



Incident grave  
survenu en vol le 23 mars 2003  
aux avions immatriculés  
F-GPMF et F-GHQA  
exploités par Air France

**RAPPORT**  
**f-mf030323**  
**f-qa030323**

## A V E R T I S S E M E N T

*Ce rapport exprime les conclusions du BEA sur les circonstances et les causes de cet incident.*

*Conformément à l'Annexe 13 à la Convention relative à l'aviation civile internationale, à la Directive 94/56/CE et au Code de l'Aviation civile (Livre VII), l'enquête n'est pas conduite de façon à établir des fautes ou à évaluer des responsabilités individuelles ou collectives. Son seul objectif est de tirer de cet événement des enseignements susceptibles de prévenir de futurs accidents.*

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

# Table des matières

<b>AVERTISSEMENT .....</b>	<b>2</b>
<b>GLOSSAIRE .....</b>	<b>5</b>
<b>SYNOPSIS .....</b>	<b>7</b>
<b>1 - RENSEIGNEMENTS DE BASE.....</b>	<b>8</b>
<b>1.1 Déroulement des vols .....</b>	<b>8</b>
<b>1.2 Tués et blessés.....</b>	<b>12</b>
<b>1.3 Dommages aux aéronefs .....</b>	<b>12</b>
<b>1.4 Autres dommages .....</b>	<b>12</b>
<b>1.5 Renseignements sur le personnel .....</b>	<b>12</b>
1.5.1 Equipages de conduite .....	12
1.5.2 Personnel du contrôle .....	14
<b>1.6 Renseignements sur les aéronefs .....</b>	<b>15</b>
1.6.1 F-GPMF .....	15
1.6.2 F-GHQA.....	15
1.6.3 Système ACAS .....	16
1.6.4 Générateur de symboles.....	21
<b>1.7 Conditions météorologiques .....</b>	<b>21</b>
<b>1.8 Aides à la navigation.....</b>	<b>21</b>
<b>1.9 Télécommunications.....</b>	<b>21</b>
<b>1.10 Renseignements sur l'aérodrome.....</b>	<b>22</b>
<b>1.11 Enregistreurs de bord .....</b>	<b>22</b>
1.11.1 Types et opérations de lecture.....	22
1.11.2 Exploitation des paramètres .....	22
<b>1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact.....</b>	<b>23</b>
<b>1.13 Renseignements médicaux et pathologiques.....</b>	<b>23</b>
<b>1.14 Incendie.....</b>	<b>23</b>
<b>1.15 Questions relatives à la survie des occupants.....</b>	<b>23</b>

<b>1.16 Essais et recherches.....</b>	<b>24</b>
1.16.1 Enregistrement radar .....	24
1.16.2 Simulation des affichages en poste de pilotage.....	25
1.16.3 Simulation du fonctionnement du TCAS .....	27
1.16.4 Evénements comparables .....	29
1.16.5 Réduction de la vitesse verticale .....	32
<b>1.17 Renseignements sur les organismes et la gestion .....</b>	<b>34</b>
1.17.1 Air France .....	34
1.17.2 L'organisme du contrôle.....	40
<b>1.18 Renseignements supplémentaires .....</b>	<b>42</b>
1.18.1 Synthèse des témoignages.....	42
1.18.2 Ergonomie et Facteur Humain.....	47
1.18.3 Certification des systèmes TCAS.....	53
1.18.4 Evaluation OACI .....	54
1.18.5 Projet EMOTION-7.....	54
<b>2 - ANALYSE.....</b>	<b>55</b>
<b>2.1 Chronologie de l'incident .....</b>	<b>55</b>
<b>2.2 Analyse des aspects systémiques .....</b>	<b>57</b>
2.2.1 Entraînement au simulateur .....	57
2.2.2 Procédure TCAS Adjust Vertical Speed.....	58
2.2.3 Capture d'altitude.....	58
2.2.4 Ergonomie de l'affichage des RA sur le PFD .....	59
2.2.5 Formation des contrôleurs aériens aux procédures TCAS .....	59
<b>3 - CONCLUSIONS.....</b>	<b>60</b>
<b>3.1 Faits établis par l'enquête .....</b>	<b>60</b>
<b>3.2 Causes de l'incident.....</b>	<b>61</b>
<b>4 - RECOMMANDATIONS DE SECURITE.....</b>	<b>62</b>
<b>4.1 Entraînement aux procédures d'urgence TCAS .....</b>	<b>62</b>
<b>4.2 Description de la procédure Adjust Vertical Speed .....</b>	<b>62</b>
<b>4.3 Capture d'altitude lors des stabilisations à mille pieds .....</b>	<b>63</b>
<b>4.4 Ergonomie de la présentation des informations TCAS.....</b>	<b>63</b>
<b>LISTE DES ANNEXES .....</b>	<b>65</b>

# Glossaire

A/THR	Système d'auto-poussée
AC	Circulaire
ACAS	Système embarqué d'évitement des abordages
AESA	Agence européenne de la sécurité aérienne
AF	Air France
AIRPROX	Air Proximité
AP	Pilote automatique
ATC	Contrôle du trafic aérien
ATM	Gestion du trafic aérien
BNA	Bureau national Airprox
CdB	Commandant de bord
CENA	Centre d'études de la navigation aérienne
CNSCA	Commission nationale de sécurité de la circulation aérienne
CPA	Point de rapprochement maximal
CRNA/E	Centre régional de la navigation aérienne est
CRNA/SE	Centre régional de la navigation aérienne sud-est
CVR	Enregistreur phonique
DGAC	Direction générale de l'aviation civile
DMC	Ordinateur de gestion des écrans
DNA	Direction de la navigation aérienne
EFIS	Système d'instruments de vol électronique
EIS	Système d'instruments électronique
ENAC	Ecole nationale de l'aviation civile
FAA	Federal Aviation Administration
FCOM	Manuel d'utilisation constructeur
FCU	Boîtier de contrôle du vol
FD	Directeur de vol
FDR	Enregistreur de paramètres
FFS	Simulateur de vol à base mobile
FL	Niveau de vol
FMA	Annonciateur de mode
Ft	Pieds
FTD	Entraîneur au vol
GPS	Système de positionnement global
GPWS	Système d'avertissement de la proximité du sol
hPa	Hectopascal
ILS	Système d'atterrissement aux instruments
IMC	Conditions météorologiques de vol aux instruments
JAA	Autorités communes des aviations civiles
Kt	Nœuds
LAA	Laboratoire d'anthropologie appliquée
MHz	Mégahertz
MITRE	Massachusetts Institute of Technology
MMO	Nombre de Mach maximal en opération

