



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

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

Domaine aviation

# **Rapport final n° 2244**

## **du Service suisse d'enquête de sécurité SESE**

concernant l'incident grave (Airprox)

entre l'aéronef Airbus A319, G-EZAU,  
exploité par Easyjet avec l'indicatif d'appel EZY 899B,

l'aéronef Boeing 737-800, D-ABKB,  
exploité par Air Berlin avec l'indicatif d'appel BER 17Z,

et l'aéronef Boeing 737-800, G-TAWF,  
exploité par Thomson Airways avec l'indicatif d'appel  
TOM 857

survenu le 26 mai 2013

10 NM au nord-nord-ouest du point de cheminement  
MOLUS

**Ursachen**

Der schwere Vorfall ist darauf zurückzuführen, dass eine irrtümlich erteilte Freigabe an ein Flugzeug zum Steigflug auf Flugfläche 380 eine Unterschreitung der Mindeststaffelung mit einem Flugzeug zur Folge hatte, das auf Flugfläche 370 auf einem rechtwinklig verlaufenden Flugweg kreuzte. Dieses Flugzeug musste aufgrund der Annäherung ein Ausweichmanöver nach oben fliegen, was zu einer weiteren Unterschreitung der Mindeststaffelung mit einem dritten Flugzeug auf Flugfläche FL 380 führte, das sich auf entgegengesetztem Kurs befand.

## Remarques générales sur le présent rapport

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

Conformément à l'article 3.1 de la 10<sup>e</sup> 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.

La version de référence de ce rapport est rédigée en français.

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 de l'incident grave.

Sauf indication contraire, toutes les heures indiquées dans le rapport le sont en heure universelle coordonnée (*coordinated universal time* – UTC). Au moment de l'incident grave, l'heure normale valable pour le territoire suisse (*local time* – LT) correspondait à l'heure d'été de l'Europe centrale (*central european summer time* – CEST). La relation entre LT, CEST et UTC est:  $LT = CEST = UTC + 2 \text{ h}$ .

## Table des matières

<b>Résumé</b>	<b>6</b>
<b>Enquête</b>	<b>7</b>
<b>Synopsis</b>	<b>7</b>
<b>Cause</b>	<b>7</b>
<b>Recommandations de sécurité</b>	<b>7</b>
<b>1 Renseignements de base</b>	<b>8</b>
<b>1.1 Faits antécédents et déroulement de l'incident grave</b>	<b>8</b>
1.1.1 Généralités	8
1.1.2 Déroulement de l'incident grave	8
1.1.3 Lieu et heure de l'incident grave	12
<b>1.2 Renseignements sur le personnel</b>	<b>12</b>
1.2.1 Equipages de conduite	12
1.2.1.1 EZY 899B	12
1.2.1.1.1 Commandant de bord	12
1.2.1.1.2 Copilote	13
1.2.1.2 BER 17Z	13
1.2.1.2.1 Commandant de bord	13
1.2.1.2.2 Copilote	13
1.2.1.3 TOM 857	13
1.2.1.3.1 Commandant de bord	13
1.2.1.3.2 Copilote	13
1.2.2 Contrôleurs de la circulation aérienne	13
1.2.2.1 Radar Executive RE secteur L5	13
1.2.2.2 Radar Planner RP secteur L5	14
1.2.2.3 Radar Executive RE secteur L6	14
1.2.2.4 Radar Planner RP secteur L6	14
<b>1.3 Renseignements sur les aéronefs</b>	<b>14</b>
1.3.1 Aéronef EZY 899B	14
1.3.2 Aéronef BER 17Z	15
1.3.3 Aéronef TOM 857	15
<b>1.4 Renseignements météorologiques</b>	<b>15</b>
1.4.1 Situation météorologique générale	15
1.4.2 Situation météorologique au moment de l'incident grave	15
1.4.3 Informations astronomiques	15
<b>1.5 Communications</b>	<b>16</b>
<b>1.6 Enregistreurs de bord</b>	<b>16</b>
<b>1.7 Renseignements en matière d'organisation et de gestion</b>	<b>16</b>
1.7.1 Organisation des secteurs de contrôle	16
1.7.2 Aspects relatifs au système de gestion de trafic	16
1.7.3 La procédure close the loop	17
<b>1.8 Renseignements supplémentaires</b>	<b>17</b>
1.8.1 L'étiquette radar d'un vol	17
1.8.2 L'outil MSID	18
1.8.3 L'avertisseur de conflit à court terme STCA	19
1.8.4 Systèmes anticollision embarqués	19
1.8.4.1 Modèle de pilote type	19
1.8.4.2 Visualisation des trafics et affichage des avis de résolution	20
1.8.4.3 Versions 7.0 et 7.1 du TCAS II	21
1.8.5 Transmissions descendantes Mode S	21
1.8.5.1 Transmission descendante des avis de résolution ACAS, déclenchés à bord des avions impliqués dans l'incident grave	21

1.8.5.2	Transmission descendante de paramètres de vol pertinents	22
1.8.6	Reconstitution des trajectoires des avions impliqués dans l'incident grave	23
1.8.7	Dépositions des contrôleurs de la circulation aérienne	24
1.8.7.1	Secteur de contrôle L5	24
1.8.7.2	Secteur de contrôle L6	25
1.8.8	Enregistrement des conversations téléphoniques au secteur L5	25
1.8.9	Informations pertinentes extraites des ASR et des rapports des compagnies impliquées dans l'incident grave	25
1.8.9.1	EZY 899B	25
1.8.9.2	BER 17Z	25
1.8.9.3	TOM 857	25
<b>2</b>	<b>Analyse</b>	<b>26</b>
<b>2.1</b>	<b>Aspects relatifs au contrôle aérien</b>	<b>26</b>
2.1.1	Pertes de séparation	26
2.1.2	L'autorisation conflictuelle du niveau FL 380	26
2.1.3	Réactions des contrôleurs	27
<b>2.2</b>	<b>Aspects relatifs à la conduite des vols</b>	<b>27</b>
2.2.1	Réactions des pilotes aux alarmes TCAS	27
2.2.1.1	EZY 899B	27
2.2.1.2	BER 17Z	28
2.2.1.3	TOM 857	29
<b>2.3</b>	<b>Sécurité du transport aérien</b>	<b>31</b>
<b>3</b>	<b>Conclusions</b>	<b>32</b>
<b>3.1</b>	<b>Faits établis</b>	<b>32</b>
3.1.1	Cadre général	32
3.1.2	Aspects techniques	32
3.1.3	Contrôleurs de la circulation aérienne	32
3.1.4	Déroulement de l'incident grave	32
<b>3.2</b>	<b>Cause</b>	<b>33</b>
<b>4</b>	<b>Recommandations de sécurité, avis concernant la sécurité et mesures prises après l'incident grave</b>	<b>34</b>
<b>4.1</b>	<b>Recommandations de sécurité</b>	<b>34</b>
<b>4.2</b>	<b>Avis concernant la sécurité</b>	<b>34</b>
<b>4.3</b>	<b>Mesures prises après l'incident grave</b>	<b>34</b>
4.3.1	Système EHS CLAM	34

## Rapport final

### Résumé

Aéronef EZY 899B

Exploitant	Easyjet Airline Company Limited, Luton, Royaume-Uni
Constructeur	Airbus S.A.S., Toulouse, France
Type d'aéronef	A319-111
Pays d'immatriculation	Royaume-Uni
Immatriculation	G-EZAU
Indicatif de plan de vol ATC	EZY 899B
Indicatif d'appel	<i>Easyjet eight niner niner bravo</i>
Règles de vol	Règles de vol aux instruments ( <i>instrument flight rules – IFR</i> )
Type d'exploitation	Vol de ligne
Point de départ	LIMC, Milan Malpensa
Point de destination	EGGW, Londres Luton

Aéronef BER 17Z

Exploitant	Air Berlin, Berlin, Allemagne
Constructeur	Boeing Commercial Airplanes, Seattle, Washington, USA
Type d'aéronef	Boeing 737-800
Pays d'immatriculation	Allemagne
Immatriculation	D-ABKB
Indicatif de plan de vol ATC	BER 17Z
Indicatif d'appel	<i>Air berlin one seven zulu</i>
Règles de vol	IFR
Type d'exploitation	Vol de ligne
Point de départ	EDDN, Nuremberg
Point de destination	LEPA, Palma de Majorque

Aéronef TOM 857

Exploitant	Thomson Airways Limited, Luton, Royaume-Uni
Constructeur	Boeing Commercial Airplanes, Seattle, Washington, USA
Type d'aéronef	Boeing 737-800
Pays d'immatriculation	Royaume-Uni
Immatriculation	G-TAWF
Indicatif de plan de vol ATC	TOM 857
Indicatif d'appel	<i>Thomson eight five seven</i>

Règles de vol	IFR
Type d'exploitation	Vol de ligne
Point de départ	DTNH, Enfidha Hammamet
Point de destination	EGNX, East Midlands
Lieu	10 NM au nord-nord-ouest de MOLUS
Date et heure	26 mai 2013, 10:43 UTC
Service ATS	GVA ACC
Espace aérien	Classe C
Minima de séparation applicables	5NM ou 1000 ft
Distances minimales	Entre l'aéronef EZY 899B et l'aéronef BER 17Z: 2.6 NM et 850 ft  Entre l'aéronef BER 17Z et l'aéronef TOM 857: 1.5 NM et 675 ft
Catégorie d'Airprox	OACI – catégorie B (sécurité non assurée)

## Enquête

L'incident grave s'est produit le 26 mai 2013 à 10:43 UTC. Il a été annoncé au Service d'enquête suisse sur les accidents (SESA<sup>1</sup>) le 27 mai 2013 à 13:36 UTC. Une enquête a été ouverte le 31 mai 2013 à 07:01 UTC.

Le SESA a notifié l'incident grave aux autorités du Royaume-Uni et de l'Allemagne, qui ont chacune nommé un représentant accrédité. Il s'est déroulé dans l'espace aérien suisse.

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

## Synopsis

L'incident a eu lieu le 26 mai 2013 à 10:43 UTC à proximité du point de cheminement MOLUS, dans la tranche des niveaux de vol (*flight level* – FL) comprise entre FL 360 à FL 380. Il a été provoqué dans un premier temps par la perte de séparation entre le vol EZY 899B<sup>2</sup> en montée, autorisé par erreur au FL 380, avec BER 17B qui croisait sur une route perpendiculaire au FL 370. Ce conflit a donné lieu à l'émission d'avis de résolution des systèmes anticollision embarqués des deux avions et la manœuvre d'évitement vers le haut de BER 17B a provoqué une nouvelle perte de séparation avec un troisième avion, TOM 857, qui se trouvait sur une route de sens opposé au FL 380.

## Cause

L'incident grave est dû à une perte de séparation entre un avion en montée autorisé par erreur au FL 380 et un appareil qui croisait sur une route perpendiculaire au FL 370. La manœuvre d'évitement vers le haut entamée par ce dernier a provoqué une seconde perte de séparation avec un troisième avion qui se trouvait sur une route de sens opposé au FL 380.

## Recommandations de sécurité

L'enquête n'a pas conduit à l'établissement de recommandations de sécurité.

