08:46:23 UTC le train principal gauche a rejoint la piste en détruisant le feu n° 2048 dont les débris ont été projetés dans l'herbe.

Les débris du feu n° 2044 sont restés sur la piste jusqu'à l'accomplissement du contrôle de piste de routine de 12:00 UTC.

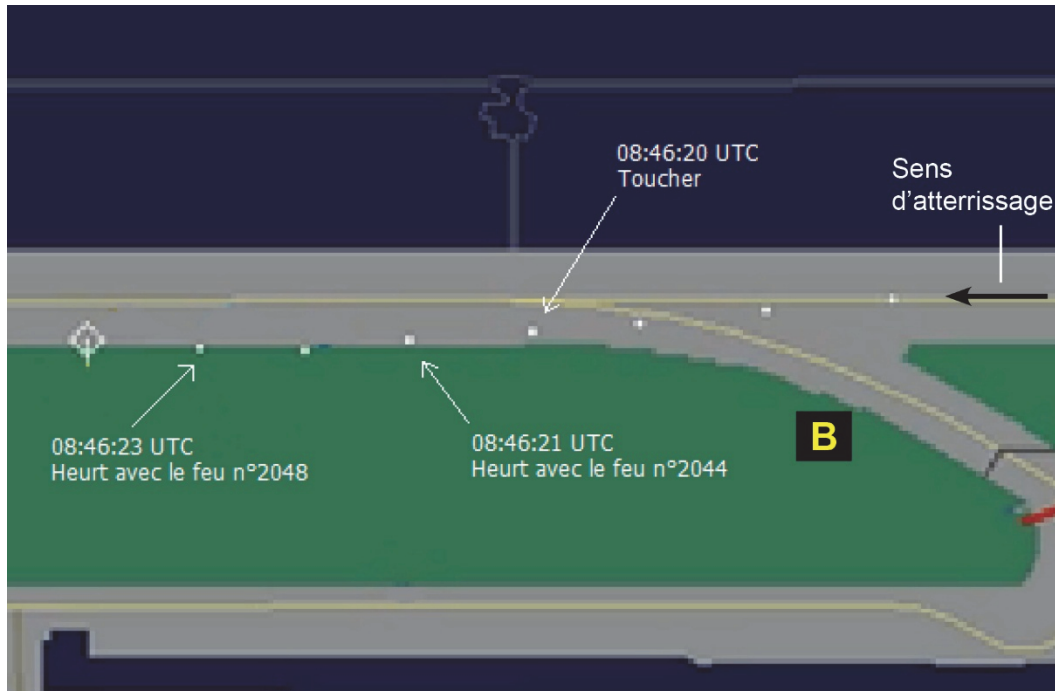


Figure 3 : plots du système SAMAX de TAR 700 entre 08:46:17 et 08:46:24 UTC

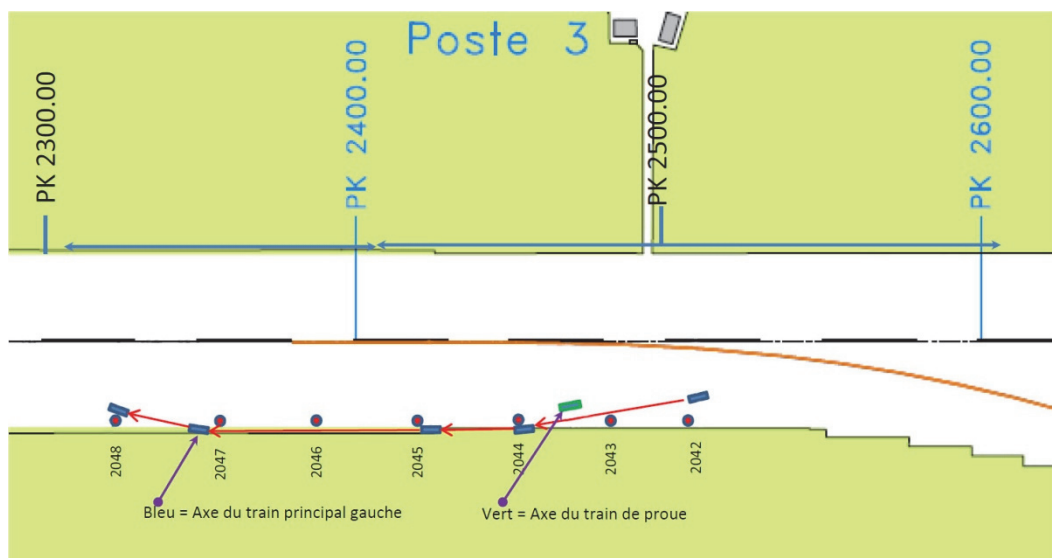


Figure 4 : trajet décrit par le train principal gauche lors de la sortie de piste

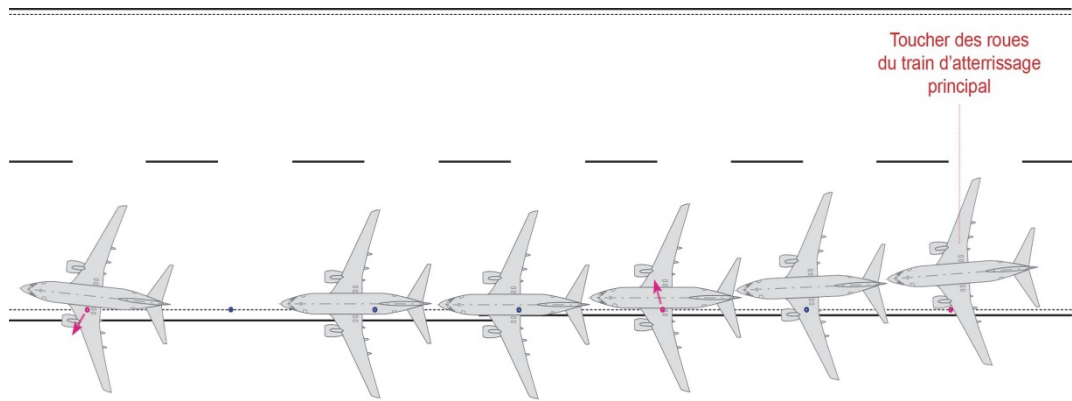


Figure 5 : trajet de l'avion lors de la sortie de piste. Les flèches rouges indiquent la direction et le sens vers lequel les feux de bord de piste ont été projetés



Figure 6 : base du feu de bord de piste n° 2044 portant les traces de la roue intérieure du train principal gauche



Figure 7 : fissures dans le béton provoquées par le passage de la roue intérieure du train principal gauche

1.5 Renseignements sur le personnel

1.5.1 Equipage de conduite

1.5.1.1 Commandant de bord

Personne	Citoyen tunisien, né en 1967
Licence	Pilote de ligne (<i>airline transport pilot licence – ATPL(A)</i>), établie la première fois par l'Office de l'Aviation Civile & des Aéroports (OACA) le 30 août 2010
Qualifications de Type	B737 300-800 valable jusqu'au 31 juillet 2012 A310/300-600 valable jusqu'au 31 juillet 2013 Au cours de l'enquête, la compagnie Tunisair a fait parvenir au SESE une copie de la licence rectifiée le 25 décembre 2012, mentionnant la qualification de Type B737 300-800 valable jusqu'au 31 juillet 2013
Vol aux instruments	<i>Instrument rating (IR)</i> , CAT I
Remarque	Pas d'expérience préalable en opération CAT II / III

1.5.1.1.1 Expérience de vol, approches et atterrissages

Heures totales	8565 h
Dont sur le type en cause	1200 h
Pendant les 90 derniers jours	167:40 h
Dont sur le type en cause	167:40 h
Nombre total d'approches sur B737	600

1.5.1.1.2 Périodes de service et de repos

Début du service dans les 48 heures avant l'incident grave	22 novembre 2012 à 04:00 UTC
Fin du service dans les 48 heures avant l'incident grave	22 novembre 2012 à 12:00 UTC
Période de service de vol dans les 48 heures avant l'incident grave	8 h
Période de repos dans les 48 heures avant l'incident grave	40 h
Temps de service de vol au moment de l'incident grave	4 h 35

1.5.1.2	Copilote	
	Personne	Citoyen tunisien, né en 1982
	Licence	Pilote commercial (<i>commercial pilot licence</i> – CPL(A)), établie la première fois par l'OACA le 21 septembre 2007
	Qualifications de type	B737 300-800 valable jusqu'au 28 février 2013
	Vol aux instruments	IR, CAT I
1.5.1.2.1	Expérience de vol, approches et atterrissages	
	Heures totales	Non communiqué
	Dont sur le type en cause	1522:35 h
	Pendant les 90 derniers jours	Non communiqué
	Dont sur le type en cause	71:55 h
	Nombre total d'approches sur B737	455
1.5.1.2.2	Périodes de service et de repos	
	Début du service dans les 48 heures avant l'incident grave	23 novembre 2012 à 08:00 UTC
	Fin du service dans les 48 heures avant l'incident grave	23 novembre 2012 à 13:00 UTC
	Période de service de vol dans les 48 heures avant l'incident grave	5 h
	Période de repos dans les 48 heures avant l'incident grave	13 h 30
	Temps de service de vol au moment de l'incident grave	4 h 35
1.5.2	Personnel des services de contrôle de la circulation aérienne	
1.5.2.1	Contrôleur de la circulation aérienne 1	
	Fonction	Contrôleur <i>aérodrome control</i> (ADC)
	Personne	Citoyen suisse, né en 1971
	Jours de travail avant le jour de l'incident grave	2 jours
	Début de service le jour de l'incident grave	05:30 UTC
	Licences	<i>Air Traffic Controller Licence</i> basée sur la directive 2006/23 de la communauté européenne, établie la première fois par l'Office fédéral de l'aviation civile (OFAC) le 15 novembre 1996 et valable jusqu'au 16 avril 2013 <i>Safety Related Task Licence</i> établie la première fois par l'OFAC le 29 janvier 2009 et valable jusqu'au 16 avril 2013

Qualifications de poste	<p><i>Unit endorsement : Tower Control (TWR) / Approach Control (APC), Supervisor (SPVR), Location LSGG</i></p> <p><i>Ratings : Aerodrome Control Instrument (ADI), Approach Control Surveillance (APS), SPVR</i></p> <p><i>Rating Endorsements : Air Control (AIR), Ground Movement Control (GMC), Ground Movement Surveillance (GMS), TWR, Radar (RAD) (ADI+APS), Surveillance Radar Approach (SRA)</i></p> <p><i>License endorsement : On the Job Training Instructor (OJTI), Assessor (EXM) valables jusqu'au 16 avril 2013</i></p>
1.5.2.2 Contrôleur de la circulation aérienne 2	
Fonction	Contrôleur sol (GND)
Personne	Citoyen suisse, né en 1971
Jours de travail avant le jour de l'incident grave	1 jour
Début de service le jour de l'incident grave	08:50 UTC
Licence	<i>Air Traffic Controller Licence</i> basée sur la directive 2006/23 de la communauté européenne, établie la première fois par l'OFAC le 27 août 1996 et valable jusqu'au 8 octobre 2013
Qualifications de poste	<p><i>Unit endorsement TWR / APC, Location LSGG</i></p> <p><i>Rating : ADI, APS</i></p> <p><i>Rating Endorsements : AIR, GMC, GMS, TWR, RAD (ADI+APS), SRA</i></p> <p><i>License endorsement : OJTI valable jusqu'au 8 octobre 2014</i></p>
1.6 Renseignements sur l'aéronef	
1.6.1 Renseignements généraux	
Immatriculation	TS-IOL
Type d'aéronef	Boeing B737-600
Caractéristiques	Biréacteur court et moyen-courrier
Constructeur	Boeing Commercial Airplanes, Seattle, Washington, Etats-Unis d'Amérique
Propriétaire	Non communiqué
Exploitant	Société Tunisienne de l'Air Tunisair
Masse maximale autorisée	65 090 kg au décollage 54 657 kg à l'atterrissage
Entretien	Visite prévol effectuée le 24 novembre 2012 à Djerba à 04:00 UTC

Limitations techniques	Aucune inscription concernant des éléments de la liste minimale d'équipement (LME) (<i>minimum equipment list</i> – MEL) et de la liste d'écarts de configuration (LEC) (<i>configuration deviation list</i> – CDL) ne figurait dans le journal technique de bord (<i>aircraft technical log</i>)
Champ d'utilisation	Exploitation commerciale
Spécifications d'exploitation	CAT I RVR : 550 m – DH 200 ft

1.6.2 Masses et centrages

Un devis de masse et centrage a été établi au départ de Tunis. Les valeurs de masses et centres de gravité se situaient pour tout le vol dans les limites prescrites par le manuel d'exploitation de l'aéronef (*aircraft flight manual* – AFM). La masse au décollage était de 56 371 kg, celle calculée pour l'atterrissage de 52 571 kg. La masse de l'avion à l'atterrissage était de 52.6 t.