NASA	National Aeronautics and Space Administration
ND	Ecran de navigation
NDB	Radiophare non directionnel
NM	Mille marin
OACI	Organisation de l'aviation civile internationale
OPS	Procédures de vol
OSCAR	Off line Simulator for Collision Avoidance Resolution
PA	Pilote automatique
PANS	Procédures pour les services de navigation aérienne
PC	Premier contrôleur
PF	Pilote en fonction
PFD	Affichage des informations primaires de vol
PNC	Equipage de cabine
PNF	Pilote non en fonction
PNT	Equipage de conduite
QAR	Enregistreur de maintenance
QRH	Quick Reference Hand book
RA	Avis de résolution
RCA	Règlement de la circulation aérienne
rita	Replay Interface for TCAS Alerts
RSFTA	Réseau du service fixe des télécommunications aéronautiques
RTCA	Radio Technical Commission for Aeronautics, Inc.
RVSM	Minimums de séparation verticale réduite
SCTA	Service du contrôle de la circulation aérienne
TA	Avis de trafic (ou avis de circulation)
TCAS	Système embarqué d'évitement des abordages
TRM	Gestion des ressources en équipe
TRTO	Organisme de formation à la qualification de type
TSO	Technical Standard Order (USA)
UTC	Temps universel coordonné
V/S	Vitesse verticale
VHF	Très haute fréquence (30 à 300 MHz)
VMO	Vitesse maximale en opération
VOR	Radiophare omnidirectionnel

## S Y N O P S I S

### Date de l'incident

Dimanche 23 mars 2003  
à 20 h 00<sup>(1)</sup>

### Aéronef

1. Airbus A319-113 immatriculé F-GPMF  
Indicatif radio AF053UL
2. Airbus A320-211 immatriculé F-GHQA  
Indicatif radio AF048JP

### Lieu de l'incident

4 NM au nord-ouest du VOR MTL  
de Montélimar (26)

### Propriétaire

1. Air France
2. Air France

### Nature du vol

1. Transport public de passagers  
Vol régulier AF6053
2. Transport public de passagers  
Vol régulier AF6048

### Exploitant

1. Air France
2. Air France

### Personnes à bord

1. 2 PNT, 4 PNC, 145 passagers
2. 2 PNT, 4 PNC, 173 passagers

### Résumé

Sur le trajet Marseille - Paris Orly, l'AF053UL est en montée vers le niveau de vol 260 conformément à la clairance du contrôle aérien. Son TCAS émet un avis de trafic relatif à un avion situé au-dessus sur une route opposée. Dix-huit secondes plus tard, un avis de résolution Adjust Vertical Speed se déclenche, invitant l'équipage à réduire sa vitesse verticale. Le pilote augmente l'assiette de l'avion.

Le trafic opposé est l'AF048JP, stable au niveau de vol 270 sur le trajet Paris Orly - Marseille. Environ dix secondes après le déclenchement du RA de l'AF053UL, un avis de résolution Climb est émis à bord de l'AF048JP. Il est suivi par l'équipage.

Lors du croisement, chacun des deux équipages voit l'autre avion. Le pilote de l'AF053UL effectue un virage d'évitement à gauche. Les enregistrements des paramètres de vol permettent d'estimer les écarts latéraux et verticaux minimums respectivement à environ 0,8 NM et 300 ft.

Blessures	Membres d'équipage	Passagers	Autres personnes
Mortelles			
Graves			
Légères/aucune	12	318	

<sup>(1)</sup> Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en temps universel coordonné (UTC). Il convient d'y ajouter une heure pour obtenir l'heure en vigueur en France métropolitaine le jour de l'événement.

# 1 - RENSEIGNEMENTS DE BASE

## 1.1 Déroulement des vols

Heure UTC	Vol AF6053	Vol AF6048
19 h 15 min		L'AF048JP décolle de Paris Orly à destination de Marseille. Le copilote est PF.
19 h 48 min	L'AF053UL décolle de Marseille à destination de Paris Orly. Le commandant de bord est PF.	
19 h 54 min 05 s		L'équipage contacte le secteur W1 de Marseille Contrôle et annonce « Stable deux sept zéro Mach soixante-dix-huit » <sup>(2)</sup> . Marseille Contrôle demande à l'équipage de maintenir le nombre de Mach, de faire route sur Montélimar et de rappeler pour la descente. Il lui indique que la piste 32 est en service à Marseille.
19 h 54 min 34 s	L'équipage contacte le secteur W1 de Marseille Contrôle. Il annonce qu'il approche du FL190 en route vers le point ETREK <sup>(3)</sup> . Marseille Contrôle l'autorise à monter au FL260.	
19 h 54 min 45 s	L'équipage sélectionne le FL260 au FCU. La vitesse verticale de l'avion est d'environ 2 400 ft/min <sup>(4)</sup> . Au cours des trois minutes suivantes, la vitesse verticale évolue entre 1 700 et 2 400 ft/min.	
19 h 57 min 19 s		L'équipage demande l'autorisation de descendre. Marseille Contrôle l'informe d'un trafic en face qui monte vers le FL260 et lui propose de rappeler pour débuter la descente trois minutes plus tard, après le croisement avec le trafic. L'équipage collationne.
19 h 57 min 30 s	La vitesse verticale diminue de façon relativement régulière jusqu'à environ 1 000 ft/min, valeur atteinte à 19 h 59 min 10 s.	

<sup>(2)</sup> A cet instant du vol, les deux FD, l'AP2 et l'A/THR sont activés. Les ND sont en mode Arc. L'avion suit un cap de 149° en route vers le VOR MTL de Montélimar (26).

<sup>(3)</sup> A cet instant du vol, les deux FD, l'AP1 et l'A/THR sont activés. La vitesse sélectionnée est de 340 kt. Les ND sont en mode Arc. L'avion suit un cap de 358°.

<sup>(4)</sup> La vitesse verticale de l'avion n'est pas un paramètre enregistré. Sa valeur a été calculée à partir de la variation de l'altitude enregistrée.