---

<sup>1</sup> Le SESA (Service d'enquête suisse sur les accidents) est devenu le SESE (Service suisse d'enquête de sécurité SESE) au 1<sup>er</sup> février 2015

<sup>2</sup> Sauf indiqué, dans la suite du rapport les termes « EZY 899B », « BER 17B » et « TOM 857 » réfèrent aux « vols EZY 899B, BER 17B et TOM 857 »

## 1 Renseignements de base

### 1.1 Faits antécédents et déroulement de l'incident grave

#### 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 des aéronefs en situation conflictuelle, des *air safety report* (ASR) remplis par les pilotes et des dépositions des contrôleurs aériens impliqués dans l'incident grave.

Au moment de l'incident grave les secteurs L5 et L6 du centre de contrôle régional (*area control center* – ACC) de Genève se trouvaient dans leur configuration de base. Ils avaient été dégroupés une vingtaine de minutes auparavant.

L6	FL 375+
L5	FL 355 – FL 374
L4	FL 335 – FL 354
L3	FL 315 – FL 334
L2	FL 285 – FL 314
L1	FL 245 – FL 284

#### 1.1.2 Déroulement de l'incident grave

Le 26 mai 2013 à 10:31:41 UTC, l'équipage de conduite du Boeing 737-800 effectuant le vol TOM 857 de Enfidha Hammamet à destination d'East-Midlands appelle le secteur L6 de l'ACC de Genève en indiquant son niveau de vol FL 380. Il vient de passer le radiophare de Torino (TOP) et le contrôleur de la circulation aérienne l'autorise à faire route vers le point de cheminement MO-LUS<sup>3</sup>. Peu après, il lui demande d'infléchir sa route de 5 degrés à gauche pour le séparer d'un trafic croisant au même niveau de vol.

A 10:35:45 UTC, le Boeing 737-800 effectuant le vol BER 17Z de Nuremberg à destination de Palma de Majorque approche OLBEN et son équipage de conduite s'annonce au secteur L5 de Genève ACC au FL 370. Le contrôleur l'autorise dans un premier temps à faire route vers MILPA avant de le faire poursuivre directement vers GIRKU trois minutes plus tard.

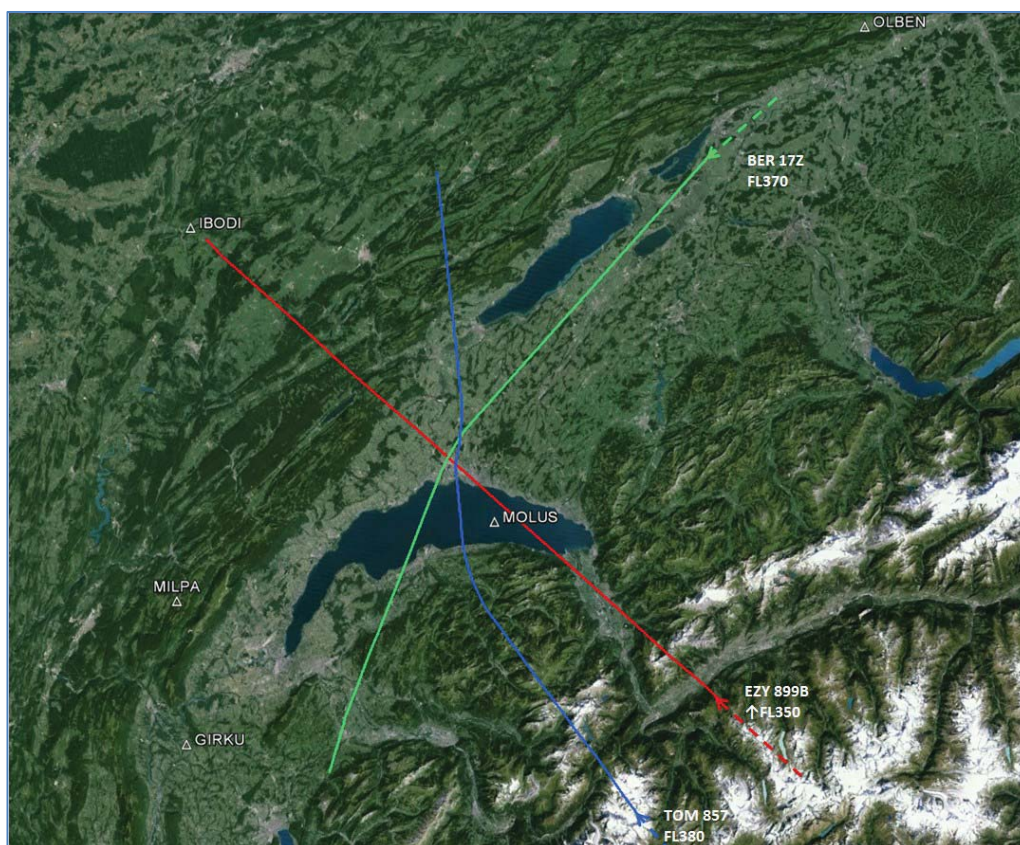
A 10:40:48 UTC, l'équipage de conduite de l'Airbus A319 effectuant le vol EZY 899B de Milan Malpensa à destination de Londres Luton prend contact avec le secteur de contrôle L5 ; l'avion est en montée vers FL 350 et fait route vers IBODI. Le contrôleur répond qu'il le rappellera pour l'autoriser à poursuivre sa montée.

A 10:43:51 UTC, le vol EZY 899B est autorisé à monter au FL 360. L'instruction n'est pas collationnée par son équipage de conduite. Huit secondes plus tard, il est autorisé au FL 380 et cette fois le collationnement est immédiat.

<sup>3</sup> Dans la suite du rapport les points de cheminement seront mentionnés directement par leur nom écrit en majuscules



A 10:44:42 UTC, le vol BER 17Z est autorisé à poursuivre directement vers BALSI.



**Figure 1** : trajectoires et positions à 10:40 UTC des vols TOM 857, BER 17Z et EZY 899B

A 10:44:56 UTC, le contrôleur *radar executive* (RE) du secteur L5 effectue une boucle visuelle de contrôle de ses données radar et constate que la valeur affichée dans la fenêtre «Sel.Alt» de l'étiquette d'EZY 899B est «38000». Cette indication signifie que l'équipage de conduite a introduit la consigne de monter au FL 380 dans le système de commandes automatiques de vol.

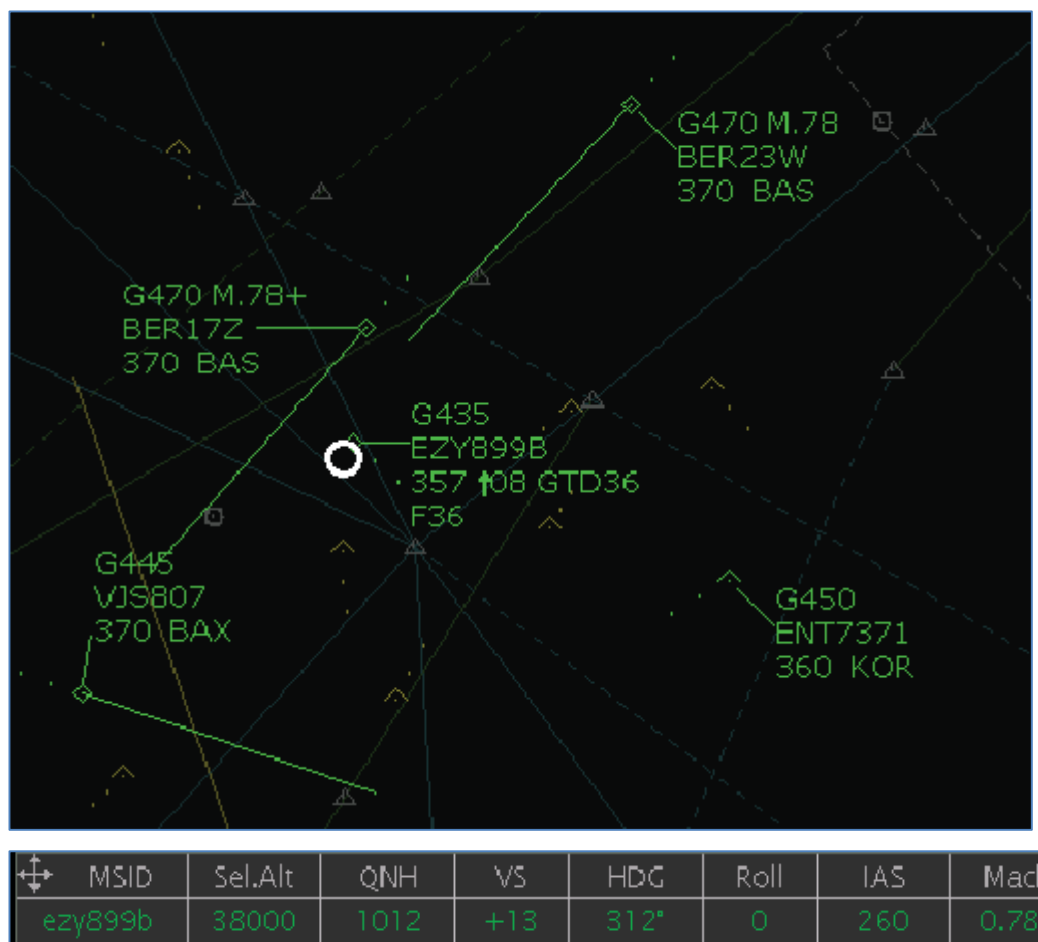
A 10:44:59 UTC, l'avertisseur de conflit à court terme (*short term conflict alert* – STCA) s'active au secteur L5 pour signaler un conflit potentiel entre EZY 899B passant FL 358 en montée et BER 17Z qui croise au FL 370. La distance horizontale entre les deux appareils est à ce moment de 4.7 NM. Le contrôleur enjoint immédiatement à EZY 899B de maintenir FL 360.

Un avis de résolution correctif vers le bas « *level off* » est émis à 10:45:02 UTC par le système anticollision embarqué d'EZY 899B, alors que l'avion passe 35 925 ft d'altitude-pression en montée avec une vitesse verticale de 2200 ft/min. L'équipage de conduite réagit promptement à l'alarme, signale « *TCAS<sup>4</sup> RA<sup>5</sup>* » au contrôleur et revient en une trentaine de secondes au FL 360, ne l'ayant dépassé que de 150 ft. L'avis de résolution prend fin à 10:45:27 UTC.

A 10:45:06 UTC une alarme « *climb* », également corrective mais de sens opposé, est donnée par le TCAS de BER 17Z.

<sup>4</sup> TCAS : *traffic alert and collision avoidance system*, système anticollision embarqué constituant une application concrète du concept *airborne collision avoidance system* (ACAS)

<sup>5</sup> RA : *resolution advisory*, avis de résolution



**Figure 2 :** extrait de l'image radar et de la fenêtre *mode S identification* (MSID) d'EZY 899B au secteur de contrôle L5, à 10:44:56 UTC

L'équipage de conduite de BER 17Z effectue la manœuvre d'évitement vers le haut conseillée par le TCAS, amenant la trajectoire de l'avion à interférer dès lors avec celle de TOM 857.