1.7 Renseignements météorologiques

1.7.1 Situation météorologique générale

La Suisse se trouvait à l'avant d'une dépression centrée sur le golfe de Gascogne. Près du sol, un faible courant d'air humide favorisait la formation de brouillard.

1.7.2 Situation météorologique locale au moment où s'est produit l'incident grave

Portée visuelle de piste RVR à 08:46:14 UTC	Zone de toucher des roues 23 : 550 m
	Milieu de piste : 375 m
	Fin de piste 23 : 350 m

Vent	270°, 4 kt
------	------------

Température / point de rosée	7 °C / 7 °C
------------------------------	-------------

Pression atmosphérique QNH ²	1021 hPa
---	----------

Phénomènes météorologiques	Brouillard, ciel obscurci avec une visibilité verticale de 200 ft
----------------------------	---

Prévision à court terme ³	Pas de changement significatif
--------------------------------------	--------------------------------

1.7.3 Informations astronomiques locale au moment où s'est produit l'incident grave

Position du soleil	Azimut : 142°	Hauteur : 14°
--------------------	---------------	---------------

Conditions d'éclairage naturel	Jour
--------------------------------	------

² QNH : pression réduite au niveau de la mer, calculée avec les valeurs de l'atmosphère standard de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI)

³ Prévision à court terme : changement significatif attendu pendant les deux heures suivant l'heure d'observation

1.7.4 Informations météorologiques d'aérodrome à Genève

Les METAR pour 08:20 et 08:50 UTC étaient les suivants :

« METAR LSGG 240820Z 24002KT 0700 R05/0900VP2000D R23/0800VP2000U FG VV002 06/06 Q1021 NOSIG= »

En texte clair cela signifie :

Le 24 novembre 2012, peu avant la diffusion de l'observation météorologique d'aérodrome de 08:20 UTC, les conditions météorologiques suivantes ont été observées à l'AIG :

Vent	240°, 2 kt
Visibilité météorologique	700 m
Portée visuelle de piste RVR, piste 05	Comprise entre 900 m et plus de 2000 m avec une tendance à la baisse
Portée visuelle de piste RVR, piste 23	Comprise entre 800 m et plus de 2000 m avec une tendance à la hausse
Phénomènes météorologiques	Brouillard, ciel obscurci avec une visibilité verticale de 200 ft
Température / point de rosée	6 °C / 6 °C
Pression atmosphérique QNH	1021 hPa
Prévision à court terme	Aucun changement significatif prévu

« METAR LSGG 240850Z VRB03KT 0300 R05/0325N R23/0900VP2000D FG VV002 07/07 Q1020 NOSIG= »

En texte clair cela signifie :

Le 24 novembre 2012, peu avant la diffusion de l'observation météorologique d'aérodrome de 08:50 UTC, les conditions météorologiques suivantes ont été observées à l'AIG :

Vent	Variable, de direction changeant au minimum de 180° durant les dix dernières minutes, 3 kt
Visibilité météorologique	300 m
Portée visuelle de piste RVR, piste 05	325 m avec une tendance à la stagnation
Portée visuelle de piste RVR, piste 23	Comprise entre 900 m et plus de 2000 m avec une tendance à la baisse
Phénomènes météorologiques	Brouillard, ciel obscurci avec une visibilité verticale de 200 ft
Température / point de rosée	7 °C / 7 °C
Pression atmosphérique QNH	1020 hPa
Prévision à court terme	Aucun changement significatif prévu

1.7.5 Prévisions d'aéroport à Genève

Au moment de la préparation de vol, la prévision d'aérodrome TAF suivante, émise le 24 du mois à 02:25 UTC, était disponible :

« TAF LSGG 240225Z 2403/2509 VRB03KT 8000 NSC TX12/2414Z TN03/2405Z TN05/2505Z BECMG 2403/2405 4000 BR PROB40 2403/2408 2500 BCFG FEW010 SCT150 PROB30 2403/2407 0800 FG VV002 BECMG 2410/2412 8000 NSC BECMG 2420/2423 4500 BR PROB40 2502/2508 2500 BCFG PROB30 2503/2507 0800 FG VV002= »

En texte clair cela signifie :

Entre 03:00 UTC le 24 novembre et 09:00 UTC le 25 novembre 2012, les prévisions météorologiques suivantes ont été annoncées pour l'AIG :

Vent	Variable, de direction changeant au minimum de 180° durant les dix dernières minutes, 3 kt
Visibilité météorologique	8000 m
Nuages	Pas de nuages significatifs
Prévision de température maximale	12°C le 24 novembre à 14:00 UTC
Prévision de température minimale	3°C le 24 novembre à 05:00 UTC 5°C le 25 novembre à 05:00 UTC
Passage régulier ou irrégulier, le 24 novembre entre 03:00 et 05:00 UTC, aux conditions météorologiques suivantes	Visibilité : 4000 m Brume (visibilité réduite \geq 1000 m et \leq 5000 m)
Prévisions conditionnelles avec une probabilité de 40%, le 24 novembre entre 03:00 et 08:00 UTC	Visibilité prédominante : 2500 m Bancs de brouillard (visibilité $<$ 1000 m) Nuages : 1-2 octas à 1000 ft AAL ⁴ 3-4 octas à 15 000 ft AAL
Prévisions conditionnelles avec une probabilité de 30%, le 24 novembre entre 03:00 et 07:00 UTC	Visibilité prédominante : 800 m Brouillard, ciel obscurci avec une visibilité verticale de 200 ft
Passage régulier ou irrégulier, le 24 novembre entre 10:00 et 12:00 UTC, aux conditions météorologiques suivantes	Visibilité : 8000 m Pas de nuage significatif
Passage régulier ou irrégulier, le 24 novembre entre 20:00 et 23:00 UTC, aux conditions météorologiques suivantes	Visibilité : 4500 m Brume (visibilité réduite \geq 1000 m et \leq 5000 m)

⁴ AAL : *above aerodrome level*, au-dessus du niveau de l'aérodrome

Passage régulier ou irrégulier, le 24 novembre entre 20:00 et 23:00 UTC, aux conditions météorologiques suivantes	Visibilité prédominante : 4500 m Brume (visibilité réduite \geq 1000 m et \leq 5000 m)
Prévisions conditionnelles avec une probabilité de 40%, le 25 novembre entre 02:00 et 08:00 UTC	Visibilité prédominante : 2500 m Bancs de brouillard (visibilité $<$ 1000 m)
Prévisions conditionnelles avec une probabilité de 30%, le 25 novembre entre 03:00 et 07:00 UTC	Visibilité prédominante : 800 m Brouillard, ciel obscurci avec une visibilité verticale de 200 ft

Au moment où s'est produit l'incident grave la prévision d'aérodrome TAF suivante, émise le 24 du mois à 05:25 UTC, était valable :

« TAF LSGG 240525Z 2406/2512 VRB03KT 7000 MIFG FEW005 BKN140 TX12/2414Z TN03/2406Z TN05/2505Z TEMPO 2406/2408 2500 BCFG FEW010 SCT150 PROB30 2406/2408 0800 FG VV002 BECMG 2410/2412 8000 NSC BECMG 2420/2423 4500 BR PROB40 2502/2508 2500 BCFG PROB30 2503/2507 0800 FG VV002 BECMG 2510/2512 8000 BKN080= »

En texte clair cela signifie :

Entre 06:00 UTC le 24 novembre et 12:00 UTC le 25 novembre 2012, les prévisions météorologiques suivantes ont été annoncées pour l'AIG :

Vent	Variable, de direction changeant au minimum de 180° durant les dix dernières minutes, 3 kt
Visibilité météorologique	7000 m
Phénomènes météorologiques	Brouillard mince
Nuages	1-2 octas à 500 ft AAL 5-7 octas à 14 000 ft AAL
Prévision de température maximale	12°C le 24 novembre à 14:00 UTC
Prévision de température minimale	3°C le 24 novembre à 06:00 UTC 5°C le 25 novembre à 05:00 UTC
Fluctuation temporaire, persistant en chaque cas moins d'une heure, au total moins d'une heure, le 24 novembre entre 06:00 et 08:00 UTC	Visibilité prédominante : 2500 m Bancs de brouillard (visibilité $<$ 1000 m) Nuages : 1-2 octas à 1000 ft AAL 3-4 octas à 15 000 ft AAL
Prévisions conditionnelles avec une probabilité de 30%, le 24 novembre entre 06:00 et 08:00 UTC	Visibilité prédominante : 800 m Brouillard, ciel obscurci avec une visibilité verticale de 200 ft
Passage régulier ou irrégulier, le 24 novembre entre 10:00 et 12:00 UTC, aux conditions météorologiques suivantes	Visibilité : 8000 m Pas de nuage significatif

Passage régulier ou irrégulier, le 24 novembre entre 20:00 et 23:00 UTC, aux conditions météorologiques suivantes	Visibilité prédominante : 4500 m Brume (visibilité réduite \geq 1000 m et \leq 5000 m)
---	---

Prévisions conditionnelles avec une probabilité de 40%, le 25 novembre entre 02:00 et 08:00 UTC	Visibilité prédominante : 2500 m Bancs de brouillard (visibilité < 1000 m)
---	---

Prévisions conditionnelles avec une probabilité de 30%, le 25 novembre entre 03:00 et 07:00 UTC	Visibilité prédominante : 800 m Brouillard, ciel obscurci avec une visibilité verticale de 200 ft
---	--

Passage régulier ou irrégulier, le 25 novembre entre 10:00 et 12:00 UTC, aux conditions météorologiques suivantes	Visibilité : 8000 m Nuages : 5-7 octas à 8000 ft AAL
---	---

1.7.6 Informations météorologiques et prévisions d'aérodrome pour Lyon Saint-Exupéry

Les TAF du 23 novembre à 23:00 UTC et du 24 novembre 2012 à 05:00 UTC de Lyon Saint-Exupéry, aérodrome de décollage à destination pour le vol TAR 700, prévoient une visibilité toujours supérieure à 10 km, un plafond nuageux au pire de 5-7 octas à 3000 ft AAL et un vent de 180°, 12 kt.