Heure UTC	Vol AF6053	Vol AF6048
19 h 59 min 19 s	Tandis que l'avion passe le FL230 en montée, l'équipage sélectionne la vitesse de 300 kt au FCU. La vitesse verticale augmente progressivement jusqu'à environ 3 500 ft/min, valeur atteinte au FL240 à 19 h 59 min 43 s.	
19 h 59 min 39 s <sup>(5)</sup>	L'alarme du filet de sauvegarde se déclenche sur l'écran radar du contrôleur. Il concerne l'AF053UL et l'AF048JP.	
19 h 59 min 49 s	Le TCAS émet un avis de trafic. L'avion passe le FL243 en montée. Sa vitesse verticale est de 3 600 ft/min.	Le TCAS émet un avis de trafic.
Entre 19 h 59 min 48 s et 19 h 59 min 51 s <sup>(6)</sup>		Le PNF change la distance affichée sur son ND de 80 NM à 40 NM.
19 h 59 min 52 s	Lorsque l'avion passe le FL245 en montée, le pilote automatique passe en mode de capture d'altitude. ALT* s'affiche sur le bandeau FMA. L'assiette diminue de 5,6° vers 4° et la vitesse verticale diminue progressivement jusqu'à 2 700 ft/min, valeur atteinte à 20 h 00 min 05 s.	Le PNF déconnecte le FD1.
Entre 19 h 59 min 52 s et 19 h 59 min 55 s	Le PF change la distance affichée sur son ND de 160 NM à 20 NM.	
Entre 19 h 59 min 54 s et 19 h 59 min 57 s		Le PF change la distance affichée sur son ND de 80 NM à 40 NM.
19 h 59 min 57 s		Le PF déconnecte le FD2.
19 h 59 min 59 s	Les deux FD sont désactivés.	
Entre 20 h 00 min 02 s et 20 h 00 min 05 s	Le PNF change la distance affichée sur son ND de 320 NM à 40 NM.	
20 h 00 min 07 s	Un RA correctif Adjust Vertical Speed se déclenche, invitant l'équipage à réduire sa vitesse verticale au-dessous de 1 000 ft/min en montée. L'avion passe le FL254, sa vitesse verticale est de 2 700 ft/min.	
20 h 00 min 10 s	Le pilote automatique est déconnecté. Le PF tire sur le mini-manche. L'assiette et la vitesse verticale de l'avion augmentent régulièrement.	Marseille Contrôle actualise l'information de trafic « Juliett Papa vous allez croiser le trafic dans trente secondes, il stabilise au deux soixante ».
20 h 00 min 16 s	Le PNF annonce à Marseille Contrôle « Air France zero five three Uniform Lima TCAS Climb ».	

<sup>(5)</sup> La période d'échantillonnage de l'enregistrement radar varie entre quatre et neuf secondes. L'heure correspond à celle enregistrée par le système radar. Il n'a pas été possible de synchroniser avec précision ces données avec celles des enregistrements QAR.

<sup>(6)</sup> La valeur de la distance affichée sélectionnée par les pilotes pour les ND est enregistrée toutes les quatre secondes sur le QAR.

Heure UTC	Vol AF6053	Vol AF6048
20 h 00 min 17 s		Le TCAS émet un RA correctif Climb.
20 h 00 min 19 s		Le PF déconnecte l'AP2 et tire sur le mini-manche. L'assiette augmente de + 1° à + 3°. La vitesse verticale augmente jusqu'à 1 700 ft/min.
20 h 00 min 22 s	Marseille Contrôle répond « Uniform Lima stop the climb at two six zero as cleared, opposite is one thousand feet above ». L'équipage ne collationne pas. Le RA se renforce et invite le pilote à réduire la vitesse verticale au-dessous de 250 ft/min en montée. La limite inférieure de la zone rouge affichée sur le variomètre passe de 1 000 à 250 ft/min. Dans la même seconde, le PF accentue son action à cabrer puis inverse sa manœuvre en poussant sur le mini-manche.	
20 h 00 min 23 s	Le TCAS émet un RA Descend. L'assiette et la vitesse verticale atteignent leurs valeurs maximales, respectivement 11° et 5 900 ft/min en montée, puis commencent à décroître.	
20 h 00 min 28 s	Le PF effectue un virage à gauche.	
20 h 00 min 32 s	L'inclinaison se stabilise à 20° gauche pendant six secondes. Le cap passe de 359° à 352°. L'action à piquer est maintenue pendant le virage.	L'équipage annonce à Marseille Contrôle « Juliett Papa TCAS Climb ».
20 h 00 min 36 s	L'avion atteint son niveau maximal, le FL272, et la vitesse verticale devient négative. Elle est ensuite maintenue à environ 1 000 ft/min en descente et l'assiette à environ 0°.	
20 h 00 min 37 s	Marseille Contrôle rappelle l'AF053UL, qui répond « Clear of conflict ».	
20 h 00 min 40 s	L'état Clear of Conflict généré par le TCAS est enregistré par le QAR.	
20 h 00 min 41 s		L'état Clear of Conflict généré par le TCAS est enregistré par le QAR.
20 h 00 min 43 s		L'avion atteint son niveau maximal, le FL276, puis descend.
20 h 00 min 44 s	Marseille Contrôle rappelle à l'AF053UL qu'il avait une clairance pour le FL260.	
20 h 00 min 50 s		L'équipage annonce « Clear of conflict » à Marseille Contrôle et indique qu'il était en vue du trafic et qu'il redescend au FL270.
20 h 00 min 52 s	Les deux FD sont activés.	
20 h 00 min 55 s	L'alarme du filet de sauvegarde sur l'écran radar du contrôleur se désactive.	
20 h 00 min 59 s	Marseille Contrôle appelle l'AF053UL et l'informe du croisement dans vingt secondes d'un trafic stable au FL270.	Les deux FD sont activés.

Heure UTC	Vol AF6053	Vol AF6048
20 h 01 min 01 s	L'AP1 est activé. Au même moment, un nouvel avis de trafic est émis par le TCAS alors que l'avion passe le FL267 en descente.	
20 h 01 min 04 s	L'équipage répond à Marseille Contrôle « Oui Monsieur, nous avions eu une résolution de trafic, on a été obligé de monter ».	
20 h 01 min 05 s	Les deux FD sont désactivés.	
20 h 01 min 08 s	L'équipage signale « on a de nouveau une résolution de trafic » <sup>(7)</sup> . Marseille Contrôle lui demande de continuer à descendre en lui rappelant que le trafic est au FL270.	
20 h 01 min 12 s	L'AP1 est désactivé. Le PF augmente légèrement l'assiette à piquer. La vitesse verticale passe de – 1 000 ft/min à – 1 700 ft/min.	
20 h 01 min 25 s	L'avion est stabilisé au FL262.	L'avion est stabilisé au FL270.
20 h 01 min 34 s	L'avis de trafic cesse. Les deux FD sont activés.	
20 h 01 min 51 s		L'AP2 est activé.
20 h 02 min 04 s		Marseille Contrôle autorise l'équipage à descendre au FL200. Ce dernier collationne et dépose un airmiss <sup>(8)</sup> en indiquant qu'il estime la séparation lors du croisement à 500 ft.
20 h 02 min 06 s	L'AP1 est activé.	
20 h 02 min 36 s		L'équipage quitte la fréquence. Le vol se poursuit sans autre incident.
20 h 02 min 52 s	Marseille Contrôle autorise l'équipage à monter au FL280. Ce dernier collationne puis annonce qu'il dépose un airmiss.	
20 h 04 min 00 s	Une discussion relative à l'incident débute entre Marseille Contrôle et l'équipage.	
20 h 05 min 26 s	L'équipage quitte la fréquence. Le vol se poursuit sans autre incident.	
20 h 22 min		L'avion atterrit à Marseille.
20 h 44 min	L'avion atterrit à Paris Orly.	