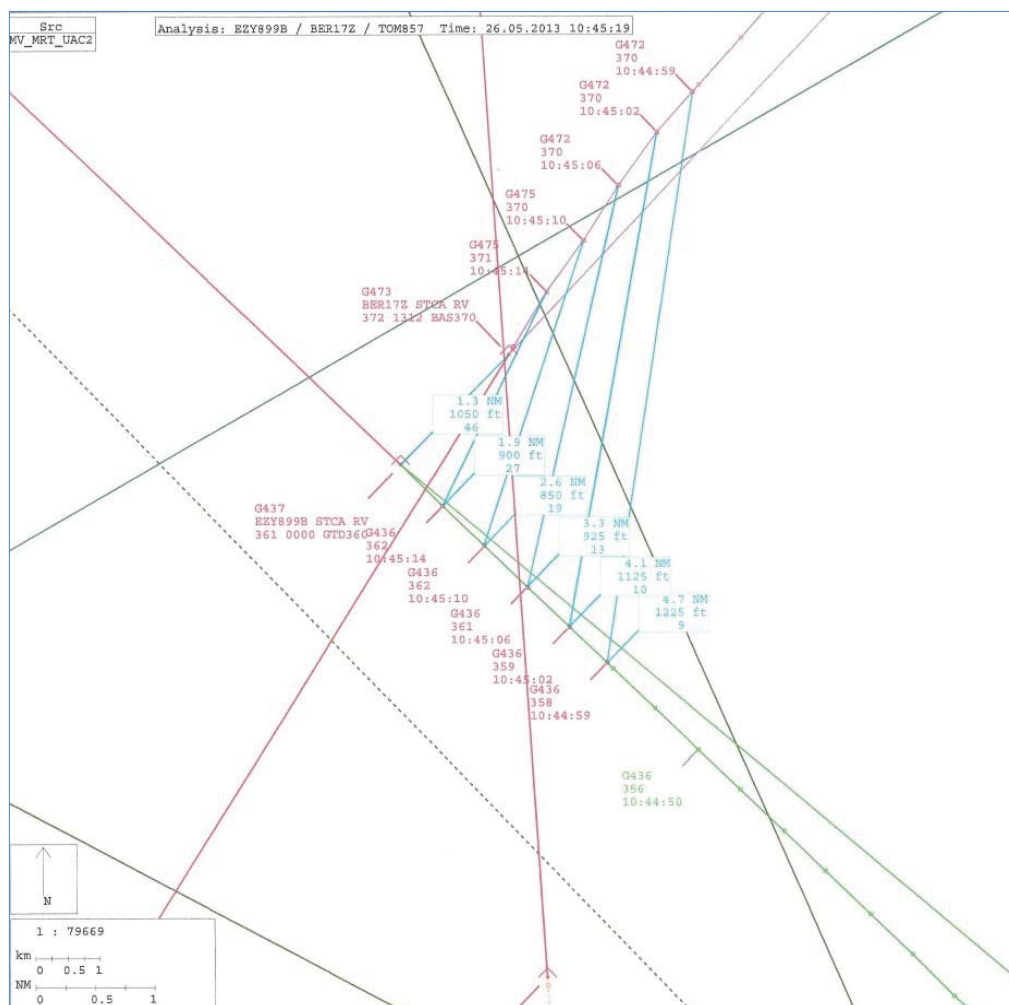
Les systèmes anticollision embarqués réagissent à cette nouvelle configuration conflictuelle (rencontre de menace multiple) et un avis de résolution correctif, cette fois dirigé vers le bas, « *adjust vertical speed* » est émis à bord de BER 17Z à 10:45:16 UTC. Les pilotes interrompent la montée, restent entre FL 372 et FL 373 pendant près d'une minute et rejoignent ensuite FL 370.

Ce rapprochement dangereux avec TOM 857 provoque à 10:45:19 UTC l'activation du STCA aux secteurs L5 et L6, alors que les deux avions se trouvent à 5.1 NM et 825 ft l'un de l'autre.

A 10:45:25 UTC, le contrôleur du secteur L6 enjoint à TOM 857 de tourner immédiatement au cap 040° puis dans la foulée au cap 030°. Les pilotes engagent aussitôt le virage à droite et une dizaine de secondes plus tard leur TCAS émet promptement un avis de résolution préventif « *monitor vertical speed* » suivi directement de l'avis correctif « *climb* ». Le pilote automatique est immédiatement déclenché, la manœuvre d'évitement est annoncée au contrôleur et quatre secondes plus tard, le message parlé « *clear of conflict* » du TCAS signale la fin du conflit. Toujours en virage, l'avion monte légèrement et atteint l'altitude pression de 38 120 ft. Les pilotes interrompent le virage, rejoignent FL 380, réengagent les systèmes de commandes automatiques de vol et reprennent leur route initiale conformément à l'instruction du contrôleur aérien.

La perte de séparation (simultanément moins de 5 NM et 1000 ft de distance) entre EZY 899B et BER 17Z a eu lieu de 10:45:05 à 10:45:15 UTC. Le rapprochement maximal a eu lieu à 10:45:10 UTC alors que les avions se trouvaient à 2.6 NM et 850 ft l'un de l'autre.

La perte de séparation entre BER 17Z et TOM 857 a eu lieu de 10:45:19 à 10:45:57 UTC, les trajectoires des avions étant néanmoins divergentes pendant les dix-sept dernières secondes de cet intervalle. Pendant la convergence, le rapprochement maximal a eu lieu à 10:45:40 UTC alors que les avions se trouvaient à 1.5 NM et 675 ft l'un de l'autre.



**Figure 3 :** distances verticale et horizontale pendant l'alerte STCA pour EZY 899B et BER 17Z





1.2.1.1.2	Copilote	
	Personne	Citoyen britannique, né en 1970
	Licence	ATPL(A), émise par la CAA du Royaume-Uni
	Formation TCAS	14 avril 2012
1.2.1.2	BER 17Z	
1.2.1.2.1	Commandant de bord	
	Personne	Citoyen allemand, né en 1955
	Licence	ATPL(A), émise par le <i>Luffahrt-Bundesamt der Bundesrepublik</i> (LBA) d'Allemagne
	Formation TCAS	14 novembre 2012
1.2.1.2.2	Copilote	
	Personne	Citoyen allemand, né en 1990
	Licence	ATPL(A) émise par le LBA d'Allemagne
	Formation TCAS	22 février 2013
1.2.1.3	TOM 857	
1.2.1.3.1	Commandant de bord	
	Personne	Citoyen britannique, né en 1969
	Licence	ATPL(A), émise par la CAA du Royaume-Uni
	Cours de rafraîchissement TCAS	9 décembre 2012
1.2.1.3.2	Copilote	
	Personne	Citoyen britannique, né en 1979
	Licence	ATPL(A), émise par la CAA du Royaume-Uni
	Cours de rafraîchissement TCAS	26 novembre 2012
1.2.2	Contrôleurs de la circulation aérienne	
1.2.2.1	Radar Executive RE secteur L5	
	Personne	Citoyen français, né en 1989
	Licence	Contrôleur de la circulation aérienne ( <i>air traffic controller</i> ), basée sur la directive 2006/23 de la Communauté européenne, établie par l'Office fédéral de l'aviation civile (OFAC) le 17 mars 2010
	Compétences: Unité	LSAG <sup>6</sup> Sector-(Group) UTA <sup>7</sup> valable jusqu'au 26 juillet 2013
	Qualifications	RAD <sup>8</sup> ACS <sup>9</sup> valable jusqu'au 26 juillet 2013 <i>English level 4</i> valable jusqu'au 18 février 2016

---

<sup>6</sup> LSAG : *control area Geneva*

<sup>7</sup> UTA : *upper control area*

<sup>8</sup> RAD : *radar*

<sup>9</sup> ACS : *area control surveillance*

1.2.2.2	Radar Planner RP secteur L5	
	Personne	Citoyen serbe, né en 1970
	Licence	Contrôleur de la circulation aérienne, établie par l'OFAC le 3 mars 1994
	Compétences: Unité	LSAG Sector-(Group) UTA valable jusqu'au 24 mai 2014
	Qualifications	RAD ACS valable jusqu'au 24 mai 2014 <i>on the job training instructor</i> (OJTI) valable jusqu'au 24 mai 2014 <i>English level 4</i> valable jusqu'au 20 mars 2015
1.2.2.3	Radar Executive RE secteur L6	
	Personne	Citoyen belge, né en 1972
	Licence	Contrôleur de la circulation aérienne, établie par l'OFAC le 18 décembre 2009
	Compétences: Unité	LSAG Sector-(Group) UTA valable jusqu'au 5 septembre 2013
	Qualifications	RAD ACS valable jusqu'au 5 septembre 2013 <i>English level 4</i> valable jusqu'au 15 avril 2016
1.2.2.4	Radar Planner RP secteur L6	
	Personne	Citoyen britannique, né en 1982
	Licence	Contrôleur de la circulation aérienne, établie par l'OFAC le 17 mars 2010
	Compétences: Unité	LSAG Sector-(Group) UTA valable jusqu'au 28 août 2013
	Qualifications	RAD ACS valable jusqu'au 28 août 2013 <i>English level 4</i> valable jusqu'au 18 février 2016

### 1.3 Renseignements sur les aéronefs

1.3.1	Aéronef EZY 899B	
	Immatriculation	G-EZAU
	Type d'aéronef	Airbus A319-111
	Caractéristiques	Biréacteur court et moyen-courrier
	Constructeur	Airbus S.A.S., Toulouse, France
	Exploitant	Easyjet Airline Company Limited, Royaume-Uni
	Equipement	TCAS II Ver 7.1

1.3.2	Aéronef BER 17Z		
	Immatriculation	D-ABKB	
	Type d'aéronef	Boeing 737-86J	
	Caractéristiques	Biréacteur court et moyen-courrier	
	Constructeur	Boeing Commercial Airplanes, Seattle, Washington, USA	
	Exploitant	Air Berlin Luftverkehrs KG, Allemagne	
	Équipement	TCAS II Ver 7.0	
1.3.3	Aéronef TOM 857		
	Immatriculation	G-TAWF	
	Type d'aéronef	Boeing 737-8K5	
	Caractéristiques	Biréacteur court et moyen-courrier	
	Constructeur	Boeing Commercial Airplanes, Seattle, Washington, USA	
	Exploitant	Thomson Airways Limited, Luton	
	Équipement	TCAS II, version non communiquée <sup>10</sup>	

## 1.4 Renseignements météorologiques

### 1.4.1 Situation météorologique générale

De l'air maritime polaire engendrait au nord des Alpes une situation typique de dorsale pour la répartition des pressions au sol. En même temps, une zone de basse pression située à l'est de l'Allemagne amenait de l'air plus doux dans les Alpes.

### 1.4.2 Situation météorologique au moment de l'incident grave

Des nuages de barrage étaient présents le long des Alpes savoyardes. Au-dessus se trouvait une couche d'altocumulus épars et diffuse. Le ciel était dégagé au-dessus du lac Léman.