Les METAR du 24 novembre de 05:30 à 10:30 UTC révélaient des observations selon lesquelles la visibilité était supérieure à 10 km, un plafond nuageux au pire de 3-4 octas à 4000 ft AAL et un vent du secteur sud sud-ouest ne dépassant pas 14 kt.

1.7.7 Informations météorologiques relatives à l'approche

Lors de la prise de contact radiotéléphonique avec le contrôle d'approche, de Genève, l'équipage de conduite a rapporté avoir reçu le message ATIS « M ». Les conditions météorologiques étaient les suivantes :

Heure de diffusion	07:50 UTC
Vent	Variable, de direction changeant au minimum de 180° durant les dix dernières minutes, 3 kt
Visibilité météorologique	800 m, zone de toucher des roues : 2100 m
Portée visuelle de piste RVR	> 2000 m
Phénomènes météorologiques	Brouillard
Nuages	5-7 octas à 200 ft AAL
Température / point de rosée	5 °C / 5 °C
Pression atmosphérique QNH	1021 hPa
Prévision à court terme	Aucun changement significatif prévu

Le message suivant « N » donnait les conditions météorologiques suivantes :

Heure de diffusion	08:20 UTC
Vent	240°, 2 kt
Visibilité météorologique	700 m, zone de toucher des roues : 1300 m
Portée visuelle de piste RVR	2000 m
Phénomènes météorologiques	Brouillard, ciel obscurci avec une visibilité verticale de 200 ft
Température / point de rosée	6 °C / 6 °C
Pression atmosphérique QNH	1021 hPa
Prévision à court terme	Aucun changement significatif prévu

A 08:36 UTC, l'équipage de conduite de TAR 700 a obtenu les informations météorologiques et opérationnelles relatives à l'approche (information « O » de 08:20 UTC), au moyen du service automatique d'information de région terminale par liaison de données (D-ATIS).

```
« TS-IOL - - - - TAR700      24NOV12 0836Z
LSGG ARR ATIS O
0820Z RWY IN USE 23 ILS APCH GRASS RWY CL
METREPORT GENEVA 0820
WND 240 DEG 2 KT
VIS 700M TDZ 1300M
RVR 2000M
FG
OBSC VER VIS 200FT
TEMP 6 DP 6 QNH 1021
NOSIG
TRL 80
LOW VIS PROCS IN OPS AFTER LDG DO NOT USE TWY C »
```

En texte clair cela signifie que l'information est celle de 08:20 UTC et que l'approche en cours d'utilisation est l'ILS de la piste 23. Le niveau de transition est FL 80 et les opérations par faible visibilité sont en cours. Il est indiqué que la voie de sortie de piste C ne doit pas être empruntée.

Les conditions météorologiques données sont les suivantes :

Vent	240° à 2 kt
Visibilité météorologique	700 m, zone de toucher des roues 1300 m
Portée visuelle de piste RVR	2000 m
Phénomènes météorologiques	Brouillard, ciel obscurci avec une visibilité verticale de 200 ft
Température / point de rosée	6 °C / 6 °C
Pression atmosphérique QNH	1021 hPa
Prévision à court terme	Aucun changement significatif prévu

1.8 Aides à la navigation

1.8.1 Renseignements sur les aides à la navigation et à l'atterrissage

L'aide à la navigation aérienne utilisée pendant l'approche est l'ILS 23 ISW, équipé d'un dispositif de mesure de distance (*distance measuring equipment – DME*) :

Aide à la navigation aérienne	ILS23 <i>localizer</i> (LLZ) CAT III
Position géographique	N 46° 13' 29.4", E 006° 05' 22.3" (WGS84)
Fréquence	109.90 MHz ID ISW

1.8.2 Renseignements sur l'équipement de l'aéronef

Au moment où s'est produit l'incident grave, le B737-600 TS-IOL satisfaisait aux conditions requises pour effectuer des approches de type CAT I.

1.9 Communications

Les enregistrements des communications radiotéléphoniques échangées entre le trafic aérien et les secteurs de contrôle L1, INS du centre de contrôle régional (*area control center – ACC*) de Genève, du secteur PRE du contrôle d'approche, de l'ADC et du GND de la tour de contrôle de Genève étaient à disposition pour l'enquête.

Les communications avec l'équipage de conduite du vol TAR 700 se sont faites en langue anglaise et se sont déroulées normalement.

1.10 Renseignements sur l'aérodrome

1.10.1 Généralités

L'AIG est situé à l'extrémité ouest de la Suisse. En 2011, le service de la navigation aérienne – Skyguide – a géré un volume de trafic de 189 121 mouvements pour un total de 13 130 222 passagers dont 89 112 ont voyagé avec la compagnie Tunisair.

1.10.2 Equipements et dimensions de la piste

Les données relatives à la piste de l'AIG sont les suivantes :

Une piste en béton 23/05 d'une longueur de 3900 m et d'une largeur de 50 m.

ILS23-LLZ CAT III / ILS05-LLZ CAT I.

Piste 23

- Distance de roulement utilisable au décollage (*take off run available – TORA*) : 3900 m
- Distance utilisable à l'atterrissage (*landing distance available – LDA*) : 3900 m
- Altitude du seuil de piste : 1365 ft

Piste 05

- TORA : 3900 m
- LDA : 3570 m
- Altitude du seuil de piste : 1411 ft

L'aire de manœuvre⁵ de l'aéroport n'est pas équipée d'un système de détection automatique de corps étrangers (*foreign object debris* – FOD).

1.10.3 Règlement d'exploitation

Contrôles de routine de la piste :

Des contrôles réguliers de la piste ont lieu six fois par jour : le premier est effectué avant l'ouverture de l'aéroport au trafic aérien, le dernier après sa fermeture et entre-temps à 10 h, 13 h, 16 h et 20 h LT.

1.10.4 Division Sécurité de l'AIG

L'AIG est équipé de moyens de lutte contre l'incendie de catégorie 9 selon l'annexe 14 de l'OACI. Le corps des sapeurs-pompiers professionnels de l'aéroport (sapeurs d'aviation) est de service vingt-quatre heures sur vingt-quatre. En cas d'accident, les forces d'intervention peuvent rester en contact permanent avec la tour de contrôle et avec la police grâce à la centrale d'alarme et à un équipement de télécommunication approprié.

Une section sanitaire est intégrée au service du feu et de sauvetage; elle est dotée de véhicules et de personnel qualifié et est également de service vingt-quatre heures sur vingt-quatre. La section sanitaire dispose d'un poste médical avancé. Elle est raccordée en permanence à la centrale Urgence Santé 144.

1.11 Enregistreurs de bord

Lorsque l'incident grave a été signalé au Service d'enquête suisse sur les accidents (SESA), les enregistrements de conversations de poste de pilotage (*cockpit voice recorder* – CVR) n'étaient plus disponibles. Les éléments fournis par les enregistreurs de données de vol (*flight data recorder* – FDR) ont été utilisés.

1.11.1 Enregistreur de données de vol

1.11.1.1 Généralités

Type	Enregistreur de données de vol à semi-conducteurs (<i>solid state flight data recorder</i>)
Fabriquant	Honeywell
Nombre de paramètres	1199
Système d'enregistrement	Mémoire à semi-conducteurs (<i>solid state memory</i>)
Durée de l'enregistrement	27 h

1.11.1.2 Etat de l'enregistreur de données de vol

L'enregistreur de données de vol était en bon état et ses données exploitables.

1.11.1.3 Résultat de l'analyse des enregistreurs de bord

Les paramètres significatifs pour l'analyse de l'incident grave sont les statuts des systèmes de commandes automatiques de vol ainsi que les éléments relatifs à la trajectoire et à la dynamique de vol.

⁵ Aire de manœuvre : partie d'un aérodrome à utiliser pour les décollages, les atterrissages et la circulation des aéronefs à la surface

Les deux pilotes automatiques étaient engagés (*dual A/P operation*) durant la phase finale de l'approche ILS 23. Ils ont été déclenchés par l'équipage de conduite à 08:45:51 UTC, alors que l'avion se trouvait à 200 ft RA.

Conformément à leurs critères de désengagement, les automanettes (*auto-throttle*) ont été automatiquement désactivées deux à trois secondes après le toucher des roues.

La trajectoire de l'avion a été modifiée au moment où les pilotes automatiques ont été désengagés.

La dynamique de l'incident grave a été reconstituée en rapportant à la trajectoire les évolutions d'assiette, de vitesse, de roulis, de cap et de hauteur.

La chronologie des événements de l'incident grave établie sur les données des enregistrements FDR présente les éléments significatifs suivants :

Instant	Evènement	N°
08:45:51 UTC	Déclenchement des pilotes automatiques par l'équipage de conduite à 200 ft*. Assiette 3.2° ANU, en augmentation	1
08:45:53 UTC	Ordre manuel de compensation de la profondeur vers le bas (<i>nose down trimming</i>) pendant environ 1 s	2
08:46:00 à 08:46:20 UTC	Mouvement de roulis, variations d'inclinaison de 5° droite à 10° gauche, période 20 s	3
08:46:01 UTC	Survoleur du seuil de piste à 92 ft*. Augmentation de l'assiette qui atteindra 7.6° à 08:46:13 UTC	4
08:46:07 UTC	Survoleur des marques de point de visée à 47 ft*, début du vol en palier, augmentation de la poussée passant de 57 % à 63 % N1 pendant une dizaine de secondes	5
08:46:13 UTC	Assiette maximale 7.6° ANU	6
08:46:14 UTC	Début d'actionnement du gouvernail de direction vers la droite	7
08:46:17 UTC	Fin du vol en palier, assiette 4.2° ANU	8
08:46:18 UTC	Le système automanettes passe du mode «vitesse de consigne» (MCP SPD) au mode ralenti (RETARD)	9
08:46:19 UTC	Action jusqu'à 19° droite sur le gouvernail de direction	10
08:46:20 UTC	Toucher (à 1290 m du seuil de piste 23), accélération verticale 2.5 g	11
08:46:23 UTC	Désengagement automatique des automanettes	12