<sup>(7)</sup> Aucune résolution de trafic n'a été générée. Seul un TA a été enregistré par le QAR.

<sup>(8)</sup> Airmiss est l'ancienne dénomination des comptes-rendus de quasi-collision en vol (Airprox).

## 1.2 Tués et blessés

Sans objet.

## 1.3 Dommages aux aéronefs

Il n'y a eu aucun dommage aux avions.

## 1.4 Autres dommages

Il n'y a eu aucun dommage aux tiers.

## 1.5 Renseignements sur le personnel

### 1.5.1 Equipages de conduite

#### 1.5.1.1 *Commandant de bord de l'AF053UL*

Homme, 49 ans.

- Licence de pilote de ligne avion délivrée le 27 mars 1992.
- Qualification de type A318/319/320/321 délivrée le 1<sup>er</sup> avril 1991, valide jusqu'au 22 avril 2003.
- Qualification de vol aux instruments multimoteurs valide jusqu'au 22 avril 2003.
- Dernier contrôle en ligne le 24 février 2003.
- Dernier contrôle hors ligne le 23 octobre 2002.
- Dernier certificat d'aptitude médicale obtenu le 31 octobre 2002, valide jusqu'au 31 avril 2003.
- Entré à Air France en août 1988, anciennement employé par la compagnie Air Inter.
- Stage commandant de bord effectué en décembre 1998.
- Qualifications de type antérieures : SE210 Caravelle, Nord 262, Cessna C310, EMB-110P Bandeirante, EMB-120 Brasilia, BE90, BE200.
- Expérience : 7 890 heures de vol dont 3 761 sur type et 35 dans les trois mois précédents.

#### **1.5.1.2 Copilote de l'AF053UL**

Homme, 38 ans.

- Licence de pilote professionnel avion délivrée le 7 août 1992.
- Qualification de type A318/319/320/321 délivrée le 11 juillet 2000, valide jusqu'au 26 mai 2003.
- Qualification de vol aux instruments multimoteurs valide jusqu'au 26 mai 2003.
- Dernier contrôle en ligne le 10 août 2002.
- Dernier contrôle hors ligne le 22 janvier 2003.
- Dernier certificat d'aptitude médicale obtenu le 31 juillet 2002, valide jusqu'au 31 juillet 2003.
- Entré à Air France en octobre 2000, anciennement employé par la compagnie Crossair.
- Qualification de type antérieure : Saab 340.
- Expérience : 3 352 heures de vol dont 936 sur type et 39 dans les trois mois précédents.

#### **1.5.1.3 Commandant de bord de l'AF048JP**

Homme, 35 ans.

- Licence de pilote de ligne avion délivrée le 2 mars 1995.
- Qualification de type A318/319/320/321 délivrée le 17 juin 2000, valide jusqu'au 24 février 2004.
- Qualification de vol aux instruments multimoteurs valide jusqu'au 24 février 2004.
- Dernier contrôle en ligne le 11 mai 2002.
- Dernier contrôle hors ligne le 24 février 2003.
- Dernier certificat d'aptitude médicale obtenu le 31 octobre 2002, valide jusqu'au 31 octobre 2003.
- Entré à Air France en avril 1992.
- Qualifications de type antérieures : Boeing 737-200, Airbus A340.
- Expérience : 6 863 heures de vol dont 1 224 sur type et 73 dans les trois mois précédents.

#### **1.5.1.4 Copilote de l'AF048JP**

Homme, 44 ans.

- Licence de pilote professionnel avion délivrée le 3 janvier 1986.
- Qualification de type A318/319/320/321 délivrée le 19 septembre 2002, valide jusqu'au 30 septembre 2003.
- Qualification de vol aux instruments multimoteurs valide jusqu'au 30 septembre 2003.
- Dernier contrôle en ligne le 12 février 2003.
- Dernier contrôle hors ligne le 2 mars 2003.

- Dernier certificat d'aptitude médicale obtenu le 30 novembre 2002, valide jusqu'au 31 mai 2003.
- Entré à Air France en février 2003, anciennement employé par la compagnie Air Littoral.
- Qualifications de type antérieures : ATR 42/72, CRJ100/200.
- Expérience : 5 042 heures de vol dont 133 sur type et 39 dans les trois mois précédents.

### **1.5.2 Personnel du contrôle**

Avec deux premiers contrôleurs, l'armement effectif du secteur le jour de l'incident était conforme au manuel d'exploitation du CRNA/SE. Un contrôleur était chargé de la fonction radar. Il assurait notamment la gestion des communications air-sol, la détection des conflits à l'intérieur du secteur et l'information de trafic aux vols concernés dans le volume d'information de trafic. Le second contrôleur était chargé de la fonction organique. Entre autres tâches, il écoutait les communications air-sol chaque fois que possible et suivait le déroulement des vols à l'intérieur du secteur.

Le soir de l'incident, les deux contrôleurs avaient pris leur service à 19 h 00. Leur période de contrôle devait se terminer à 5 h 30 min le lendemain matin.

#### **1.5.2.1 Contrôleur radar**

Homme, 51 ans.

- Arrivé au CRNA/SE le 15 juillet 1974.
- Qualification de premier contrôleur au CRNA/SE délivrée le 29 juin 1978, valide jusqu'au 1<sup>er</sup> juin 2006.
- Dernier stage de renouvellement de la qualification en mars 2003.

#### **1.5.2.2 Contrôleur organique**

Femme, 41 ans.

- Arrivée au CRNA/SE le 1<sup>er</sup> janvier 2000.
- Qualification de premier contrôleur au CRNA/SE délivrée le 23 février 2001, valide jusqu'au 1<sup>er</sup> mars 2004.
- Qualifications antérieures : PC CRNA/E délivrée le 1<sup>er</sup> juin 1985, PC Paris Orly (Tour et Approche) délivrée le 1<sup>er</sup> février 1996.
- Stages TRM et situations inhabituelles effectués en 2003.

## 1.6 Renseignements sur les aéronefs

### 1.6.1 F-GPMF

#### Cellule

Constructeur	Airbus
Type	A319-113
Numéro de série	637
Immatriculation	F-GPMF
Mise en service	20 décembre 1996
Certificat de navigabilité	Délivré le 20 décembre 1996, valide jusqu'au 18 décembre 2005
Utilisation à la date du 22 mars 2003	12 667 heures de vol, 13 417 cycles
Dernière visite grand entretien	Du 30 décembre 2002 au 27 janvier 2003, type L1

#### Equipement TCAS

Constructeur	Collins
Type	622-8971-322
Numéro de série	7540
Date d'installation sur l'avion	23 janvier 2003
Dernière mise à jour	6 février 2001 (transition version 6.04 à 7)

Cet équipement ne dispose pas de mémoire exploitable.