L'incident grave s'est déroulé dans la partie inférieure et sans nuage de la stratosphère.

Météo/nuages	La sonde radio de Payerne indiquait une limite supérieure de la couche nuageuse à environ 12 600 ft AMSL
Visibilité	Supérieure à 70 km
Vent au FL 350	350° / 16 kt
Température / point de rosée au FL 350	-49 °C / -66 °C
Dangers	Aucun

### 1.4.3 Informations astronomiques

Position du soleil	Azimut : 155°	Hauteur : 63°
--------------------	---------------	---------------

<sup>10</sup> En Europe, la version 7.0 est obligatoire depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2005

## 1.5 Communications

Les enregistrements des communications radiotéléphoniques échangées entre les secteurs de contrôle L5 et L6 et le trafic aérien ont été mis à disposition du SESA pour les besoins de l'enquête. Celui du secteur L5 dure une trentaine de minutes, dont environ treize avant l'incident grave et dix-sept après. Le contrôleur RE a été remplacé dans sa fonction quelque douze minutes après l'incident grave.

Aucune défectuosité des appareils de communication radiotéléphonique n'a été signalée par le service technique de Skyguide.

## 1.6 Enregistreurs de bord

Au moment où l'incident grave a été signalé au SESA, les enregistrements des conversations de poste de pilotage n'étaient plus disponibles. Compte tenu des éléments déjà à disposition pour les besoins de l'enquête, il n'a pas été nécessaire d'avoir recours aux enregistrements de données de vol (*flight data recorder* – FDR).

La compagnie Easyjet a fourni au SESA l'enquête interne subsidiaire qu'elle a effectuée suite à cet incident grave ; elle s'appuie entre autres sur les enregistrements de données embarqués.

La compagnie Thomson Airways Limited a fait parvenir au service d'enquête une chronologie des événements de l'incident grave qu'elle a jugés pertinents, établie sur les données des enregistrements de données embarqués.

## 1.7 Renseignements en matière d'organisation et de gestion

### 1.7.1 Organisation des secteurs de contrôle

Les « regroupement » et « dégroupement » des secteurs correspondent aux différentes configurations obtenues en fermant ou en ouvrant une partie ou la totalité des six secteurs de contrôle que comprend l'*upper area control center* (UAC) de Genève. Pendant la nuit, ce nombre est réduit à un, regroupant à lui seul les fréquences radio des autres secteurs. La journée, les différents secteurs sont activés en fonction du volume de trafic, qui augmente en général en début de matinée puis diminue en soirée. Entre deux, ils sont configurés de manière à assurer la gestion optimale des ressources humaines.

Les secteurs L5 et L6 ont été « dégroupés » une vingtaine de minutes avant l'incident grave. La gestion du secteur L5 a été assurée par l'équipe de contrôleurs déjà en fonction ; deux autres contrôleurs RE et RP ont pris en charge le secteur L6.

### 1.7.2 Aspects relatifs au système de gestion de trafic

Les vols en provenance des aéroports situés dans les régions limitrophes de la Suisse et dont les destinations se trouvent au-delà de ces régions, entrent dans l'espace aérien de Genève ACC à des niveaux de vol inférieurs à celui de leur niveau de croisière prévu. Pour permettre leur intégration, le système de gestion du trafic aérien de Skyguide (*air traffic management system* – ATM) fait apparaître automatiquement le niveau de vol de croisière demandé, si celui-ci est disponible, dans les données « plan de vol » à disposition des contrôleurs. Ces derniers peuvent modifier cette valeur en introduisant un nouveau niveau de vol en fonction de la situation de trafic. Le cas échéant, ce niveau est transmis au centre de contrôle subséquent et constitue ce qui est communément appelé « niveau de sortie » ou « niveau coordonné ». Les contrôleurs radar délivrent ensuite les autorisations appropriées pour qu'au moment du transfert d'un vol au centre de contrôle adjacent, les niveaux autorisés soient les mêmes que ceux qui sont dans le système ATM.



### 1.7.3 La procédure *close the loop*

Lorsque le contrôleur radar RE attribue un niveau de vol autorisé (*cleared flight level* – CFL) à un vol, il doit introduire cette nouvelle valeur dans le système ATM au moyen d'une action informatique sur l'étiquette radar du vol concerné. Selon les procédures de contrôle *stripless*, le coordonnateur radar RP doit ensuite confirmer ce nouveau niveau de vol en fermant la boucle de contre-vérification (*close the loop*) également par un clic informatique.

## 1.8 Renseignements supplémentaires

### 1.8.1 L'étiquette radar d'un vol

La piste radar d'un vol s'établit au moment où il est détecté au travers de son transpondeur par le réseau des stations radar. Les informations « plan de vol » contenues dans le système ATM (route prévue, niveau de vol demandé etc.) lui sont associées et le vol est alors dit « corrélé ». Pour le contrôleur de la circulation aérienne, sa visualisation se présente sous forme d'une étiquette radar contenant les informations pertinentes de ce vol.

L'étiquette d'un vol spécifique devient visible dans tous les secteurs de contrôle qu'il affecte. Les modifications de niveaux de sortie effectuées par les contrôleurs ont donc un impact direct sur la distribution de cette visualisation dans l'espace aérien de Genève ACC.

Lorsqu'un avion est à l'origine d'une alarme STCA avec un avion évoluant dans un secteur de contrôle différent, son étiquette radar s'affiche dans ce secteur pour les besoins de la visualisation de l'alerte.

Les vols BER 17Z et TOM 857 étaient en phase de croisière aux niveaux de vol FL 370 et FL 380 respectivement. L'étiquette radar du premier n'était donc visible que dans le secteur de contrôle L5, celle du second uniquement dans le secteur L6. Lorsque, à la suite de l'avis de résolution « *climb* » le vol BER 17Z se rapprocha suffisamment de TOM 857 pour provoquer le déclenchement du STCA à 10:45:19 UTC, son étiquette radar devint visible dans le secteur L6.

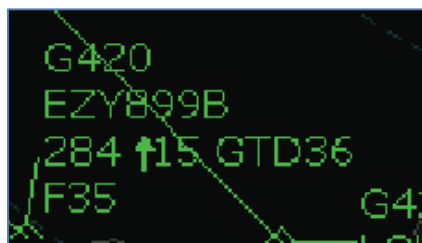
EZY 899B était initialement intégré dans le système de gestion du trafic aérien ATM avec un niveau de sortie prévu à FL 380. Avant sa première prise de contact radiotéléphonique avec Genève ACC, il était ainsi visualisé dans les secteurs de contrôle qu'il devait traverser, à savoir L3, L4, L5 et L6. Alors qu'il se trouvait à proximité d'AOSTA, pour des raisons de trafic le contrôleur RP du secteur L5 a décidé d'abaisser son niveau de sortie à FL 360. Dès lors, l'étiquette d'EZY 899B s'est éclip­sée des radars du secteur L6 qu'il n'affectait plus.



**Figure 5** : l'étiquette d'EZY 899B après corrélation. L'ATM a associé les données du plan de vol et les informations transmises par le transpondeur de l'avion. Son altitude actuelle est 7000 ft (a70) et l'ATM lui a attribué le niveau de croisière demandé FL 380 (38)



**Figure 6 :** EZY 899B est en contact avec un secteur en dessous du secteur L5. Il est autorisé à monter au FL 300 (F30)



**Figure 7 :** EZY 899B est en contact avec un secteur en dessous du secteur L5. Il est autorisé à monter au FL 350 et la valeur de son niveau de croisière attribuée est maintenant FL 360



**Figure 8 :** EZY 899B est en contact avec le secteur L5. Il a reçu l'autorisation de monter au FL 360 (F36). La manipulation *close the loop* par le contrôleur RP n'est pas encore effectuée (F36 en blanc). Lorsqu'elle le sera, « F36 » deviendra vert

### 1.8.2 L'outil MSID



**Figure 9 :** exemple d'affichage de la fenêtre MSID

Sur l'écran radar, les paramètres de liaisons descendantes d'aéronef (*downlink aircraft parameters* – DAPS) peuvent être affichés sur demande du contrôleur dans une fenêtre dédiée à cet effet.

Cet outil permet entre autres de vérifier si le niveau introduit par le pilote dans le système de commandes automatiques de vol (*selected altitude* – Sel.Alt) correspond au niveau autorisé CFL.

### 1.8.3 L'avertisseur de conflit à court terme STCA

Intégré au système de traitement radar desservant les secteurs civils du centre de contrôle de Genève, le STCA est un filet de sauvegarde qui, en cas de rapprochement à risque d'aéronefs dans les plans vertical et horizontal, avertit le contrôleur par une alerte sonore et visuelle. Il s'active avec un temps de préavis pour permettre la réaction de la boucle contrôleur-pilote-avion: le contrôleur évalue la situation conflictuelle, détermine la mesure à prendre et donne, si nécessaire, les instructions appropriées aux pilotes.

Afin de minimaliser les alarmes intempestives, le STCA est paramétré en fonction du type d'espace aérien qu'il dessert et des caractéristiques du trafic qui y évolue.

Dans l'espace aérien où s'est produit l'incident grave, le STCA est paramétré pour générer une alarme en cas de rapprochement de moins de 900 ft dans le plan vertical, si la prédiction de séparation pour le croisement se situe entre 4.9 NM et 2.5 NM. Si cette dernière est inférieure à 2.5 NM, le déclenchement de l'alarme intervient dès que la distance verticale devient inférieure à 1300 ft. Dans les deux cas, il faut encore que les aéronefs aient une vitesse verticale combinée positive.

Le STCA est également activé lorsque deux avions en palier convergent l'un vers l'autre et se trouvent à une distance verticale de moins de 750 ft.

A 10:44:59 UTC les distances entre EZY 899B et BER 17Z sont de 4.7 NM horizontalement et de 1194 ft verticalement, avec une prédiction de séparation de 0.72 NM. L'alerte STCA est activée aux places de travail du secteur de contrôle L5 alors qu'EZY 899B passe FL 358 en montée.

Lorsque l'équipage de conduite de BER 17Z effectue la manœuvre d'évitement vers le haut conseillée par le TCAS, la trajectoire de l'avion interfère avec celle de TOM 857 et provoque à 10:45:19 UTC l'activation du STCA aux secteurs L5 et L6. Les deux avions se trouvent à 5.1 NM et 825 ft l'un de l'autre.