* valeurs RA corrigées de l'erreur systématique

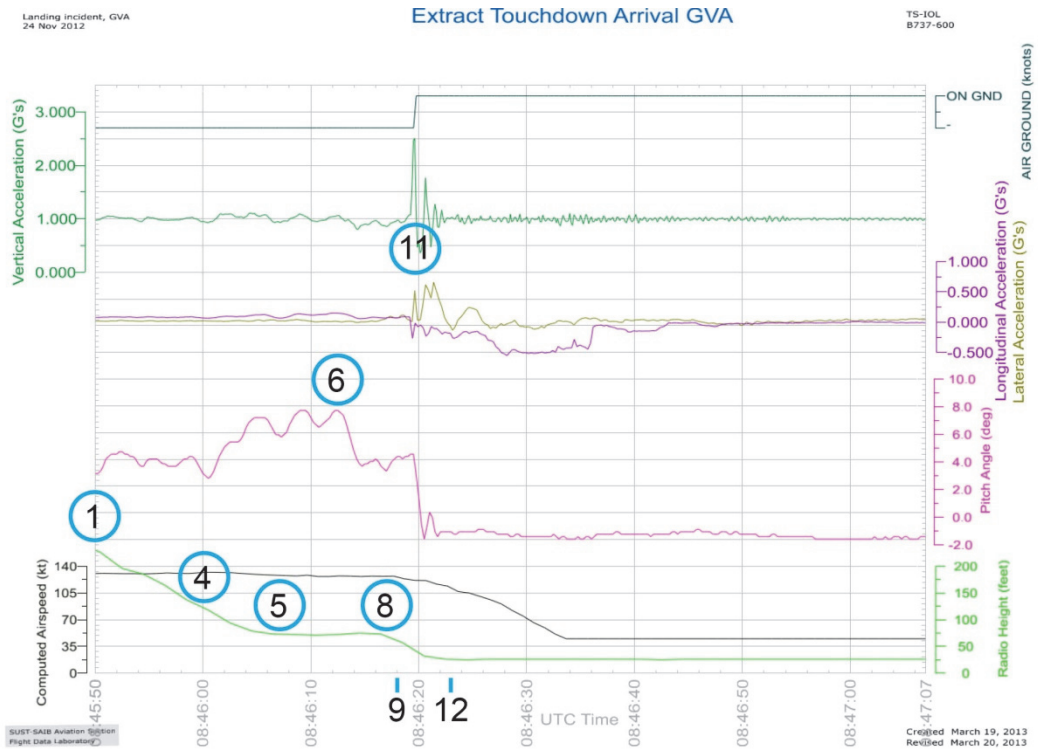


Figure 8 : données FDR entre 08:45:50 et 08:47:07 UTC

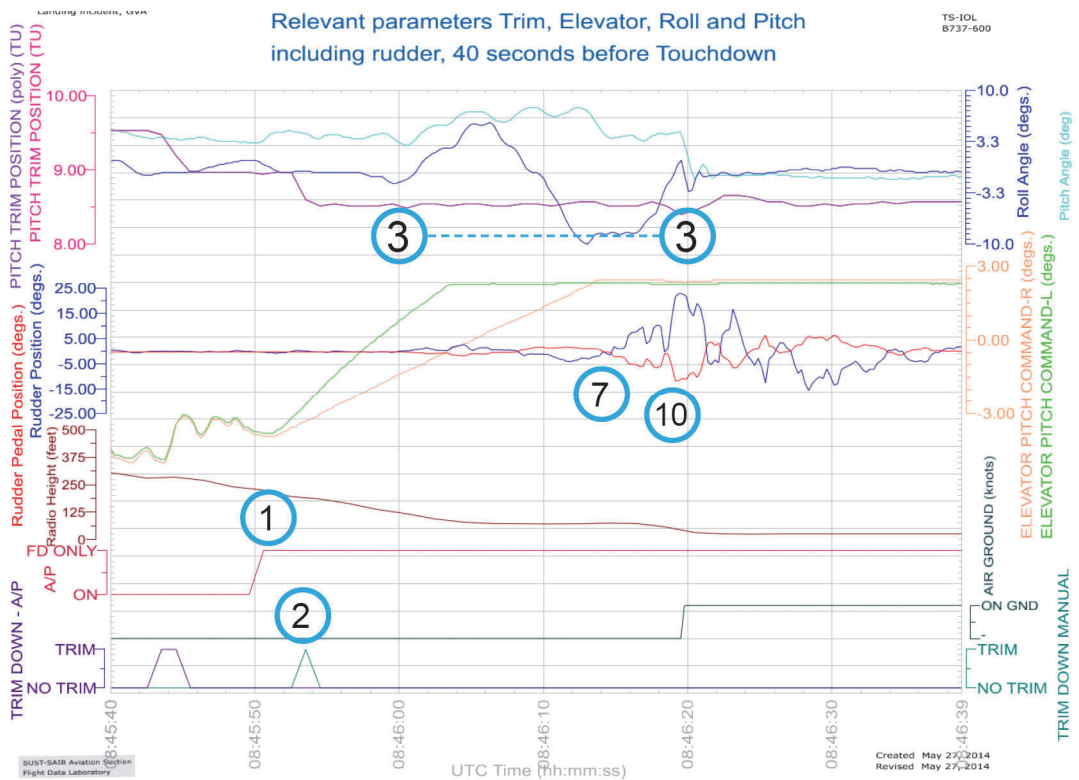


Figure 9 : données FDR entre 08:45:40 et 08:46:39 UTC

1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact
Sans objet.

1.13 Renseignements médicaux et pathologiques

Sans objet.

1.14 Incendie

Sans objet.

1.15 Questions de survie

Sans objet.

1.16 Essais et recherches**1.16.1 Reconstitution de l'incident grave en simulateur de vol**

L'enchaînement des faits ayant conduit à l'incident grave a été reconstitué dans un simulateur sur la base des éléments fournis par les enregistreurs de données de vol. La restitution des conditions météorologiques du moment était limitée à l'environnement visuel que permet la simulation de niveau D⁶ : la visibilité réduite a pu être reproduite, toutefois les singularités propres à la situation de brouillard du moment n'ont pas pu être reconstituées. L'exercice consistait avant tout à comprendre la dynamique à laquelle l'équipage de conduite a été confronté.

Le moment de tangage vers le haut à contrer au déclenchement des pilotes automatiques était significatif : l'action à pousser sur la commande de profondeur pour regagner la trajectoire était marquée et rendait difficile l'utilisation de la commande de compensation (*trim*). Une fois rétabli sur la trajectoire d'approche, l'avion se mettait en palier lorsque la pression sur les commandes était relâchée. L'assiette était alors d'une valeur moyenne de 7°, les automanettes maintenaient la vitesse de consigne de 130 kt.

Dans ces conditions, le survol en palier à environ 50 ft de la zone de toucher des roues a révélé que le pilotage manuel conjugué à la recherche de repères visuels extérieurs constituait une charge de travail très élevée. La perception de la vitesse et du temps s'en sont trouvés affectés.

1.17 Renseignements en matière d'organisation et de gestion**1.17.1 Service de la navigation aérienne****1.17.1.1 Généralités**

Issue de la société anonyme de droit privé Swisscontrol, la société Skyguide assure depuis le 1^{er} janvier 2001 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.

1.17.1.2 Procédures d'exploitation par faible visibilité (*low visibility procedures* – LVP)

Les informations suivantes proviennent de l'ATMM⁷ GENEVA TWR/APP, TWR.

La tour de contrôle, qui gère les arrivées et départs, est chargée de mettre en œuvre l'opération par faible visibilité dont le but est de protéger les avions en phase d'approche, d'atterrissage et de décollage ainsi que d'empêcher toute interférence préjudiciable aux signaux de l'ILS.

⁶ Niveau D : le plus élevé des niveaux de simulateurs de vol actuellement disponibles. La plateforme est mobile sur 6° de liberté et la visualisation du monde extérieur est à affichage collimaté, d'un champ d'ouverture d'au moins 150°.

⁷ ATMM : *air traffic management manual*

Cette opération est constituée de deux phases : la préparation, dont les pilotes ne sont pas informés, et la mise en application.

La phase de préparation (*LVP preparation phase*) débute lorsque la portée visuelle de piste (RVR) dans la zone de toucher des roues (*touchdown zone – TDZ*) est inférieure à 800 m et/ou le plafond/visibilité verticale est inférieur à 300 ft. Elle consiste à mettre en œuvre une série de mesures préparatoires pour la phase de mise en application (*LVP application phase*).

Cette dernière commence lorsque la portée visuelle de piste dans la zone de toucher des roues est inférieure à 550 m et/ou le plafond/visibilité verticale est inférieure à 200 ft. Des mesures associées à cette seconde phase sont mises en vigueur, dont en particulier l'obligation pour le contrôleur APP d'en informer les équipages de conduite qui n'ont pas pu être mis au courant par l'ATIS.

Ces limites qui définissent la mise en application de l'opération par faible visibilité figurent dans la publication d'information aéronautique (*Aeronautical Information Publication – AIP*) suisse et sont reprises sur les cartes aéronautiques de poste de pilotage.

Le 24 novembre 2012, la phase de préparation de l'opération par faible visibilité a débuté à 07:52 UTC. Elle a été mise en application à 08:24 UTC et est restée en vigueur jusqu'à 09:59 UTC.

1.17.1.3 Prescriptions opérationnelles en cas de panne du système lumineux, en opération par faible visibilité

Les descriptions suivantes proviennent de l'ATMM GENEVA TWR/APP, TWR.

Des mesures restreignant l'opération par faible visibilité s'appliquent en cas de panne d'éléments sur lesquels reposent le fonctionnement, la redondance et/ou l'intégrité de l'ensemble ILS/dispositifs lumineux. C'est en particulier le cas lorsque des feux du balisage lumineux de piste sont hors service. La liste de vérification à laquelle se réfèrent les contrôleurs de la circulation aérienne dans ces circonstances stipule :

Failures	Degradation
(...)	
Element of runway lighting U/S (BALUPI panel)	Inform PIC
(...)	

A la suite de l'alarme BALUPI (balisage lumineux de piste) déclenchée par l'incident grave (voir chapitre 1.17.2.5), la procédure à suivre consistait à en communiquer la nature aux équipages de conduite, avec la phraséologie suivante : "*TOTAL FAILURE OF RUNWAY EDGE LIGHTS*". La décision quant à la poursuite de l'approche ou à l'initiation d'un décollage dans ces conditions appartient dès lors aux pilotes.

1.17.1.4 Devoirs du contrôle d'approche relatifs à l'ATIS

Les descriptions suivantes proviennent de l'ATMM Switzerland, *Approach control*, Section 8, 6.2 *Information to arriving aircraft*.

Il n'est pas nécessaire de communiquer à un équipage de conduite, les informations contenues dans le message ATIS diffusé en vigueur dont il a accusé réception, à l'exception de la portée visuelle de piste et des valeurs du calage altimétrique qui doivent être communiquées au moins une fois pendant l'approche.

Si un avion accuse réception d'une diffusion ATIS qui n'est plus en vigueur, il est nécessaire de transmettre sans délai tout élément d'information qui doit être mis à jour.

1.17.2 Infrastructure et équipement de l'aéroport de Genève

1.17.2.1 Balisage lumineux

Toutes les infrastructures relatives à la piste dépendent de la Direction infrastructure et planification. La gestion des dispositifs lumineux est assurée par l'Equipe balisage, l'une des trois équipes constituant le Service électricité. En dehors d'horaires de travail définis, une permanence sur site est assurée par deux personnes appartenant à ce service, pouvant contacter rapidement un collaborateur de l'Equipe balisage.

1.17.2.2 Dispositif lumineux de la piste 23

Le dispositif lumineux d'approche (*approach lighting system* – ALS) est de type Calvert, pour les opérations CAT II / III, d'une longueur de 900 m et de haute intensité (*light intensity high* – LIH).

Les feux de seuil de piste (*runway threshold lights* – RTHL) sont de couleur verte, de haute intensité.

L'indicateur visuel de pente d'approche (*visual approach slope indicator system* – VASIS) est de type indicateur de trajectoire d'approche de précision (*precision approach path indicator* – PAPI), d'un angle de 3°, situé du côté gauche, d'une hauteur minimale des yeux au-dessus du seuil (*minimum eye height over threshold* – MEHT) de 20.56 m.

Les feux de zone de toucher des roues (*runway touchdown zone lights* – RTZL) sont d'une longueur de 900 m, de haute intensité.