### 1.6.2 F-GHQA

#### Cellule

Constructeur	Airbus
Type	A320-211
Numéro de série	033
Immatriculation	F-GHQA
Mise en service	15 février 1989
Certificat de navigabilité	Délivré le 15 février 1989, valide jusqu'au 15 février 2004
Utilisation à la date du 22 mars 2003	23 613 heures de vol, 30 506 cycles
Dernière visite grand entretien	Du 1 <sup>er</sup> mars 2002 au 9 avril 2002, type L3

## Equipement TCAS

Constructeur	Collins
Type	622-8971-322
Numéro de série	6960
Date d'installation sur l'avion	31 janvier 2001
Dernière mise à jour	24 janvier 2001 (transition version 6.04 à 7)

Cet équipement ne dispose pas de mémoire exploitable.

### 1.6.3 Système ACAS

#### 1.6.3.1 Généralités

L'ACAS est un système d'anti-abordage embarqué dont les normes ont été définies par l'OACI. Il permet de fournir aux pilotes des informations sur les aéronefs se situant dans l'espace proche.

En fonction de la nature de ces informations, trois types d'ACAS ont été définis :

- l'ACAS I fournit des avis de trafic uniquement, c'est-à-dire la position des aéronefs intrus ;
- l'ACAS II fournit des avis de trafic et des avis de résolution, qui sont des manœuvres d'évitement proposées au pilote dans le plan vertical uniquement ;
- l'ACAS III fournit des avis de trafic et des avis de résolution dans le plan vertical et dans le plan horizontal.

Il n'existe actuellement qu'un seul équipement répondant aux normes ACAS I et II, il s'agit du TCAS. Le standard ACAS II correspond à la version 7 du TCAS. Par convention dans ce rapport, le terme ACAS désigne la norme du système et le terme TCAS désigne l'équipement.

Aucun équipement correspondant à l'ACAS III n'existe actuellement et ne devrait voir le jour dans un futur proche, en raison de difficultés techniques et opérationnelles.

#### 1.6.3.2 Obligation d'emport

Les normes OACI relatives aux avions qui doivent être équipés d'un système anticollision embarqué (ACAS II) sont décrites dans le paragraphe 6.18 de l'Annexe 6 - Exploitation technique des aéronefs, 1<sup>ère</sup> Partie - Aviation de transport commercial - Avions :

- À partir du 1<sup>er</sup> janvier 2003<sup>(9)</sup>, tous les avions à turbomachines ayant une masse maximale au décollage certifiée supérieure à 15 000 kg ou autorisés à

<sup>(9)</sup> En France, cette date a été avancée au 1<sup>er</sup> janvier 2000 dans l'arrêté OPS 1.668(a) qui a repris les normes OACI.

transporter plus de trente passagers doivent être équipés d'un système anticollision embarqué (ACAS II).

- À partir du 1<sup>er</sup> janvier 2005, tous les avions à turbomachines ayant une masse maximale au décollage certifiée supérieure à 5 700 kg ou autorisés à transporter plus de dix-neuf passagers doivent être équipés d'un système anticollision embarqué (ACAS II).

#### **1.6.3.3 Logique du système**

Le TCAS est conçu pour fonctionner de manière autonome et indépendante des équipements de navigation des aéronefs et des systèmes sol utilisés par les services de contrôle. Il interroge les transpondeurs des aéronefs situés dans l'espace proche et détermine, à partir des réponses reçues, la distance, le gisement et l'altitude (lorsqu'elle est transmise) des trafics voisins. Un calculateur détermine lesquels de ceux-ci représentent une menace de collision et affiche des indications (avis) appropriées à l'intention de l'équipage de conduite. Si l'intrus n'est pas équipé d'un transpondeur, ou si celui-ci est inactif, le TCAS ne peut pas générer d'alerte. Le TCAS peut surveiller simultanément jusqu'à trente aéronefs avec une portée nominale de 14 NM pour les cibles Mode A/C<sup>(10)</sup> et 30 NM pour les cibles Mode S<sup>(11)</sup>.

La logique de l'anti-abordage est une logique prédictive. La théorie du TCAS est basée sur des critères de temps et non de distance<sup>(12)</sup>. A partir de plusieurs réponses successives, le TCAS calcule le temps jusqu'au point de rapprochement maximal, ou CPA (closest point of approach). Ce temps est le paramètre principal pour la génération des alarmes. Les seuils d'alerte varient en fonction de l'altitude. La logique TCAS travaille sur un cycle d'une seconde.

Les informations de trafic présentées sur les écrans TCAS visent à aider l'équipage à repérer visuellement les aéronefs évoluant à proximité. Les avis de trafic (TA) signalent la position des aéronefs considérés comme intrus. Ils alertent l'équipage sur l'émission éventuelle d'un avis de résolution (RA) ultérieur. Les RA sont des propositions de manœuvre d'évitement dans le plan vertical émises par le TCAS lorsqu'une menace est déclarée. Le délai entre un TA et un RA est compris généralement entre cinq et vingt secondes. Un RA peut néanmoins ne pas être précédé d'un TA. Le délai entre l'émission d'un RA et le rapprochement maximal est compris entre quinze et trente-cinq secondes<sup>(13)</sup>.

---

<sup>(10)</sup> L'interrogation des avions équipés Mode A/C se fait via un « appel général Mode C seulement ».

<sup>(11)</sup> La surveillance des avions équipés Mode S s'appuie sur l'adressage sélectif du transpondeur. Le TCAS écoute les messages spontanés émis toutes les secondes par les transpondeurs Mode S. L'adressage individuel de l'émetteur est contenu dans ces messages. Le TCAS envoie alors une interrogation à l'adresse Mode S puis détermine la position du transpondeur (donc de l'intrus) à partir de la réponse fournie.

<sup>(12)</sup> Le préavis d'alarme intègre une protection supplémentaire en distance pour tenir compte des rapprochements lents.

<sup>(13)</sup> Ces délais varient avec le niveau de sensibilité du TCAS, lui-même fonction de l'altitude.

La manœuvre proposée est celle qui perturbe le moins la vitesse verticale de l'avion tout en assurant la distance verticale de sécurité. Des avis ne modifiant pas la vitesse verticale de l'avion (avis préventifs) peuvent être générés si les critères de séparation verticale sont déjà satisfaits. Durant tout le conflit, l'intensité de l'avis est évaluée et peut être modifiée soit par renforcement si le conflit le nécessite, soit par affaiblissement si la menace s'éloigne. Il peut arriver que l'avion intrus effectue une manœuvre verticale qui déjoue la solution proposée. L'avion de référence devra alors soit accroître son taux de montée/descente (typiquement, de 1 500 ft/min à 2 500 ft/min), soit inverser le sens de la manœuvre. Une seule inversion de sens est autorisée au cours d'un même conflit. Dès que l'intrus n'est plus une menace, le RA est annulé et l'annonce vocale *Clear of Conflict* est transmise à l'équipage. Celui-ci doit alors retourner à sa clairance initiale.