### 1.8.4 Systèmes anticollision embarqués

#### 1.8.4.1 Modèle de pilote type<sup>11</sup>

*« Quelle que soit sa conception, l'ACAS<sup>[12]</sup> doit adopter certaines hypothèses à propos de la réaction du pilote, qui exerce une si grande influence sur l'efficacité du système. L'application ACAS décrite à la section 4 utilise un délai de 5 secondes pour réagir à un nouvel avis et a recours à une accélération verticale égale à 0.25 g pour atteindre la vitesse d'échappement. Le délai de réaction tombe à 2.5 s en cas de modification d'un avis. Il est possible que l'ACAS n'assure pas une séparation suffisante dans le plan vertical si le temps de réaction du pilote dépasse le délai de réaction pris en compte dans la conception de l'ACAS. »*

---

<sup>11</sup> Source : Annexe 10 à la Convention relative à l'aviation civile internationale, Télécommunication aéronautiques, Volume IV et Supplément, Systèmes radar de surveillance et systèmes anticollision

<sup>12</sup> ACAS : *airborne collision avoidance system*, système embarqué qui, au moyen des signaux du transpondeur de radar secondaire de surveillance (*secondary surveillance radar – SSR*) et indépendamment des systèmes sol, renseigne le pilote sur les aéronefs dotés d'un transpondeur SSR qui risquent d'entrer en conflit avec son aéronef

Plus précisément (section 4) :

« Le modèle de pilote type utilisé dans l'évaluation de la performance de la logique anticollision sera tel :

(....)

d) que quand un avis de résolution initial nécessite une modification du taux de variation d'altitude, l'aéronef réagit par une accélération de 0.25 g après un sur-sis de 5 s à partir de l'affichage de l'avis de résolution ;

(....)

h) que le délai utilisé quand un avis de résolution est modifié est de 2.5 s, (....). »

#### 1.8.4.2 Visualisation des trafics et affichage des avis de résolution

Les avions impliqués dans l'incident grave sont équipés de systèmes anticollision embarqués présentant les trafics, intrus et menaces TCAS sur l'écran de visualisation des paramètres de navigation (*navigation display – ND*). Une menace est symbolisée par un carré rouge accolé à une flèche verticale indiquant si elle monte ou descend. Sa distance verticale par rapport à l'avion est donnée en milliers de pieds.

Pour l'Airbus A320, les consignes d'évitement sont indiquées sur l'écran de visualisation des paramètres principaux de vol (*primary flight display – PFD*) par des bandeaux de couleurs gris-vert-rouge sur l'échelle du variomètre. Le secteur rouge est celui duquel il faut sortir, par une manœuvre dans le plan vertical.



**Figure 10** : visualisation en place gauche d'un avis de résolution « climb » sur les PFD et ND de l'A320

Pour le Boeing 737-800, les consignes d'évitement sont visualisées sur le PFD par un trapèze rouge délimitant la zone dont il faut sortir par une correction d'assiette. Elles sont en complément indiquées par des bandeaux de couleurs noir-rouge sur l'échelle du variomètre.



**Figure 11** : visualisation en place droite d'un avis de résolution « climb » sur les PFD et ND du Boeing 737-800

#### 1.8.4.3 Versions 7.0 et 7.1 du TCAS II

Depuis l'introduction en Europe (en 2000) de la version 7.0 du TCAS II, plusieurs cas de suivi incorrect de l'avis de résolution « *adjust vertical speed, adjust* » ont été répertoriés. Les pilotes augmentaient la vitesse verticale au lieu de la diminuer. De plus, des défauts dans la logique d'inversion des avis de résolution ont été mis en évidence dans certaines géométries de rencontre où deux avions convergeaient l'un vers l'autre au même niveau de vol.

Pour éviter les réactions incorrectes des pilotes, l'alerte parlée « *adjust vertical speed, adjust* » a été remplacée par « *level off, level off* » dans la nouvelle version 7.1 du TCAS II. Cet avis de résolution peut être émis en tant que RA initial ou comme un RA d'atténuation lorsque la distance verticale entre les avions en situation conflictuelle augmente.

En Europe, depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2005 tous les avions mus par une ou des turbines, d'une masse maximale au décollage de plus de 5 700 kg ou pouvant emporter plus de 19 passagers, doivent être équipés d'un TCAS II version 7.0.

Le 16 décembre 2011, la Commission européenne publia une modalité d'application (*Implementing Rule 13327/2011*) imposant l'emport de l'ACAS II version 7.1 dans l'espace aérien de l'Union européenne :

- à partir du 1<sup>er</sup> mars 2012 pour tous les avions d'une masse maximale au décollage supérieure à 5700 kg ou pouvant emporter plus de 19 passagers ;
- à l'exception des avions ayant un certificat de navigabilité établi avant le 1<sup>er</sup> mars 2012, qui devront être équipés au 1<sup>er</sup> décembre 2015.

#### 1.8.5 Transmissions descendantes Mode S

##### 1.8.5.1 Transmission descendante des avis de résolution ACAS, déclenchés à bord des avions impliqués dans l'incident grave

Lorsqu'un avis de résolution est déclenché, l'ACAS transfère à son transpondeur mode S, pour transmission au sol dans une réponse Comm-B<sup>13</sup>, un compte rendu d'avis de résolution. Les avis de circulation ne sont pas répertoriés.

<sup>13</sup> Comm-B : Réponse de 112 bits contenant le champ de message « MB » de 56 bits. Ce champ est utilisé dans les communications descendantes par les protocoles *standard length message* (SLM), les protocoles déclenchés au sol et les protocoles de message de diffusion



Le dépouillement de ces données a permis d'identifier les différents avis de résolution et leurs durées, émis à bord des trois avions impliqués dans l'incident grave. A chaque fois, le TCAS générant l'alarme a transmis un avis de résolution complémentaire restreignant le choix de manœuvres dont dispose le TCAS du ou des autres avions impliqués dans le conflit (processus de coordination).

Le premier avis de résolution est émis à bord d'EZY 899B à 10:45:02 UTC ; il n'est relatif qu'à la menace constituée par le vol BER 17Z, de type correctif vers le bas d'une durée de vingt-cinq secondes. Les indications correspondantes signalées à l'équipage de conduite sont l'alerte parlée « *level off, level off* » et l'apparition sur l'indicateur de vitesse verticale d'un bandeau rouge s'étendant de la limite supérieure de l'échelle jusqu'à 0 ft/min et d'un bandeau vert allant de 0 ft/min à -300 ft/min.

A 10:45:06 UTC, un avis de résolution relatif à cette menace est émis à bord de BER 17Z ; il est du type positif, correctif vers le haut et dure dix secondes. Les indications correspondantes signalées à l'équipage de conduite sont l'alerte parlée « *climb, climb* » et l'apparition sur l'indicateur de vitesse verticale d'un bandeau rouge s'étendant de la limite inférieure de l'échelle jusqu'à +1500 ft/min, surmonté d'un bandeau vert allant jusqu'à +2000 ft/min.

A 10:45:16 UTC, l'avis en cours « *climb, climb* » à bord de BER 17Z change en raison de la nouvelle menace constituée par TOM 857 ; il est du type correctif, exige une correction dans le sens de la descente et dure vingt-huit secondes. La logique de résolution de conflit ACAS traite actuellement et pendant les onze secondes suivantes les deux menaces simultanées EZY 899B et TOM 857. Les indications correspondantes signalées à l'équipage de conduite sont l'alerte parlée « *adjust vertical speed* » et l'apparition sur l'indicateur de vitesse verticale d'un bandeau rouge s'étendant de la limite supérieure de l'échelle jusqu'à 0 ft/min et d'un bandeau vert allant de 0 ft/min à -300 ft/min.

A 10:45:27 UTC la fin de la situation conflictuelle pour EZY 899B est signalée aux pilotes par le message parlé « *clear of conflict* ».

A 10:45:39 UTC, un avis de résolution relatif à la menace constituée par BER 17Z est émis à bord de TOM 857 ; il est du type préventif, ne dure qu'une seconde et est signalé à l'équipage de conduite par l'alerte parlée « *monitor vertical speed* ». Sur l'indicateur de vitesse verticale il est visualisé par un bandeau rouge s'étendant de 0 ft/min à la limite inférieure de l'échelle.

Dans la foulée, l'avis en cours change à 10:45:40 UTC pour devenir un avis de résolution positif, correctif vers le haut d'une durée de quatre secondes. Les indications correspondantes signalées à l'équipage de conduite sont l'alerte parlée « *climb, climb* » et l'apparition sur l'indicateur de vitesse verticale d'un bandeau rouge s'étendant de la limite inférieure de l'échelle jusqu'à +1500 ft/min, surmonté d'un bandeau vert allant jusqu'à +2000 ft/min.

A 10:45:44 UTC la fin de la situation conflictuelle entre BER 17Z et TOM 857 est signalée aux pilotes par le message parlé « *clear of conflict* ».

#### 1.8.5.2 Transmission descendante de paramètres de vol pertinents

A bord d'EZY 899B, la consigne de monter au FL 380 a été introduite dans le système de commandes automatiques de vol à 10:44:05 UTC.

1.8.6 Reconstitution des trajectoires des avions impliqués dans l'incident grave

Sur la base des enregistrements des tracés radar, les trajectoires 3D des avions impliqués dans l'incident grave ont été reconstituées dans le repère des coordonnées ATM *surveillance tracker and server* (ARTAS) à la cadence des cinq secondes du taux de rafraîchissement du radar de la Dôle. Des projections sur les plans horizontal et vertical sur lesquelles ont été reportés les avis de résolution permettent de mettre en évidence la dynamique du conflit.