Les feux d'axe de piste (*runway centre line lights* – RCLL) sont espacés de 15 m, de haute intensité, de couleur blanche sur une longueur de 3000 m, blanche et rouge sur les 600 m suivants puis rouge sur les derniers 300 m.

Les feux de bord de piste (*runway edge lights* – REDL) sont espacés de 30 m, de haute intensité, de couleur blanche sur une longueur de 3300 m puis jaune sur les derniers 600 m.

Les feux d'extrémité de piste (*runway end lights* – RENL) sont de couleur rouge, de haute intensité.

1.17.2.3 Contrôle du fonctionnement des dispositifs lumineux

L'Annexe 14 de la Convention relative à l'aviation civile internationale décrit les normes et pratiques recommandées s'appliquant aux aérodromes.

Conformément à la recommandation 8.3.4 de cette annexe, « [...] *le fonctionnement des dispositifs lumineux est contrôlé automatiquement de manière à donner une indication lorsque le niveau de fonctionnement de l'un des éléments tombe au-dessous du niveau minimal approprié de fonctionnement. Cette indication est automatiquement transmise au service d'entretien.* »

1.17.2.4 Système BALUPI

L'ensemble des balisages lumineux de l'AIG comprend 18 dispositifs de feux éclairant son aire de manœuvre. Ils sont contrôlés par un système appelé BALUPI placé chaque fois à double dans la tour de contrôle, dans les services de l'aire de trafic et dans les services techniques de l'AIG.

Le système BALUPI permet au contrôleur ADC d'avoir une vue d'ensemble des balisages lumineux et de gérer sur un écran tactile les dispositifs lumineux d'approche, de la piste, des voies de circulation, des barres d'arrêt et des zones de toucher des roues.

L'écran de contrôle du système visualise le statut (marche-arrêt) des différents dispositifs lumineux à l'aide d'un code de couleurs (par exemple vert pour le seuil de piste, les axes des voies de circulation et de sortie rapide, rouge pour les barres d'arrêt, les feux d'extrémité de piste, etc.).

Les dysfonctionnements de ces éléments sont signalés de manière globale en fonction de niveaux de fonctionnement minimaux spécifiés par les autorités aéroportuaires. Par exemple, en opération par faible visibilité il n'y a de pas de différence de signalisation entre la panne de trois feux de bord de piste et de celle d'un régulateur électrique qui provoque l'extinction d'un feu sur quatre le long de toute la piste. Dans les deux cas, le dispositif des feux de bord de piste sera considéré comme totalement en panne et illuminé en magenta sur l'écran de contrôle BALUPI. Lors une panne partielle, l'élément est coloré en orange. L'impact sur la catégorie opérationnelle de l'aéroport est signalé par une alarme sonore et par le voyant lumineux correspondant (LVP, NON LVP) qui s'illumine en orange ou en rouge.

Le détail du dysfonctionnement d'un dispositif lumineux (par exemple le nombre de feux hors d'usage) est automatiquement transmis au Service électricité. Le contrôleur ADC en prend connaissance uniquement s'il contacte ce dernier par téléphone.

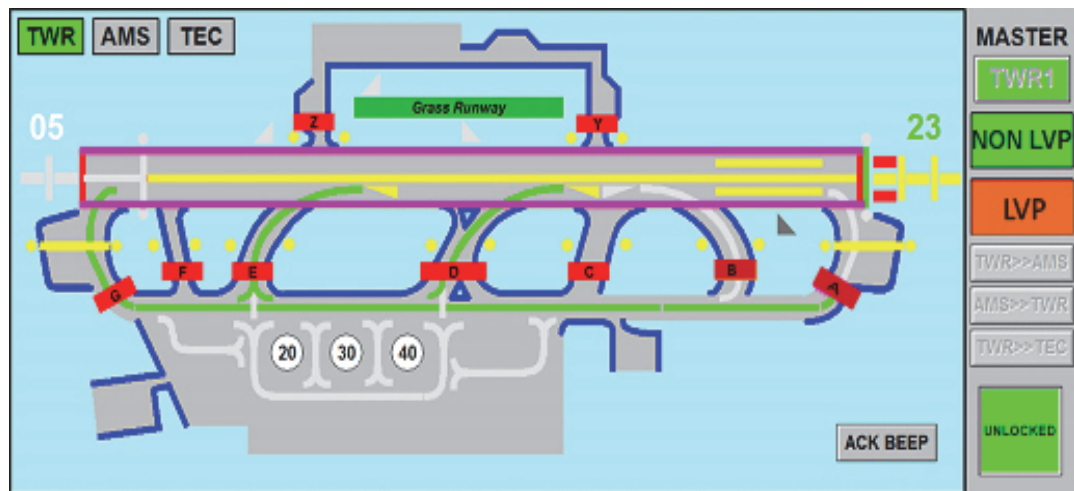


Figure 10 : écran de contrôle BALUPI montrant les alarmes déclenchées lors de l'incident grave. L'élément symbolisant les feux de bord de piste passe en couleur magenta, le voyant LVP en orange.

1.17.2.5 Alarmes BALUPI activées au moment où s'est produit l'incident grave

Avant l'incident grave, l'Equipe balisage avait déjà constaté qu'un feu de bord de piste était hors service, situation dans laquelle aucune alarme n'est déclenchée. La sortie de piste du TAR 700 a provoqué la destruction de deux feux supplémentaires, ce qui a activé l'alarme de panne totale des feux de bord de piste, avec l'impact opérationnel « LVP orange » (fig. 10).

L'incident grave a eu lieu un samedi, jour où l'Equipe balisage n'était pas de service. Le superviseur ADC a obtenu des détails au sujet du défaut de balisage des feux de bord de piste une cinquantaine de minutes après l'incident grave.

1.17.3 Entreprise de transport aérien Tunisair

1.17.3.1 Généralités

Compagnie nationale de la Tunisie, Tunisair, officiellement Société Tunisienne de l'Air, a été fondée le 21 octobre 1948. Son capital était alors détenu par le gouvernement tunisien, la compagnie Air France ainsi que par des investisseurs privés. Le 1^{er} avril 1949, Tunisair débuta l'exploitation avec des avions qui lui étaient affrétés par Air France. En 1954, elle acquit son premier Douglas DC-4.

De novembre 2006 à la fin de la décennie, Tunisair a été membre d'ARABESK, une alliance aérienne panarabe composée de neuf compagnies aériennes nationales.

En 2011 la compagnie exploitait une flotte de 24 appareils d'une moyenne d'âge de 12 ans et avait transporté 3 183 530 passagers et 15 141 tonnes de fret.

Sur l'ensemble des destinations desservies par la compagnie, seuls les aéroports de Bruxelles (EBBR), Genève, Oran (DAOO) et Zurich (LSZH) sont équipés de feux de bord de piste espacés de 30 m. Ceux des autres aérodromes sont distants de 50 m ou le plus souvent de 60 m, cette dernière valeur constituant l'espacement minimum requis pour ce type de dispositif lumineux.

1.17.3.2 Prescriptions opérationnelles

Le Permis d'Exploitation Aérienne stipule que le B737-600 immatriculé TS-IOL peut effectuer des approches CAT I (RVR 550 m, DA 200 ft).

Les prescriptions significatives du manuel GEN-OPS dans le contexte de cet incident grave sont les suivantes (sous-chapitres 8.1 *Consignes pour la préparation du vol*, 8.3 *Procédures de vol* & 8.4 *Exploitation tout temps*) :

« c. Approche de précision – Opérations de Catégorie I :

[...]

c.3. Références Visuelles :

Un pilote n'est pas autorisé à poursuivre une approche en deçà de la hauteur de décision de Catégorie I à moins qu'une au moins des références visuelles mentionnées ci-après, concernant la piste qu'il est prévu d'utiliser, ne soit distinctement visible et identifiable par le pilote :

- *Un élément du balisage lumineux d'approche,*
- *Le seuil,*
- *Les marques de seuil,*
- *Les feux de seuil,*
- *Les feux d'identification du seuil,*
- *L'indicateur lumineux d'angle d'approche,*
- *L'aire de toucher des roues ou les marques de l'aire de toucher des roues,*
- *Les feux de l'aire de toucher des roues,*
- *Les feux de bordure de piste.*

[...]

8.3.0.4.1 Technique d'atterrissage

A partir d'un passage au seuil, stabilisé, l'arrondi consiste à piloter la trajectoire vers une zone d'impact située entre 300 et 600 m du seuil de piste. Les marques peintes sur la piste doivent permettre de juger de la position du point d'impact.

[...]

8.4.4.3 Conditions pour entreprendre et poursuivre une approche

Toute approche peut être entreprise quelles que soient les conditions météorologiques. Elle ne peut être poursuivie au-delà d'un "point déterminé" que si les dernières informations météorologiques transmises et reçues par l'équipage sont égales ou supérieures aux visibilité requises, VH (visibilité horizontale) transmise supérieure ou égale à VH requise.

Au-delà de ce point déterminé, l'approche peut être poursuivie quelles que soient les conditions météorologiques sur l'aérodrome. Cette règle peut avoir des exceptions dans certains pays, voir réglementations particulières publiées dans la documentation JEPPESEN.

TUNISAIR a retenu le terme de "Porte" pour ce point déterminé (OM ou son équivalent publié, 1000 ft en cas de panne ou d'absence de moyen équivalent). »

La réglementation JAR-OPS ajoute :

« **Commencement et poursuite de l'approche** (JAR-OPS 1.405)

e) L'approche peut être poursuivie en dessous de la DA/H ou de la MDA/H jusqu'à l'atterrissage complet, à condition que les références visuelles requises soient acquises à la DA/H ou à la MDA/H et maintenues.

f) La RVR de l'aire de toucher des roues est toujours déterminante. Les RVR mi-piste et fin de piste sont également déterminantes, si elles sont transmises et pertinentes. La valeur minimale de la RVR requise à mi-piste est de 125 m ou celle requise par l'aire de toucher des roues, si celle-ci est inférieure, et la RVR de fin de piste est au minimum de 75 m.

Note : Dans ce contexte, le terme "pertinent" fait référence à la partie de la piste utilisée pendant la phase haute vitesse de l'atterrissage jusqu'à une vitesse d'environ 60 nœuds. »

La révision n°11 datée du 28 août 2012 du manuel GEN-OPS de Tunisair comporte une modification du sous-chapitre 8.4.7.1 intitulé *Minima opérationnels* (au sous-chapitre 8.4.7 *Approche de précision CAT 1*) qui précise :

« MDA : Altitude minimum de décision

VH : Visi ou RVR seuil= 550 m (mi-piste \geq 400 m) »

« **8.4.7.2 Conditions requises pour effectuer l'approche CAT 1**

Equipage : Pas de répartition des tâches spécifiques. L'approche CAT 1 représente donc la limite inférieure des minima qui peuvent permettre à l'OPL⁸ d'effectuer l'approche et l'atterrissage.

Avion : Equipement normal (cf. FCOM⁹)

Infrastructure : Procédure d'approche CAT 1 publiée

[...]

⁸ OPL : officier pilote de ligne (copilote)

⁹ FCOM : flight crew operating manual

8.4.7.4 Approche interrompue

Une remise des gaz doit obligatoirement être exécutée à la DA si :

- Les références visuelles extérieures disponibles, la position ou la trajectoire de l'avion apparaissent telles qu'elles compromettent la réussite de la fin de l'approche et de l'atterrissage avec les moyens disponibles, ou
- la piste ou un élément du balisage (diurne ou nocturne) de cette piste n'est pas en vue.