La logique TCAS inhibe certaines alarmes en fonction de la hauteur de l'avion :

- en montée :
  - toutes les alarmes vocales sont inhibées jusqu'à 600 ft sol ;
  - le TCAS reste en mode « TA only » jusqu'à 1 100 ft sol ;
- en descente :
  - les RA Increase Descent sont inhibés au-dessous de 1 450 ft sol ;
  - le TCAS passe en mode « TA only » au-dessous de 900 ft sol ;
  - toutes les alarmes vocales sont inhibées au-dessous de 400 ft sol.

De plus, le TCAS peut inhiber les RA Climb ou Increase Climb dans certains cas en raison des limitations de performance de l'avion à haute altitude ou en configuration d'atterrissage.

Une priorité est donnée aux alarmes vocales liées au décrochage, au GPWS et au cisaillement de vent.

Lorsque les aéronefs sont tous deux équipés d'un transpondeur mode S, les avis de résolution sont coordonnés afin de proposer des sens de correction compatibles<sup>(14)</sup>.

#### **1.6.3.4 Présentation en poste de pilotage**

La présentation aux pilotes comprend les éléments suivants :

**Des informations de trafic.** Celles-ci fournissent la position horizontale (distance et gisement<sup>(15)</sup>) des aéronefs environnants équipés de transpondeur par rapport à l'aéronef de référence. La forme et la couleur des symboles représentant les intrus varient en fonction de leur statut TCAS : un losange creux blanc pour un intrus non menaçant ; un losange plein blanc pour un intrus proche ; un disque ambre

---

<sup>(14)</sup> Dans la majorité des cas, les deux avions se voient comme menace à des instants légèrement différents. La coordination s'établit comme suit : le premier avion choisit le sens du RA d'après la géométrie du conflit et transmet son intention ; le second avion choisit alors le sens opposé et confirme son intention complémentaire.

<sup>(15)</sup> La précision d'affichage dépend de l'échelle utilisée. Elle est de l'ordre du mille marin en distance et d'environ 10° en gisement pour une distance affichée de 10 NM.

pour un intrus ayant déclenché un avis de trafic ; un carré rouge pour un intrus ayant déclenché un avis de résolution. Des informations accompagnent le symbole lorsque l'intrus transmet son altitude : écart vertical par rapport à l'aéronef de référence<sup>(16)</sup> et tendance d'altitude<sup>(17)</sup>.

Pour les affichages de type EFIS, les informations de trafic sont présentées directement sur les écrans de navigation ND. Un exemple d'affichage en mode « Rose » est représenté ci-dessous.



- Affichage en vitesse verticale : une zone rouge sur le variomètre indique la plage de vitesse verticale à éviter. Une zone verte cible jouxtant la zone rouge invite le pilote à manœuvrer pour atteindre la vitesse verticale requise tout en limitant sa déviation en altitude<sup>(18)</sup>.

Sur les familles Airbus A320 et A330/340, les RA sont présentés sur le bandeau variomètre du PFD. Le montage photographique ci-dessous représente trois phases successives du suivi d'un avis de résolution à descendre sur un A320 (photographies prises dans un simulateur de vol).



Suivi d'un RA à descendre

**Les alarmes vocales.** Elles alertent l'équipage lors d'un TA ou d'un RA. Elles ne sont émises qu'une fois.

Types d'avis	Sens vers le bas	Sens vers le haut
TA	Traffic, Traffic	
RA préventif initial	Monitor vertical speed	
RA correctif	Descend, descend	Climb, climb
RA se renforçant	Increase descent, increase descent	Increase climb, increase climb
RA faiblissant	Adjust vertical speed, adjust	
RA s'inversant	Descend, descend now	Climb, climb now
RA avec croisement d'altitude	Descend, crossing descend, descend, crossing descend	Climb, crossing climb, climb, crossing climb
RA avec maintien de la vitesse verticale	Maintain vertical speed, maintain	
RA avec maintien de la vitesse verticale et croisement d'altitude	Maintain vertical speed, crossing maintain	
RA avec réduction de la vitesse verticale	Adjust vertical speed, adjust	
Fin de RA	Clear of conflict	

<sup>(18)</sup> Pour les avis Monitor Vertical Speed et Maintain Vertical Speed, aucune zone verte n'est affichée lors du déclenchement du RA dans la mesure où l'aiguille de vitesse verticale se situe en dehors de la zone rouge.

Le tableau montre que l'alarme Adjust Vertical Speed peut être émise pour deux types de RA, soit un RA initial, soit un RA émis à la suite d'un premier RA de type Climb ou Descend afin d'atténuer la correction lorsque l'évolution du conflit le permet.

#### **1.6.4 Générateur de symboles**

A la date de l'incident, le F-GPMF et le F-GHQA étaient équipés d'un générateur de symboles « DMC » au standard V32. Dans cette version, les intrus détectés par le TCAS ne sont pas présentés sur les écrans de navigation lorsque la distance affichée est inférieure à 40 NM. Le standard V40, qui permet d'afficher les intrus quelle que soit la distance sélectionnée, a été installé sur le F-GPMF le 27 juin 2003 et sur le F-GHQA le 12 septembre 2003.

L'installation de la version V40 fait l'objet du Bulletin Service n° A320-31-1127 émis par Airbus en mai 1999. Ce bulletin n'est pas obligatoire. Son application est à la charge de l'exploitant.

### **1.7 Conditions météorologiques**

Le jour de l'incident, la situation en altitude correspondait à un maximum de géopotentiel centré sur l'Allemagne qui dirigeait un flux de sud-est sur la région Rhône-Alpes. La situation en surface était influencée par l'anticyclone d'Allemagne. Le ciel était clair sur la région.

Les conditions météorologiques estimées au moment de l'incident étaient les suivantes :

- au FL260 : vent 150° / 30 kt, température - 35 °C, humidité 25 % ;
- au FL280 : vent 150° / 30 kt, température - 42 °C, humidité 26 %.

La lune n'était pas levée au moment de l'incident.

### **1.8 Aides à la navigation**

Sans objet.

### **1.9 Télécommunications**

Les communications relatives à l'événement se sont faites sur la fréquence 134,1 MHz du secteur W1 de Marseille Contrôle. Cette fréquence est enregistrée par le CRNA/SE, organisme de contrôle en charge du secteur. Une copie sur

cassette audio de l'enregistrement et une transcription effectuée par le service exploitation du CRNA/SE ont été remises au BEA. La transcription a été validée par le BEA à partir de la copie audio. Elle est présentée en annexe 1.