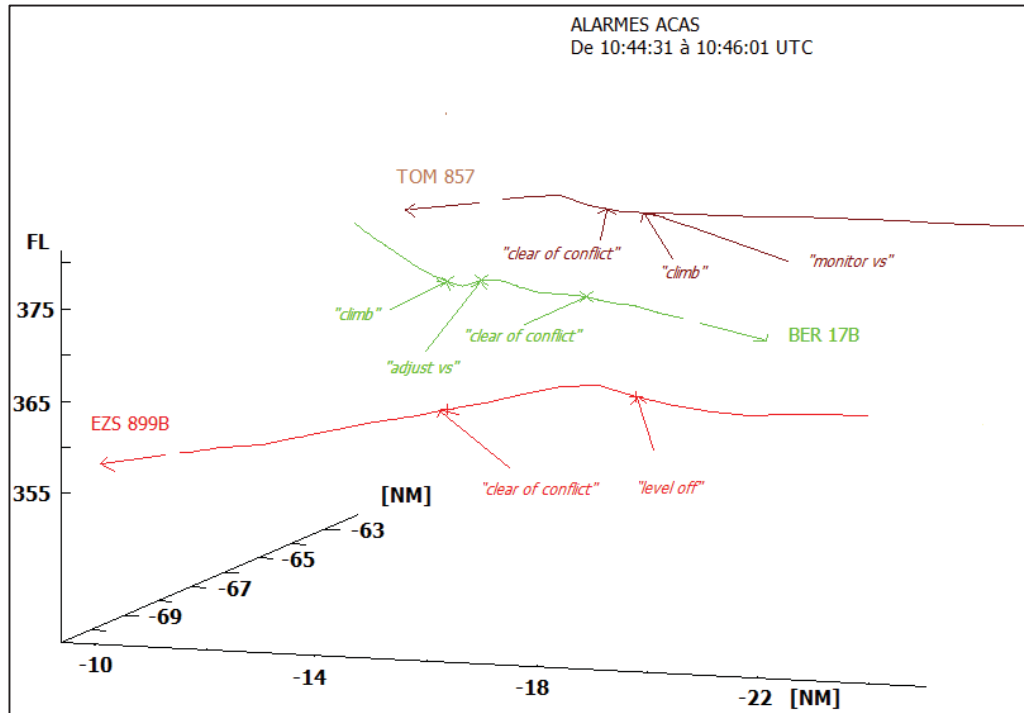


Figure 12 : représentation 3D des trajectoires avec alarmes ACAS

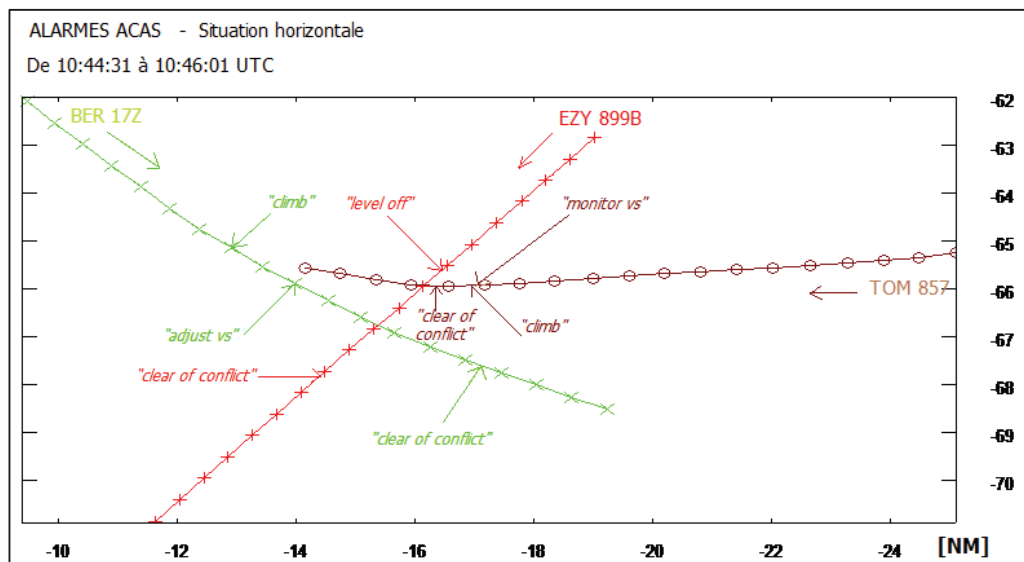
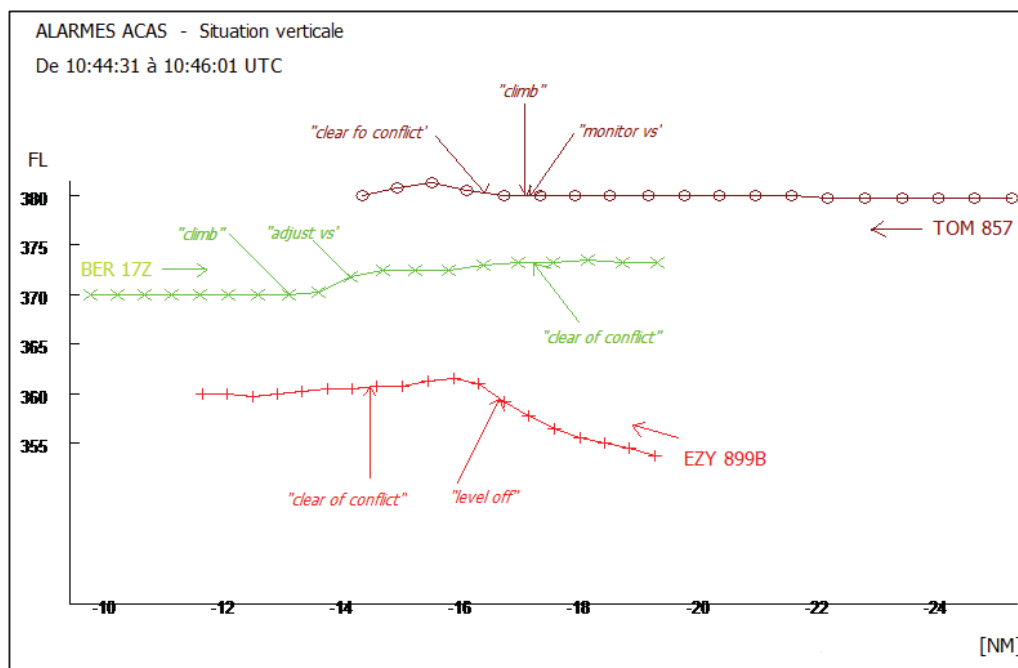


Figure 13 : projection des trajectoires sur le plan horizontal avec alarmes ACAS



**Figure 14** : projection des trajectoires sur le plan vertical avec alarmes ACAS

### 1.8.7 Dépositions des contrôleurs de la circulation aérienne

Les contrôleurs RE et RP en fonction aux secteurs L5 et L6 au moment de l'incident grave ont été entendus pour les besoins de l'enquête.

#### 1.8.7.1 Secteur de contrôle L5

Les contrôleurs du secteur L5 ont jugé que la charge de travail était moyenne à élevée avec une complexité du trafic importante, demandant en particulier beaucoup de coordinations téléphoniques.

Le contrôleur RE du secteur L5 a précisé qu'il y avait un trafic conséquent au FL 370, avec des séparations à résoudre et des séquences à réaliser. Il a expliqué que lorsqu'EZY 899B a pris pour la première fois contact avec lui, il n'a pas pu le faire monter au FL 360 en raison d'un autre trafic stable à ce niveau qui devait d'abord le croiser. Ceci fait, il a autorisé EZY 899B au FL 360 mais n'a pas obtenu de collationnement ; il l'a donc rappelé quelques secondes plus tard pour répéter l'autorisation.

Pendant et à la suite du conflit, il n'a à aucun moment douté avoir donné le FL 360 lors de la seconde autorisation. Ce n'est que plus tard, lorsqu'il a écouté l'enregistrement des conversations radiotéléphoniques relatives à l'incident grave qu'il a réalisé qu'il s'était trompé de niveau de vol.

Le contrôleur RE ne pense pas que son collègue RP lui ait communiqué la révision du niveau de sortie FL 380 en niveau coordonné FL 360 pour EZY 899B. Il croit donc avoir vu directement ce dernier niveau sur l'étiquette radar et ne se souvient pas avoir vu initialement le niveau de sortie FL 380.

Le contrôleur RP du secteur L5 a déclaré qu'il pensait avoir fermé la boucle de contre vérification (*close the loop*, cf. chapitre 1.7.3) lorsque son collègue RE a autorisé EZY 899B à monter au FL 360. Il a été ensuite occupé par des coordinations téléphoniques et l'alerte STCA l'a surpris. Dans un premier temps il a pensé à une alarme intempestive déclenchée par le taux de montée d'EZY 899B; pour lui ce dernier avait été autorisé au FL 360, comme il le voyait



sur l'étiquette radar et comme il l'avait entendu. Il a pris conscience qu'une erreur avait été commise lorsque le pilote d'EZY 899B a annoncé qu'il était autorisé au FL 380.

#### 1.8.7.2 Secteur de contrôle L6

Les contrôleurs du secteur L6 ont jugé que la charge et la complexité du trafic étaient moyennes.

Le contrôleur RP du secteur L6 a expliqué que son collègue RE et lui-même n'avaient été témoins que du conflit opposant BER 17Z et TOM 857. Ce n'est qu'après en avoir discuté peu après avec leurs collègues du secteur L5 qu'ils ont compris qu'un troisième vol, EZY 899B, invisible sur leurs consoles radar était impliqué dans l'incident grave.

#### 1.8.8 Enregistrement des conversations téléphoniques au secteur L5

Le contrôleur RP du secteur L5 effectuait une coordination téléphonique avec le centre de contrôle de Zurich entre 10:43:54 et 10:44:03 UTC.

#### 1.8.9 Informations pertinentes extraites des ASR et des rapports des compagnies impliquées dans l'incident grave

##### 1.8.9.1 EZY 899B

Les données embarquées utilisées dans l'enquête subsidiaire effectuée par la compagnie Easyjet ont permis de déterminer que l'avis de circulation (*traffic advisory* – TA) relatif à la rencontre TCAS avec BER 17Z avait été émis environ trois secondes avant l'avis de résolution « *level off* ».

##### 1.8.9.2 BER 17Z

L'équipage de conduite de BER 17Z a rempli un ASR suite à l'incident grave. Au niveau des alarmes TCAS, seul y est mentionné qu'un avis de résolution correctif « *climb* » a été émis immédiatement après un avis de circulation « *traffic* ». Les pilotes ont situé l'intrus à leurs 9 heures, à une distance de 4 NM, en montée et ayant atteint FL 363. Ils ont mentionné qu'ils n'en n'avaient pas eu l'acquisition visuelle.

##### 1.8.9.3 TOM 857

Dans l'ASR qu'ils ont rempli suite à de l'incident grave, les pilotes de TOM 857 rapportent avoir entendu un avis de circulation relatif à un intrus qu'ils ont vu à leurs 11 heures sur les ND. Ce dernier se trouvait 800 ft plus bas et montait lentement. L'avis de résolution qui a suivi a été « entendu » « *monitor vertical speed* » et vu comme « une boîte rouge » commandant une montée: « *We received a TCAS RA 'Monitor Vertical Speed' with the red box commanding a climb* ». La manœuvre d'évitement exécutée en pilotage manuel est ensuite décrite en relevant que le message parlé TCAS « *clear of conflict* » a été émis très rapidement.

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

10:45:20 UTC : alors qu'il est au cap 352°, le mode HDG au cap 040° est engagé ;

10:45:38 UTC : alors que le cap passe par la valeur 355°, un avis de résolution est émis pendant six secondes ;

10:45:40 UTC : le pilote automatique et les automanettes sont désengagés ;

10:45:54 UTC : le virage est interrompu au cap 010°.

## 2 Analyse

### 2.1 Aspects relatifs au contrôle aérien

#### 2.1.1 Pertes de séparation

Deux pertes de séparation successives ont eu lieu, d'abord entre EZY 899B et BER 17Z, puis entre ce dernier et TOM 857. Elles ont été provoquées par des causes différentes.

Avant l'incident grave, le FL 380 attribué à EZY 899B ne pouvait pas être autorisé en raison du croisement prévu dans la région de MOLUS avec BER 17Z en croisière au FL 370 et TOM 857 au FL 380. En modifiant le niveau de sortie d'EZY 899B au FL 360, le contrôleur RP du secteur L5 évitait que ce vol n'interfère avec les deux autres trafics. Cette géométrie réunissant convergence, vitesses élevées et séparation verticale minimale entre les avions, présentait ainsi un potentiel sensible de déclenchement des filets de sauvegardes STCA et TCAS, en cas d'écart vertical entre FL 360 et FL 380.

La première perte de séparation a eu lieu à 10:45:05 UTC, alors qu'EZY 899B passait au travers du FL 360 en rapprochement de BER 17Z. C'est l'autorisation, donnée par erreur, de monter au FL 380 qui est à l'origine de ce premier conflit.

La seconde perte de séparation s'est produite à 10:45:20 UTC entre TOM 857 au FL 380 et BER 17Z alors que ce dernier avait quitté son niveau de vol de croisière FL 370 en réponse à un avis de résolution correctif de montée.