[...]

8.4.7.6 De la "MDA/DA" à l'atterrissage

Après le passage de la MDA/DA, si les références visuelles, la trajectoire ou la position de l'avion évoluent de façon à compromettre la réussite de la fin de l'approche ou de l'atterrissage, le CDB¹⁰ doit engager une remise des gaz ou un atterrissage interrompu.

[...]

8.4.8 Opérations par faible visibilité

Les opérations par faible visibilité regroupent les approches CAT II et CAT III ainsi que le décollage lorsque la visibilité est inférieure à 400 m (LVTO). »

1.18 Renseignements supplémentaires

1.18.1 Catégories d'opération d'approche et d'atterrissage de précision

Définitions selon l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) :

« Approche et atterrissage de précision : approche et atterrissage aux instruments utilisant un guidage de précision latéral et vertical, les minimums étant déterminés par la catégorie d'exploitation.

Catégorie d'opération CAT I : approche et atterrissage de précision aux instruments exécutés avec une hauteur de décision au moins égale à 60 m (200 ft), et avec une visibilité au moins égale à 800 m ou une portée visuelle de piste au moins égale à 550 m. »

Les catégories d'opération CAT II et III ont des hauteurs de décision et des portées visuelles de piste plus basses. A partir des minima CAT III, en raison de risque élevé de désorientation spatiale il n'est plus possible de réaliser un atterrissage manuel sans dispositif de visualisation tête haute (*head-up display* – HUD).

1.18.2 Informations pertinentes pour l'enquête concernant les systèmes du Boeing 737-600 TS-IOL

Les descriptions suivantes proviennent du manuel *Boeing 737-600 FCOM Tunisair*, numéro de tabulation YE 152.

¹⁰ CDB : commandant de bord

1.18.2.1 Approche couplée à deux pilotes automatiques (*Dual A/P approach*)

Chapitre 4 *Automatic Flight*, Section 20 *System Description*, titre *Automatic Flight Operations*, sous-titre *Automatic Flight Approach and Landing*

Les systèmes de commandes automatiques de vol permettent d'effectuer des approches de précision couplées à un ou aux deux pilotes automatiques. Dans ce dernier cas, le guidage automatisé « passif après panne » (*fail-passive*) prend entièrement en charge l'arrondi et le toucher des roues, ou la remise des gaz.

Techniquement, lorsque les deux pilotes automatiques sont enclenchés, le système est conçu pour que l'issue de l'approche soit un atterrissage automatique ou une remise des gaz également automatique. Afin d'anticiper ces phases de vol, à 400 ft RA les systèmes de commandes de vol incrémentent la compensation du stabilisateur vers une assiette à cabrer. Le FCOM précise que si les pilotes automatiques sont alors déclenchés, une action à pousser sur le manche peut être nécessaire pour maintenir l'assiette souhaitée : « *If the A/Ps subsequently disengage, forward control column force may be required to hold the desired pitch attitude.* »

Référence : Chapitre *Normal Procedures*, Section 21 *Amplified Procedures*, Titre *Landing Procedures – ILS*

Opérationnellement, sous le titre « *Landing Procedures – ILS* », la section 21 du FCOM (*Normal Procedure/Amplified Procedures*) précise que si une approche couplée à deux pilotes automatiques est souhaitée au moment d'armer le mode « APP » (*Approach*), il faut engager le deuxième pilote automatique : « *If a dual channel approach is desired, engage the second autopilot.* »

1.18.2.2 Approche couplée à un pilote automatique (*Single A/P approach*)

Référence : Chapitre 4 *Automatic Flight*, Section 20 *System Description*, titre *Automatic Flight Operations*, sous-titre *Automatic Flight Approach and Landing*

Au début de la partie qui traite de ce mode d'approche, il est indiqué que l'approche couplée à un seul pilote automatique est la même que celle couplée à deux pilotes automatiques, à trois exceptions près.

L'approche couplée à un seul pilote automatique ne peut être conclue de manière automatique : l'arrondi, le toucher des roues ou la remise des gaz doivent être effectués en pilotage manuel. L'incrément de la compensation du stabilisateur n'est dès lors pas appliqué. La troisième différence concerne les statuts apparaissant sur l'annonceur de modes de vol (*Flight mode annunciations – FMA*).

Référence : Chapitre *Normal Procedures*, Section 21 *Amplified Procedures*, Titre *Landing Procedures - ILS*

A la fin du paragraphe intitulé *Landing Procedures – ILS*, il est indiqué que pour une approche couplée à un seul pilote automatique, le pilote en fonction doit déclencher le pilote automatique et les auto-manettes au plus tard à la hauteur minimale certifiée pour l'utilisation d'un seul pilote automatique : « *For a single channel approach, disengage the autopilot and disconnect the autothrottle no later than the minimum use height for single autopilot operation.* »

Selon le FCOM *Chapter L Limitations Section 10*, cette hauteur est de 138 ft AGL¹¹.

¹¹ AGL : *above ground level*, hauteur au-dessus du sol

1.18.2.3 Système automanettes

Le système automanettes (*Autothrottle system – A/T*) fournit le contrôle automatique de la poussée des réacteurs, pendant toutes les phases de vol allant du début du décollage à l'atterrissage ou à la fin de la remise des gaz. Il déplace les manettes de commande de poussée au moyen de deux servomoteurs séparés.

Les automanettes font partie intégrale des systèmes de commandes automatiques de vol, que l'approche soit couplée à un ou deux pilotes automatiques. Une fois enclenchées, à moins d'une panne ou d'une intervention des pilotes, elles le restent jusqu'à deux secondes après le toucher des roues. A environ 27 ft RA, les automanettes réduisent la poussée de sorte à atteindre le régime de ralenti à la prise de contact avec le sol.

1.18.3 Atterrissage en pilotage manuel

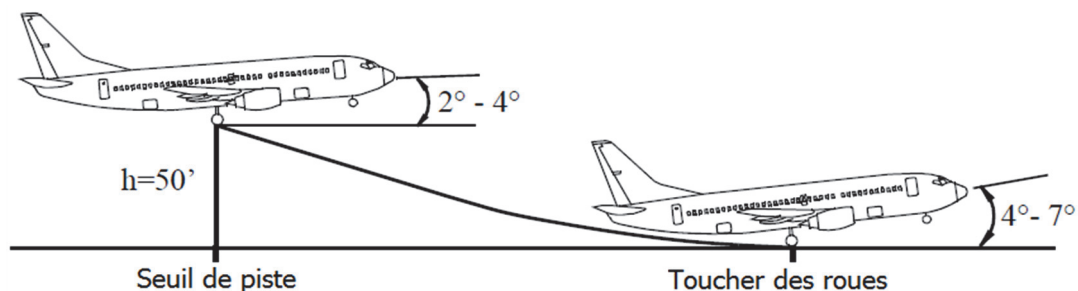


Figure 11 : profil d'atterrissage standard de Boeing 737-600 (source *737-600 Flight Crew Training Manual – FCTM*)

En fonction de la vitesse d'approche, un arrondi standard pour un Boeing 737-600 commence à une hauteur d'environ 20 ft, dure de quatre à huit secondes et s'étend sur une distance de 300 à 600 m du seuil de piste. La manœuvre consiste à diminuer le taux de descente en augmentant légèrement de 2 à 3° l'assiette de vol, tout en diminuant doucement la poussée. Idéalement, le toucher des roues du train principal a lieu au moment où le régime des réacteurs passe au ralenti.

1.18.4 Désorientation spatiale

Selon Benson (1973)¹², la désorientation spatiale est définie comme tout incident où le pilote a une perception erronée de la position, du mouvement ou de l'attitude de son avion ou de lui-même par rapport au système fixe de coordonnées fourni par la surface de la terre et la verticale gravitaire.

La désorientation spatiale dépend de facteurs environnementaux, psychologiques et physiologiques.

Dans le cas d'un atterrissage en pilotage manuel, les facteurs environnementaux sont les références visuelles dont le pilote a besoin pour se repérer et maîtriser les phases de l'approche allant de la hauteur de décision à l'arrêt de l'avion. En opération par faible visibilité, ces références sont détériorées et deviennent difficiles à exploiter. Elles peuvent encore être utilisées jusqu'aux minima météorologiques CAT II si l'équipage de conduite est au bénéfice de la formation et de la qualification aux opérations par mauvaise visibilité. Au-delà, c'est-à-dire en conditions CAT III, l'atterrissage doit obligatoirement être effectué en mode automatique.

¹² Benson A.J. and Burchard A. *Spatial Disorientation in Flight – A Handbook for Aircrew* - 1973

En effet, lorsque les références visuelles deviennent insuffisantes le pilote va rapidement se fier à ses impressions. L'équilibration et l'orientation ne sont désormais plus contrôlées par la vision et sont affectées par le dysfonctionnement du vestibule, organe de l'oreille interne qui s'accommode mal aux contraintes aéronautiques. Il en découle des illusions dites vestibulaires, qui sont à l'origine de la désorientation spatiale¹³.

Les facteurs psychologiques sont ceux qui chargent la partie consciente du cerveau en lui donnant plus de renseignements qu'il ne peut en traiter. Dans le cas d'un atterrissage dans des conditions de visibilité dégradées, la concentration nécessaire à l'exercice du pilotage manuel mobilise déjà une partie importante des ressources du pilote. Si ce dernier est de surcroît sujet au syndrome de la « fascination de la cible », il est possible qu'il ne dispose plus alors de suffisamment de ressources pour être capable de gérer une situation critique.

Le nom de ce syndrome tire son origine de l'histoire de l'aviation militaire, au cours de laquelle de nombreux accidents ont été provoqués par l'obsession qu'avaient montrée des pilotes d'atteindre coûte que coûte leur objectif. Fascinés par leur cible, ils en faisaient leur priorité au détriment de tout autre élément qui pouvait intervenir dans l'évaluation d'une situation dans sa globalité.

Les facteurs physiologiques sont ceux qui limitent l'efficacité du pilote. La fatigue et la prise de médicaments peuvent réduire ces limites. Ils affectent la concentration et diminuent le nombre de tâches que le pilote est capable de traiter.

La finalité de la catégorisation des approches de précision (CAT II, III) et de la formation aux opérations de mauvaise visibilité est de prémunir les équipages de conduite contre les effets de la désorientation spatiale.

1.18.5 Dépôts des contrôleurs de la circulation aérienne

Les contrôleurs ADC, GND et superviseurs en fonction à la tour de contrôle au moment où s'est produit l'incident grave ont été écoutés pour les besoins de l'enquête.

Ils ont déclaré que la visibilité était trop faible pour qu'ils puissent distinguer les satellites¹⁴. Ils n'ont fait le rapprochement entre l'alarme BALUPI et la sortie de piste du vol TAR 700 que beaucoup plus tard, lorsque le contrôle de piste de routine a révélé la présence de débris de feux en bord de piste.

1.18.6 Informations pertinentes extraites des rapports et déclarations des pilotes

A l'écoute des communications radiotéléphoniques échangées entre le secteur de contrôle APP et les trafics en phase d'approche, l'équipage de conduite a déclaré s'être rendu compte que la portée visuelle en milieu de piste 23 diminuait. Il a ajouté cependant qu'il « [...] *avait toujours la visibilité minimale pour continuer l'approche* ».