Au cours des échanges radio avec le contrôle, les équipages de l'AF053UL et de l'AF048JP ont utilisé la langue française jusqu'aux annonces du suivi des RA respectifs. Celles-ci ont été effectuées en anglais ; elles étaient conformes à la phraséologie standard OACI. Le contrôleur a répondu par deux fois en anglais. La suite des échanges s'est effectuée en français. Pendant la séquence de l'événement, le contrôle avait en compte d'autres vols ; les radiocommunications, en français et en anglais, sur la fréquence active étaient relativement denses.

## **1.10 Renseignements sur l'aérodrome**

Sans objet.

## **1.11 Enregistreurs de bord**

### **1.11.1 Types et opérations de lecture**

L'AF053UL et l'AF048JP étaient tous deux équipés des deux enregistreurs de vol réglementaires, l'enregistreur de paramètres (FDR) et l'enregistreur phonique (CVR), ainsi que d'un enregistreur non protégé (QAR).

L'événement s'est produit un dimanche soir à 21 h 00 locales et n'a pas été notifié au BEA sur le numéro d'urgence H24. Le BEA en a eu connaissance le lendemain au moyen du message RSFTA envoyé par le CRNA/SE. Les deux avions ayant volé entre-temps, les enregistreurs phoniques n'ont pas pu être exploités. Le CVR garde en mémoire au maximum les deux dernières heures de vol tandis que le FDR garde en mémoire au moins les dernières vingt-cinq heures. Les données enregistrées par l'enregistreur de paramètres étant recopiées intégralement par le QAR, l'enquête a été conduite à partir des enregistrements du QAR de chacun des avions.

La lecture des QAR a été effectuée par le service d'analyse des vols d'Air France. La copie des fichiers binaires correspondant aux vols concernés a été remise au BEA.

### **1.11.2 Exploitation des paramètres**

#### **1.11.2.1 Synchronisation des enregistrements**

L'heure UTC est enregistrée sur chacun des enregistrements QAR. Cependant, cette heure pouvant provenir de sources différentes en fonction de l'avion (montre

pilote, horloge du GPS, etc.), le paramètre enregistré n'est pas forcément synchrone sur chacun des avions.

La synchronisation a été effectuée sur la base des tops VHF enregistrés par les QAR et de l'enregistrement sol des radiocommunications. Le temps UTC pris pour référence est celui enregistré par l'AF053UL<sup>(19)</sup>.

#### **1.11.2.2 Evaluation de la séparation**

La position des avions, exprimée en latitude et longitude, est enregistrée.

La séparation minimale calculée à partir de l'interpolation des positions enregistrées intervient à 20 h 00 min 38 s<sup>(20)</sup>. Elle correspond à un écart latéral de 0,8 NM, avec une incertitude de 0,14 NM, et à un écart de niveau de 300 ft, avec une incertitude de 50 ft.

Des courbes résultant de l'exploitation de l'enregistrement QAR de chacun des avions figurent en annexe 2.

### **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 relatives à la survie des occupants**

Sans objet.

---

<sup>(19)</sup> Les tops VHF étant enregistrés une fois par seconde, il n'est pas possible d'effectuer une synchronisation dont la précision soit inférieure à la seconde.

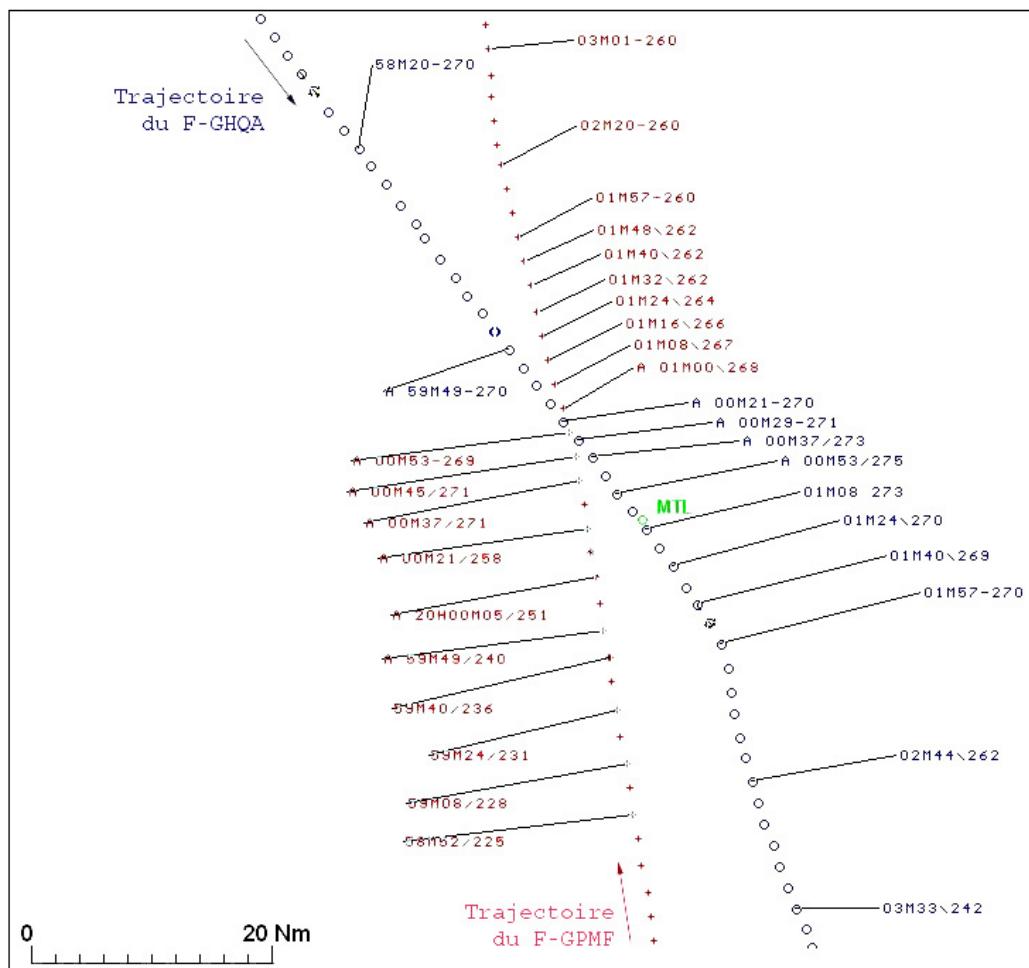
<sup>(20)</sup> La latitude et la longitude étant enregistrées toutes les quatre secondes, à deux secondes l'une de l'autre, les paramètres ont dû être interpolés pour effectuer le calcul. De plus, compte tenu de la précision sur la synchronisation des deux enregistrements, le calcul est entaché d'une erreur au plus égale à une seconde de vol.