#### 2.1.2 L'autorisation conflictuelle du niveau FL 380

Le contrôleur RE du secteur L5 n'a pu expliquer pourquoi il a autorisé EZY 899B au niveau de vol conflictuel FL 380. Si ce dernier avait été attribué volontairement, en plus d'une coordination avec le secteur L6 il aurait dû faire l'objet d'entrées supplémentaires dans le système ATM. D'autre part, à l'annonce ATC de l'avis de résolution par le pilote, la première réaction du contrôleur RE a été de lui justifier cette alarme par le fait qu'il avait été autorisé au FL 360. Ce n'est qu'à l'écoute de l'enregistrement des conversations radiotéléphoniques relatives à l'incident grave qu'il réalisa avoir donné le niveau conflictuel FL 380.

Comme il s'agit d'une erreur inconsciemment commise, il convient d'en mentionner les éléments potentiellement déclencheurs.

Pour pouvoir être attribué de manière inconsciente, le niveau FL 380 devait faire partie des options possibles du contrôleur RE ou résider dans sa mémoire, associé à EZY 899B. Au moment de l'incident grave, les secteurs L5 et L6 avaient déjà été dégroupés depuis une vingtaine de minutes et le FL 380 ne faisait plus partie du secteur L5 pour constituer encore une option.

A son apparition sur les écrans radar du secteur L5, l'étiquette radar d'EZY 899B affichait le niveau de sortie FL 380. Il est possible que le contrôleur RE l'ait vu avant que la révision en niveau coordonné FL 360 n'ait été effectuée et qu'une association mentale marquante entre EZY 899B et FL 380 n'ait eu lieu. Dans la phase de travail soutenue et stressante qui prévalait au moment de l'incident grave, cette valeur a pu être inconsciemment restituée alors que l'autorisation de monter était donnée une deuxième fois à EZY 899B.

Au niveau du travail d'équipe, les éléments contenus dans la déposition du contrôleur RP permettent de comprendre comment le niveau FL 380 a été attribué par erreur.

L'évènement s'est déroulé en deux temps :

- la première autorisation de monter au FL 360 a été clairement entendue par le contrôleur RP, qui l'a confirmée en fermant la boucle de contre-vérification (*close the loop*, cf. chapitre 1.7.3). Les données radar attestent de cette action. L'équipage de conduite d'EZY 899B n'a pas collationné cette « clairance », probablement par inattention ;

- dans un deuxième temps, le contrôleur RE a donné à nouveau l'autorisation de monter, attribuant cette fois le niveau conflictuel FL 380. Le contrôleur RP effectuait à ce moment une coordination téléphonique avec le centre de contrôle de Zurich et n'a donc pas pu relever l'erreur.

### 2.1.3 Réactions des contrôleurs

L'application d'une systématique de travail ayant recours à la boucle visuelle de contrôle des données radar a permis au contrôleur RE du secteur L5 de se rendre compte de son erreur avant le déclenchement du STCA. Il a rapidement réagi et donné l'ordre de maintenir FL 360 au moment-même où survenait l'alarme du filet de sauvegarde.

Au secteur L6, l'activation du STCA relative au conflit entre BER 17Z et TOM 857 a fait apparaître l'étiquette radar du premier sur les écrans de contrôle. Le contrôleur RE a immédiatement réagi en donnant un cap radar d'évitement et une information de trafic essentiel à TOM 857 qui se trouvait sur sa fréquence de travail. Le fait que les trois avions impliqués dans le conflit ne se trouvaient pas dans le même secteur de contrôle n'a pas joué de rôle dans l'incident grave.

Les géométries de rencontre convergentes de cet incident grave ont activé les filets de sauvegarde STCA et TCAS de manière simultanée, avec des préavis courts. Ceci n'a pas affecté les réactions des contrôleurs qui ont donné des autorisations cohérentes avec les manœuvres d'évitement proposées par les TCAS.

## 2.2 Aspects relatifs à la conduite des vols

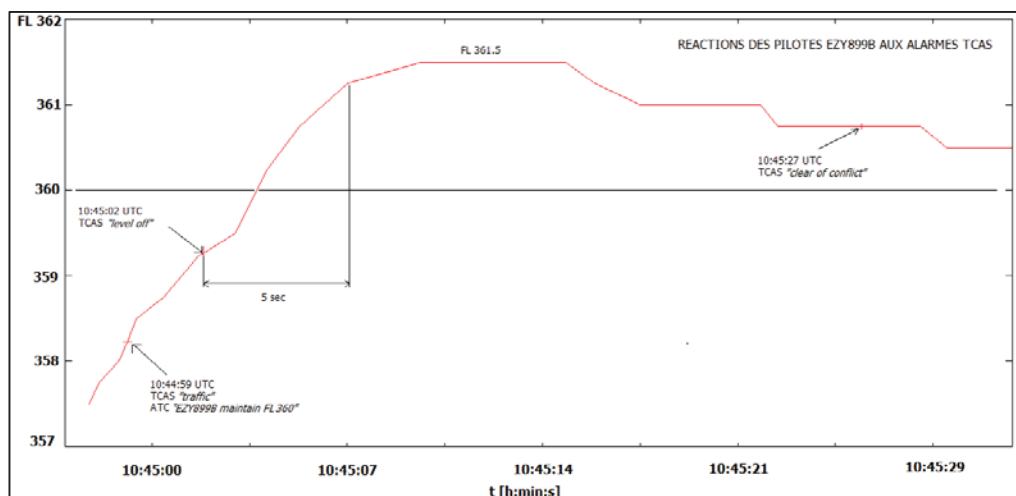
### 2.2.1 Réactions des pilotes aux alarmes TCAS

#### 2.2.1.1 EZY 899B

L'équipage de conduite d'EZY 899B a introduit le niveau FL 380 dans le système de commandes automatiques de vol à 10:44:05 UTC, à savoir pendant le collationnement de l'autorisation de monter à ce niveau. L'instruction précédente de monter à FL 360 n'a pas fait l'objet d'une réponse des pilotes. Il est cohérent qu'elle n'ait pas été suivie d'une action sur le système de commandes automatiques de vol.

A 10:44:59 UTC, le contrôleur RE du secteur L5 a ordonné à l'équipage de conduite d'EZY 899B de maintenir FL 360. Au même moment, l'avis de circulation émis par le système anticollision embarqué a signalé que l'intrus BER 17Z constituait une menace possible. L'avis de résolution « *level off* » a eu lieu trois secondes plus tard, également pendant le message radiotéléphonique. Cette simultanéité a constitué un élément perturbateur quant à la réaction de l'équipage de conduite aux alarmes. Néanmoins et malgré un préavis de circulation court, cette dernière a été conforme au modèle de pilote type de la logique anticollision puisque la manœuvre d'évitement proposée a été initiée cinq secondes après l'avis de résolution correctif. La trajectoire de l'avion montre ensuite une réduction constante du taux de montée passant de 2200 ft/min à environ -300 ft/min, conformément aux indications TCAS signalées sur l'indicateur

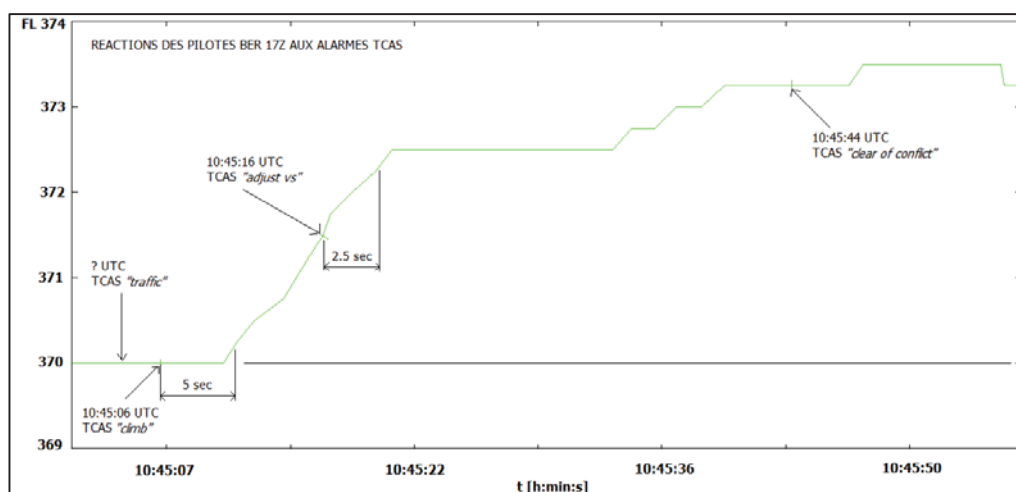
de vitesse verticale. L'avion ne s'est écarté que de 150 ft du niveau de vol FL 360.



**Figure 15** : niveau de vol d'EZY 899B en fonction du temps: réaction des pilotes aux alarmes TCAS

### 2.2.1.2 BER 17Z

Pendant le délai de réaction des pilotes d'EZY 899B à l'alarme « *level off* », l'avion était sur sa trajectoire de montée au taux d'environ 2200 ft/min, ce qui a contribué à déclencher à bord de BER 17Z un avis de circulation suivi immédiatement de l'avis de résolution « *climb* ». Son équipage de conduite a réagi dans un délai de cinq secondes et a adopté la vitesse verticale de montée requise par le TCAS. Cette manœuvre d'évitement a positionné l'avion dans une situation conflictuelle avec TOM 857, provoquant l'émission de l'avis de résolution « *adjust vertical speed* » dirigé cette fois vers le bas. Les pilotes de BER 17Z ont réagi correctement à cette inversion de sens, puisqu'après deux secondes et demie le taux de montée a été réduit graduellement vers 0 ft/min. Ces manœuvres TCAS doivent être effectuées en pilotage manuel car sur les types d'avion impliqués dans l'incident grave, le système de commandes automatiques de vol n'est pas conçu pour réagir assez rapidement. Les écarts minimes de trajectoire constatés juste avant la fin du conflit « *clear of conflict* » sont dus à la difficulté de maintenir avec précision des paramètres de vol à des altitudes et vitesses élevées.



**Figure 16** : niveau de vol de BER 17Z en fonction du temps : réactions des pilotes aux alarmes TCAS

En ce qui concerne les alarmes TCAS, l'ASR rempli par les pilotes de BER 17Z ne fait état que de l'avis de résolution « *climb* » déclenché par un intrus situé de manière relative à 9 heures, à une distance de 4 NM et 700 ft plus bas. Il est peu probable que l'équipage de conduite ait réalisé qu'un deuxième intrus, TOM 857, soit intervenu dans la géométrie de rencontre qui a déclenché l'avis de résolution « *adjust vertical speed* ». Cette alarme a certainement été interprétée comme l'atténuation de la première consigne « *climb* » dont l'intrus (EZY 899B) était situé à ce moment à midi sur les ND de BER 17Z. Ce dernier, en éloignement vers l'arrière droite, est resté encore symbolisé en tant que tel pendant onze secondes, détournant l'attention des pilotes du nouvel intrus TOM 857, situé à gauche sur l'écran de navigation.