¹³ L'explication détaillée de ce phénomène sort du cadre de l'enquête mais le lecteur intéressé pourra se référer à la thèse de Franck Mars intitulée *La désorientation spatiale en aéronautique, (2001)*

¹⁴ Satellite : bâtiment annexe de l'aérogare servant à l'embarquement et au débarquement des passagers. Le satellite le plus proche se trouve à 150 m de la tour de contrôle.

Les pilotes n'ont pas précisé si, une fois autorisés à atterrir, ils ont tenu compte de la portée visuelle de 375 m en milieu de piste lorsqu'ils ont décidé de continuer l'approche.

Le commandant de bord a déclaré que le palier effectué au-dessus de la piste était dû à un arrondi effectué relativement haut, ayant conduit l'avion à flotter. Il a ajouté : « *L'assiette de 7° ANU n'était pas excessive, mais elle a modifié la perception de la visibilité extérieure* ». Le copilote l'a expliqué par « *l'effet cabreur du trim de l'avion* ». Il a fait la remarque suivante : « [...] *en fonction des références visuelles extérieures, j'ai trouvé que l'attitude de l'avion était inhabituelle sans l'annoncer au CDB [...]* ». Toujours par rapport aux références visuelles extérieures, il a ajouté : « [...] *l'avion était déporté à gauche de l'axe de la piste à cause du banc de brouillard qui n'était pas uniforme et qui a réduit la visibilité horizontale [...]* ».

Les deux pilotes ont déclaré que les bancs de brouillard n'étaient pas uniformes mais qu'ils n'avaient jamais perdu la piste de vue (le commandant de bord a précisé « *le sol et la piste* »). A aucun moment ils n'ont piloté l'avion simultanément. Le commandant de bord a repris les commandes lorsqu'il a constaté que l'avion était déporté vers la gauche et qu'il a douté de la réussite de l'atterrissage.

L'équipage de conduite a déclaré ne pas s'être rendu compte de la sortie de piste.

1.19 Techniques d'investigation utiles ou efficaces

Sans objet.

2 Analyse

2.1 Aspects techniques

L'enquête n'a révélé aucune défectuosité ayant pu provoquer l'incident grave ou y contribuer.

2.2 Aspects opérationnels

2.2.1 Généralité

L'aspect opérationnel de cet incident grave est analysé en référence aux prescriptions de Tunisair (voir chapitre 1.17.3.2).

2.2.2 Approche finale et atterrissage

Schématiquement, la phase finale de l'approche peut être divisée en deux segments significatifs, situés au-dessus et au-dessous de l'altitude de décision.

Jusqu'à la hauteur de 1000 ft au-dessus du seuil de piste, appelée « porte », l'approche pouvait être légalement entreprise indépendamment des portées visuelles de pistes. Ensuite, les valeurs données avec l'autorisation d'atterrir (550 m dans la zone de toucher des roues et 375 m en milieu de piste) étaient également suffisantes pour permettre la poursuite de l'approche. A l'altitude de décision, le commandant de bord avait le balisage lumineux d'approche en vue et l'atterrissage pouvait donc être poursuivi.

Après le déclenchement des pilotes automatiques, la trajectoire a été décalée vers l'avant et la zone de toucher des roues a été facticement déplacée dans celle de milieu de piste, bien au-delà de la zone d'impact située entre 300 et 600 m du seuil de piste. La RVR de 375 m y était désormais inférieure aux 550 m nécessaires à l'opération de catégorie I. Les conditions requises pour que les références visuelles acquises à l'altitude de décision soient maintenues n'étaient plus satisfaites. La continuation de l'approche n'était pas judicieuse.

Les prescriptions opérationnelles de Tunisair stipulaient que « [...] *si les références visuelles ou la position de l'avion évoluent de façon à compromettre la réussite de la fin de l'approche et de l'atterrissage, le CDB doit engager une remise des gaz ou un atterrissage interrompu [...]* ».

2.2.3 Utilisation des commandes automatiques de vol

2.2.3.1 Documentation

Dans la description des systèmes techniques, le FCOM du Boeing 737-600 expose séquentiellement dans le même sous-chapitre les approches couplées à deux et un pilote automatique. Cette structure est techniquement logique car au niveau de l'automation, le deuxième type d'approche est une partie « volontairement » limitée de l'approche couplée à deux pilotes automatiques; elle est normalement destinée aux pilotes qualifiés pour les atterrissages automatiques.

Les pilotes opérant uniquement en CAT I ont donc à leur disposition une documentation technique (*System description*) et opérationnelle (*Normal procedures*) décrivant la procédure à suivre pour effectuer des atterrissages et des remises des gaz automatiques, pour lesquels ils ne sont pas entraînés. Pour bénéficier de cette dernière option, ils peuvent être tentés de conduire une approche couplée à deux pilotes automatiques jusqu'à l'altitude de décision CAT I en omettant qu'une fois en pilotage manuel, une action à pousser sur le manche est nécessaire pour maintenir l'assiette souhaitée. Si les automanettes restent enclenchées, la vitesse de consigne est maintenue tant que l'avion ne descend pas en dessous de la hauteur RA de 27 ft.

Le FCOM n'établit pas distinctement le lien entre la catégorie d'approche (CAT I, II/III) et l'utilisation d'un ou de deux pilotes automatiques. Aucun document interne de la compagnie Tunisair statuant qu'une approche CAT I conduite en mode automatique ne doit être couplée qu'à un seul pilote automatique ne figure dans la documentation remise au SESE. Des confusions au niveau de la conduite des approches couplées à un ou deux pilotes automatiques peuvent dès lors facilement survenir.

2.2.3.2 Utilisation des commandes automatiques de vol dans le déroulement de l'incident grave

L'équipage de conduite a effectué l'approche couplée à deux pilotes automatiques. Dans des conditions météorologiques marginales pour la catégorie I, ce choix a vraisemblablement été dicté par le fait qu'il permettait d'exécuter une remise des gaz en mode automatique. Cette option conforte souvent les pilotes dans l'exécution de cette manœuvre qui reste peu fréquente.

Une approche de catégorie I effectuée au moyen des commandes automatiques de vol est couplée à un seul pilote automatique. Si, à l'altitude de décision le choix est d'atterrir, l'automation prend fin à ce moment avec le déclenchement du pilote automatique et des automanettes par l'équipage de conduite. L'avion est dynamiquement équilibré et en atmosphère calme, le pilote aux commandes n'a que des corrections de trajectoire faibles à apporter jusqu'au toucher des roues. C'est lui aussi qui, au moment approprié, réduit manuellement la poussée au régime de ralenti.

Lors d'une approche couplée à deux pilotes automatiques, le système de commandes automatiques de vol est conçu pour n'être déclenché qu'après le toucher des roues, la poussée étant réduite automatiquement. L'application inadéquate de cette procédure à une approche de CAT I a généré une condition qui a favorisé la survenue de l'incident grave.

A l'altitude de décision, le déclenchement des pilotes automatiques a provoqué la déstabilisation de l'avion en raison de l'incrément de la compensation du stabilisateur. L'appareil désormais en recherche d'un équilibre dynamique a pris une assiette à cabrer. Les automanettes n'ont pas été déclenchées et ont par conséquent maintenu la vitesse de consigne jusqu'à ce que l'avion descende en dessous de 27 ft RA. L'effet conjugué de l'augmentation d'assiette et du maintien de la vitesse a écarté l'avion de sa trajectoire idéale d'atterrissage. La maîtrise de l'avion a été momentanément perdue.

2.3 Aspects humains

2.3.1 Désorientation spatiale

Comme indiqué au chapitre *Renseignements de base*, la désorientation spatiale dépend de facteurs environnementaux, psychologiques et physiologiques.

Le SESE ne dispose pas de renseignements pertinents sur la santé et l'état de fatigue des pilotes au moment où s'est produit l'incident grave. L'éventuelle influence des facteurs physiologiques sur la désorientation spatiale n'a ainsi pas pu être abordée.

2.3.1.1 Facteurs environnementaux

L'utilisation inappropriée des commandes automatiques de vol pendant l'approche a allongé la trajectoire d'atterrissage après le déclenchement des pilotes automatiques. Comme la densité du brouillard augmente avec la hauteur et que la RVR diminuait à mesure que l'avion survolait la piste, l'environnement ex-

térieur est devenu de plus en plus flou et uniforme, privant les pilotes des contrastes visuels nécessaires à l'évaluation correcte de la profondeur. L'inclinaison était également difficilement appréciable. Le manque de repères visuels affectant l'équilibration et l'orientation a provoqué un état de désorientation spatiale chez l'équipage de conduite.

Les éléments suivants sont probants :

- le mouvement périodique de roulis ainsi que l'augmentation significative de l'assiette débutent alors que l'avion se trouve au-dessus du seuil de piste. C'est le moment où la rampe d'approche et sa luminosité intense disparaissent de la vue des pilotes, laissant la place aux feux d'axe et de bord de piste moins lumineux ;
- le faible roulis et les valeurs élevées d'inclinaison durant cette phase finale de l'atterrissage sont caractéristiques d'une perte de références visuelles latérales, phénomène constaté typiquement lors des approches effectuées de nuit où l'environnement visuel est très pauvre (« approche en trou noir ») ;
- le palier important effectué le long de l'axe de piste prouve que les pilotes ne disposaient plus des repères visuels suffisants pour s'en rendre compte ;
- la prise de contact avec le sol, dure, précipitée et en bordure de piste est le résultat typique d'un pilotage manuel dosé approximativement en raison de la difficulté à évaluer la profondeur du champ visuel ;
- les pilotes ont déclaré que leur perception de la visibilité extérieure avait été modifiée; ils ont expliqué ce phénomène par l'assiette de 7° ANU.

2.3.1.2 Facteurs psychologiques

La gestion de ressources en équipe (*crew resource management* – CRM) a certainement joué un rôle dans le déroulement de l'incident grave, mais le SESE ne dispose pas de suffisamment d'éléments pour en tenir compte dans son analyse.

Dans le cadre de la désorientation spatiale, les facteurs psychologiques sont ceux qui, parce qu'ils chargent la partie consciente du cerveau, altèrent le jugement et les réactions aux facteurs environnementaux. Dans une situation où la solution au problème de perte de maîtrise consistait à remettre les gaz (voir chapitre 1.17.3.2), des freins psychologiques ont agi de manière suffisamment importante pour que l'atterrissage soit poursuivi. Ils ont été identifiés au nombre de deux :

- l'équipage de conduite a choisi d'effectuer une approche couplée à deux pilotes automatiques. Dans des conditions de visibilité marginale, ce choix a vraisemblablement été motivé par la possibilité d'effectuer une remise des gaz automatique. La perte de cette option une fois les pilotes automatiques déclenchés constitue une pression psychologique pouvant inciter l'équipage à forcer un atterrissage plutôt qu'à effectuer une remise des gaz en pilotage manuel ;
- pour un pilote qualifié uniquement en opération de catégorie I, l'altitude de décision joue un rôle important. Elle est en général la limite au-delà de laquelle une remise des gaz entre moins en considération, la notion de décision étant plus liée à celle d'atterrir qu'à celle de continuer l'approche en vue de l'atterrissage.

Ces deux facteurs psychologiques contribuent à des degrés différents à l'apparition du syndrome de la fascination de la cible. Malgré des signes évidents de désorientation spatiale et de perte de maîtrise de l'avion, l'équipage de conduite n'a pas eu les ressources nécessaires à l'initiation d'une remise des gaz. Il s'est trouvé dans un effet tunnel dont la seule issue consistait à atterrir.

2.3.2 Atterrissage

Contrairement au profil d'atterrissage standard, les assiettes de vol de la figure 2 montrent une position de l'avion incompatible avec l'exécution d'un atterrissage normal. Au terme du palier de 50 ft, la manœuvre à piquer a provoqué une prise de contact dure avec le sol, confirmée par l'accélération verticale de 2.5 g.

La sortie de piste peut s'expliquer par le fait que le commandant de bord a confondu les feux de bord de piste gauche avec ceux de l'axe de piste. En effet, les enregistrements FDR révèlent que quelques secondes avant le toucher des roues, l'avion se trouvait à une hauteur RA de 50 ft avec une inclinaison à gauche de près de 10° et une assiette d'environ 7° ANU. Dans cette situation, les feux de bord de piste espacés de 30 m, au lieu de la norme habituelle de 60 m, peuvent être confondus avec ceux qui matérialisent l'axe de piste.

2.4 Aspects relatifs au contrôle aérien

2.4.1 Secteur APP

Lors de la prise de contact avec le contrôle d'approche de Genève, l'équipage de conduite de TAR 700 a accusé réception de la diffusion ATIS « M » de 07:50 UTC, non actualisée. Conformément à l'« ATMM GENEVA TWR/APP, TWR », le contrôleur APP était tenu de transmettre sans délai tout élément d'information qui devait être mis à jour, en particulier l'information de la mise en application de l'opération par faible visibilité. Cette dernière a débuté à 08:24 UTC et a fait l'objet du message ATIS « O », émis peu après l'information « N » mais gardant la même heure de diffusion de 08:20 UTC.

Les échanges radiotéléphoniques entre le contrôleur APP et les trafics qu'il gérait peu avant l'incident grave indiquent que celui-ci ne semble pas avoir réalisé que l'opération par faible visibilité n'était pas signalée dans l'ATIS en vigueur. C'est suite à la remarque d'un pilote qu'il a systématiquement averti les équipages de conduite que l'opération LVP était en vigueur. Les pilotes de TAR 700 en ont été informés environ cinq minutes après avoir pris contact radiotéléphoniquement avec l'APP. Ce délai n'a pas péjoré la préparation de l'approche par faible visibilité déjà prévisible à la lecture du TAF de 02:25 UTC, et à celle du message ATIS « M ». Par rapport à la décision de poursuivre l'approche, il n'a pas été déterminant, car un déroutement vers l'aéroport de Lyon Saint-Exupéry (LFLL) restait possible.

2.4.2 Tour de contrôle

Tant que l'alarme BALUPI était active, le contrôleur ADC était obligé de déléguer la responsabilité d'entreprendre le décollage et l'atterrissage aux équipages de conduite, ceci sans préavis et sans autre explication que l'indication probablement intempestive de la panne totale des feux de bord de piste.

Cette situation, qui dura près de cinquante minutes, aurait pu être atténuée, voire annulée si le détail de la panne des dispositifs de feux de l'aire de manœuvre avait été directement disponible à la tour de contrôle. En fonction du nombre de feux défectueux admissible, le contrôleur aurait été à même de prendre la décision d'annuler l'alarme ou d'en transmettre le détail aux équipages de conduite.

2.5 Aspects relatifs à la surveillance de piste

La présence d'un corps étranger sur la piste constitue un danger pour les avions qui entrent en contact avec lui. Il peut par exemple provoquer l'éclatement d'un pneumatique ou être projeté contre l'aéronef et l'endommager gravement, au point de compromettre la poursuite du vol.

Le contrôleur ADC ne possédait pas d'information détaillée concernant le fonctionnement de chacun des éléments des dispositifs lumineux des feux de bord de piste. Il ne pouvait donc pas établir de relation de causalité entre la panne et les affirmations du passager émotionnellement choqué d'avoir vu l'avion rouler dans l'herbe. Un contrôle de piste extraordinaire n'avait donc pas lieu d'être effectué et les débris de lampes sont restés sur la piste jusqu'au contrôle de routine qui a eu lieu plus de trois heures après l'incident grave.

Il conviendrait que les contrôleurs ADC disposent d'un moyen de déterminer rapidement la cause d'une alarme du balisage lumineux.

3 Conclusions

3.1 Faits établis

3.1.1 Aspects techniques

- Au moment où s'est produit l'incident grave, la masse et le centre de gravité se trouvaient dans les limites prescrites par le constructeur de l'avion.
- L'enquête n'a pas fait apparaître d'indice révélant des défauts techniques de l'avion ayant pu être à l'origine de l'incident grave.

3.1.2 Equipage de conduite et contrôleurs de la circulation aérienne

- Au moment où s'est produit l'incident grave, le commandant de bord était titulaire d'une licence dont la validité pour le type 737 300-800 était échue. La compagnie Tunisair a par la suite fait parvenir au SESE une copie du document adéquat.
- Le copilote était titulaire d'une licence adéquate.
- Les contrôleurs de la circulation aérienne étaient titulaires d'une licence adéquate.

3.1.3 Déroulement de l'incident grave

- Les procédures d'exploitation par faible visibilité (LVP) étaient en vigueur depuis 08:24 UTC.
- Au moment où s'est produit l'incident grave, il y avait du brouillard, le ciel était obscurci avec une visibilité verticale de 200 ft. Les portées visuelles de piste étaient de 550 m dans la zone de toucher des roues de la piste 23 et de 375 m en milieu de piste.
- L'avion a survolé le seuil de piste 23 à 92 ft.
- De 08:46:07 à 08:46:17 UTC, l'avion a survolé la piste à vitesse constante en palier à 47 ft.
- A l'atterrissage, l'accélération verticale a atteint 2.5 g.
- A 08:46:21 UTC, le train principal gauche de l'avion est sorti de la piste pendant deux secondes.
- La sortie de piste, provoquant la destruction de deux feux de bord de piste, a déclenché l'alarme BALUPI de panne totale des feux de bord de piste avec l'impact opérationnel LVP orange.
- Les contrôleurs ADC n'ont fait le rapprochement entre l'alarme BALUPI et la sortie de piste de l'avion que lorsque le contrôle de piste de routine (12:00 UTC) a révélé la présence de débris de feux en bord de piste.

3.1.4 Aspects opérationnels

- Les deux pilotes automatiques étaient engagés (*Dual A/P operation*) durant la phase finale de l'approche ILS 23. Ils ont été déclenchés par l'équipage de conduite alors que l'avion se trouvait à l'altitude de décision.
- Les automanettes étaient engagées jusqu'à deux secondes après le toucher des roues.
- Le superviseur de la tour de contrôle a été informé des détails relatifs au défaut de balisage des feux de bord de piste une cinquantaine de minutes après la survenue de l'incident grave.

3.1.5 Dommages au sol

- Les feux de bord de piste n° 2044 et 2048 ont été détruits par le train principal gauche de l'avion. Les débris du premier feu ont été projetés sur la piste.
- Le train principal gauche est sorti de la piste sur une distance de 120 m au cours desquels il a creusé des ornières dans le terrain en herbe et fissuré la bordure de piste bétonnée.

3.2 Cause

L'incident grave est dû à une sortie de piste momentanée en début de roulement à l'atterrissage, consécutive à une perte de maîtrise provoquée par une désorientation spatiale.

L'utilisation inappropriée des systèmes de commandes automatiques de vol a contribué à la survenue de l'incident grave.

4 **Recommandation(s) de sécurité, avis concernant la sécurité et mesures prises après l'incident grave**

Recommandations de sécurité

Selon l'Annexe 13 de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) et l'art. 17 du règlement (UE) n° 996/2010 du Parlement européen et du Conseil du 20 octobre 2010 sur les enquêtes et la prévention des accidents et des incidents dans l'aviation civile et abrogeant la directive 94/56/CE, toutes les recommandations de sécurité formulées dans le présent rapport sont adressées aux autorités de surveillance de l'État concerné, qui peuvent choisir de les appliquer en tout ou partie. Cependant toutes les organisations, entreprises et personnes sont invitées à améliorer la sécurité aérienne conformément aux objectifs poursuivis par les recommandations de sécurité.

Concernant les recommandations de sécurité, la législation suisse prévoit dans l'ordonnance sur les enquêtes de sécurité en cas d'incident dans le domaine des transports (OEIT) la réglementation suivante :

« Art. 48 *Recommandations en matière de sécurité*

¹ *Le SESE adresse les recommandations en matière de sécurité à l'office fédéral compétent et en informe le département compétent. En cas de problèmes de sécurité urgents, il informe immédiatement le département compétent. Il peut donner son avis sur les rapports de mise en œuvre de l'office fédéral à l'attention du département compétent.*

² *Les offices fédéraux informent périodiquement le SESE et le département compétent de la mise en œuvre des recommandations ou des raisons pour lesquelles ils ont renoncé aux mesures.*

³ *Le département compétent peut adresser des mandats de mise en œuvre à l'office fédéral compétent. »*

Le SESE publie les réponses de l'office fédéral compétent ou des autorités de surveillance étrangères sur son site (www.sust.admin.ch), offrant de la sorte un aperçu quant au degré de mise en œuvre de la recommandation de sécurité correspondante.

Avis concernant la sécurité

Le SESE peut publier des avis concernant la sécurité en réaction à des déficits de sécurité constatés lors de l'enquête. Des avis concernant la sécurité sont formulés lorsqu'une recommandation de sécurité au sens du règlement (UE) n° 996/2010 semble inadéquate, n'est formellement pas possible ou lorsque la forme moins contraignante de l'avis concernant la sécurité aura vraisemblablement plus d'impact. Les avis concernant la sécurité du SESE se fondent juridiquement sur l'art. 56 OEIT :

« Art. 56 *Informations pour la prévention des accidents*

Le SESE peut préparer et publier des informations générales utiles pour la prévention des accidents. »

4.1 **Recommandation de sécurité**

4.1.1 Système de surveillance des dispositifs de balisage lumineux d'aéroport

4.1.1.1 Déficit de sécurité

Par conditions de faible visibilité, l'équipage de conduite d'un Boeing 737-600 effectue une approche ILS de catégorie (CAT) I, au terme de laquelle il perd momentanément la maîtrise de l'avion en raison d'une utilisation inappropriée des systèmes de commandes automatiques de vol. Désorientés spatialement, les pilotes effectuent un atterrissage long, avec un toucher dur à gauche de l'axe. Le train principal gauche sort de piste sur une distance de 120 m et brise deux lampes du balisage lumineux dont des débris sont projetés sur la piste. L'incident provoque l'activation de l'alarme de panne totale des feux de bord de piste à la tour de contrôle. Les contrôleurs ne sont pas informés de manière détaillée de ce dysfonctionnement et n'apprendront que cinquante minutes plus tard que trois feux sont défectueux. L'incident grave n'ayant pas été signalé, ce n'est que trois heures plus tard à l'occasion d'un contrôle de routine, que les débris de lampes ont été découverts sur la piste.

4.1.1.2 Recommandation de sécurité n° 495

L'Office fédéral de l'aviation civile devrait s'assurer que les contrôleurs de la tour de contrôle disposent d'un moyen de connaître sans délai le détail d'une alarme du balisage lumineux.

4.2 **Avis concernant la sécurité**

Aucun.

4.3 **Mesures adoptées pour améliorer la sécurité suite à la survenue de l'incident grave**

Aucune.

Payerne, 16 mars 2015

Bureau d'enquête du SESE

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

Berne, 31 mars 2015