Lors d'une manœuvre d'évitement TCAS, le pilote aux commandes (*pilot flying* – PF) déclenche le pilote automatique et suit les consignes indiquées sur son PFD. Cette tâche demande beaucoup de concentration sur cet instrument et ne permet en général pas de surveiller le ou les intrus sur le ND. Pour assister son collègue dans ses actions d'évitement, le pilote monitoring (*pilot monitoring* – PM) regarde aussi son PFD.

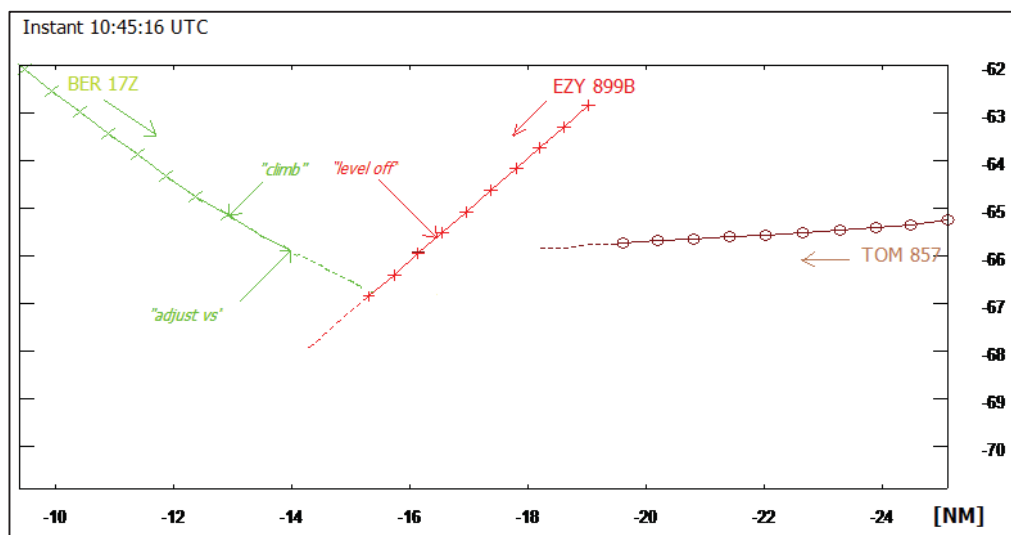


Figure 17: 10:45:16 UTC: intrus EZY 899B et TOM 857 pour BER 17Z

### 2.2.1.3 TOM 857

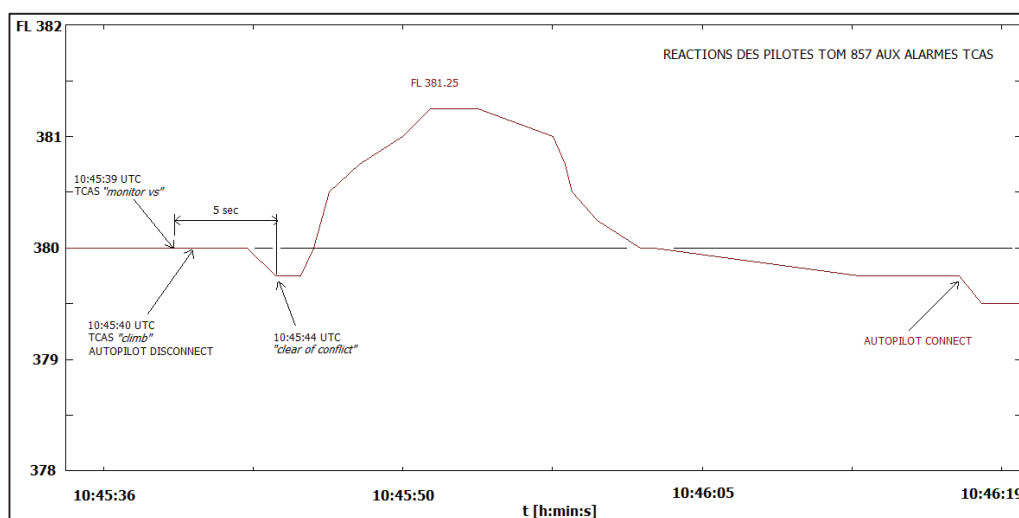
Sur les PFD, l'avis « *monitor vertical speed* », présente, puisqu'il est préventif, une situation où la maquette de l'avion se trouve hors du trapèze rouge relatif à la manœuvre d'évitement verticale. Par contre, pour l'avis correctif « *climb, climb* » elle se trouve à l'intérieur, indiquant aux pilotes qu'un changement d'assiette vers le haut doit être effectué.



**Figure 18** : avis de résolution préventif « *monitor vertical speed* » à gauche et correctif « *climb, climb* » à droite

A bord de TOM 857, la succession de ces deux alarmes et de l'annonce de fin de conflit n'a duré que cinq secondes, c'est-à-dire l'équivalent du délai de réaction du modèle de pilote type utilisé dans l'évaluation de la performance de la logique anticollision. Les pilotes ont réagi cinq secondes après l'apparition du premier avis, au moment même de l'annonce de fin de conflit. Alors qu'elle n'avait donc plus lieu d'être, la réaction a consisté en un écart d'une centaine de pieds vers le haut, avec une accentuation du virage à droite ordonnée quelques secondes plus tôt par le contrôleur aérien. Elle répond à la dernière consigne de manœuvre verticale d'évitement « *climb* » apparue sur les PFD et peut être expliquée par l'effet du stress occasionné chez les pilotes par les alarmes TCAS.

Le temps de réaction des pilotes a été conforme à celui prévu par la logique anticollision et l'écart de trajectoire fût minime.



**Figure 19** : niveau de vol de TOM 857 en fonction du temps: réaction des pilotes aux alarmes TCAS



### 2.3 Sécurité du transport aérien

La sécurité du transport aérien repose sur une structure cohérente de l'espace contrôlé, géré et utilisé par des personnes compétentes, disposant de systèmes et d'outils de travail performants visant entre autres à réduire les possibilités d'erreurs humaines. Des filets de sauvegarde tels que STCA et TCAS permettent de parer à ces dernières.

Même si les efforts pour la réduire sont constants, l'erreur humaine ne pourra pas être complètement écartée du système de sécurité dans son ensemble. Néanmoins, comme le montre ce cas d'incident grave, les systèmes mis en place pour y faire face sont efficaces. Le fait qu'il se soit déroulé dans deux secteurs de contrôle différents n'a pas joué de rôle. Grâce à une bonne systématique de travail le contrôleur RE du secteur L5 a décelé son erreur et réagi de manière appropriée. Les filets de sauvegarde ont rempli leur rôle. Les équipages de conduite ont suivi correctement les manœuvres d'évitement proposées par leur TCAS malgré des préavis courts dictés par une géométrie de rencontres convergente.

A ce propos, on relèvera qu'à chaque fois les réactions aux alarmes TCAS ont débuté conformément aux sursis prévus par le modèle de pilote type utilisé dans l'évaluation de la performance de la logique anticollision.

### 3 Conclusions

#### 3.1 Faits établis

##### 3.1.1 Cadre général

- Les secteurs L5 et L6 ont été dégroupés une vingtaine de minutes avant l'incident grave.
- EZY 899B était initialement intégré dans le système de gestion du trafic aérien ATM avec un niveau de sortie prévu au FL 380.
- Alors qu'EZY 899B se trouvait à proximité d'AOSTA, le contrôleur RP du secteur L5 a décidé d'abaisser son niveau de sortie au FL 360 pour des raisons de trafic.

##### 3.1.2 Aspects techniques

- Les trois avions impliqués dans l'incident grave étaient équipés de systèmes anticollision embarqués TCAS qui ont émis des alarmes cohérentes avec les géométries des rencontres.
- Les secteurs de contrôle L5 et L6 étaient équipés d'avertisseurs de conflit à court terme STCA qui ont émis des alarmes cohérentes avec les géométries de rencontres.
- L'enquête n'a révélé aucune défectuosité ayant pu contribuer ou provoquer l'incident grave.

##### 3.1.3 Contrôleurs de la circulation aérienne

- Les contrôleurs de la circulation aérienne des secteurs L5 et L6 étaient titulaires de licences adéquates.
- Aucun élément n'indique qu'ils aient été affectés dans leur état de santé lors de l'incident grave.
- Les contrôleurs du secteur L5 ont jugé que la charge de travail était moyenne à élevée, avec une complexité du trafic importante.
- Les contrôleurs du secteur L6 ont jugé que la charge et la complexité du trafic étaient moyennes.
- Le contrôleur RE du secteur L5 était persuadé d'avoir attribué FL 360 lors de la seconde autorisation.

##### 3.1.4 Déroulement de l'incident grave

- A 10:43:51 UTC, EZY 899B est autorisé par le contrôleur RE du secteur L5 à monter au FL 360 ; l'instruction n'est pas collationnée par son équipage de conduite.
- A 10:43:59 UTC, EZY 899B est autorisé par le contrôleur RE du secteur L5 à monter au FL 380 ; l'instruction est collationnée par son équipage de conduite.
- La perte de séparation entre EZY 899B et BER 17Z a eu lieu de 10:45:05 à 10:45:15 UTC. Le rapprochement maximal a eu lieu à 10:45:10 UTC alors que les avions se trouvaient à 2.6 NM et 850 ft l'un de l'autre.



- La perte de séparation entre BER 17Z et TOM 857 a eu lieu de 10:45:19 à 10:45:57 UTC. Le rapprochement maximal a eu lieu à 10:45:40 UTC alors que les avions se trouvaient à 1.5 NM et 675 ft l'un de l'autre.
- A 10:45:25 UTC le contrôleur du secteur L6 enjoint TOM 857 de tourner immédiatement au cap 040° puis dans la foulée au cap 030°.

### 3.2 Cause

L'incident grave est dû à une perte de séparation entre un avion en montée autorisé par erreur au FL 380 et un appareil qui croisait sur une route perpendiculaire au FL 370. La manœuvre d'évitement vers le haut entamée par ce dernier a provoqué une seconde perte de séparation avec un troisième avion qui se trouvait sur une route de sens opposé au FL 380.

#### 4 **Recommandations de sécurité, avis concernant la sécurité et mesures prises après l'incident grave**

##### 4.1 **Recommandations de sécurité**

Aucune

##### 4.2 **Avis concernant la sécurité**

Aucun

##### 4.3 **Mesures prises après l'incident grave**

###### 4.3.1 **Système EHS CLAM**

La fonction d'alerte *enhanced cleared level adherence monitoring* (EHS CLAM) est devenue opérationnelle aux positions de contrôle de l'ACC Genève le 9 novembre 2013. Elle surveille la conformité du niveau de vol autorisé (*cleared flight level* – CFL) avec celui introduit par l'équipage de conduite dans le système de commandes automatiques de vol (*selected altitude* – Sel.Alt). Tout écart entre ces deux valeurs est signalé au contrôleur de la circulation aérienne après douze à seize secondes (quatre rafraîchissements de l'image radar) suivant l'instant auquel le niveau est sélectionné.

Remarque du SESE :

Si ce système avait été opérationnel au moment de l'incident grave, le contrôleur RE du secteur L5 aurait été avisé de son erreur une quarantaine de secondes plus tôt.

Payerne, 27 avril 2016

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, 12 mai 2016*