## 1.16 Essais et recherches

### 1.16.1 Enregistrement radar

Les données radar sont enregistrées par le CRNA/SE. Une copie des données a été remise au BEA, elle a permis de reconstituer la trajectoire des deux avions représentée ci-après.

Remarque : pour certains points sont affichés l'heure d'enregistrement en minutes et secondes, une indication de l'évolution de l'altitude de la cible (/ pour une cible radar en montée, \ pour une cible radar en descente, - pour une cible radar stable) et le niveau de vol de la cible.



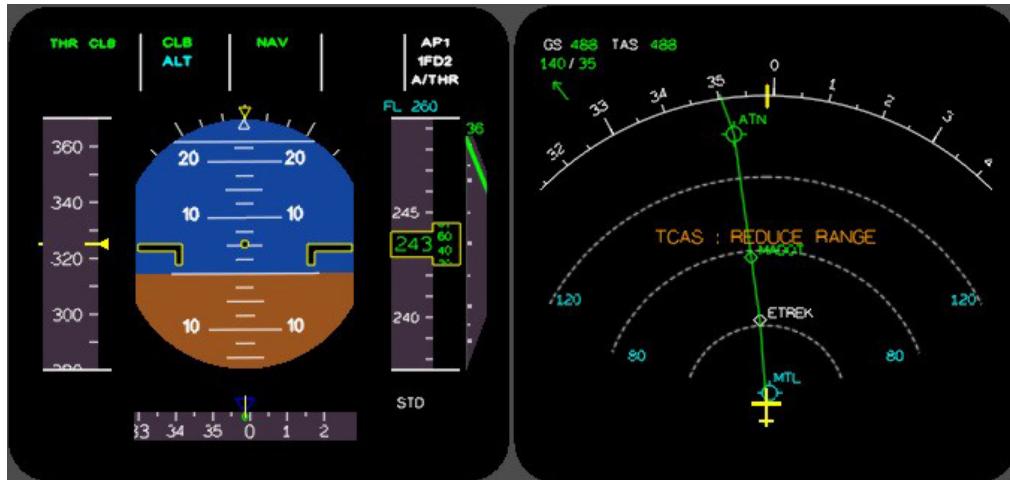
Le premier point avec alerte du filet de sauvegarde a été enregistré à 19 h 59 min 39 s et le dernier à 20 h 00 min 55 s.

Sur la base des données radar, on trouve une distance horizontale minimale de 1,12 NM pour un écart de niveau de 200 ft. Toutefois, compte tenu de la précision des informations radar, ces distances se rapprochent moins de la réalité que le calcul fait précédemment sur la base des données QAR.

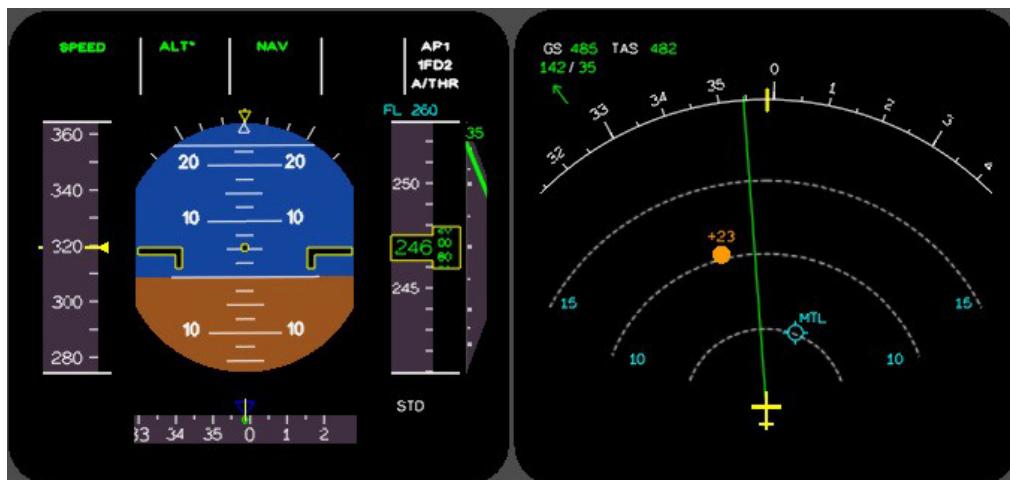
## 1.16.2 Simulation des affichages en poste de pilotage

Une animation en temps réel a été effectuée. L'accent a été porté en particulier sur l'écran des paramètres de vol et l'écran de navigation du PF de l'AF053UL. Quelques affichages simulés sont recopiés ci-après.

Il est important de garder à l'esprit que ces affichages simulés ont été réalisés à partir des données disponibles et qu'ils constituent des représentations partielles <sup>(21)</sup> et approchées <sup>(22)</sup> de l'affichage réel au moment de l'événement.



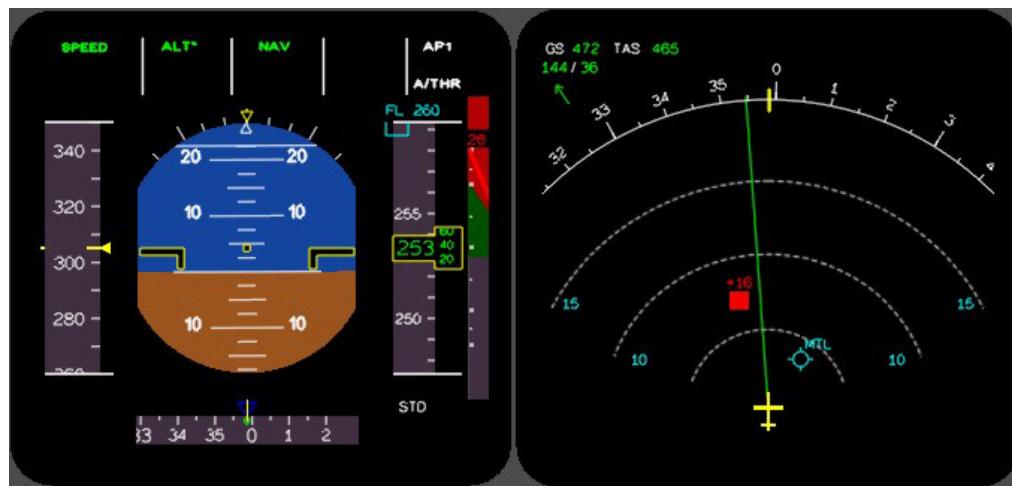
19 h 59 min 49 s – le TCAS émet un avis de trafic ; le message ambre « TCAS : reduce range » s'affiche sur le ND.



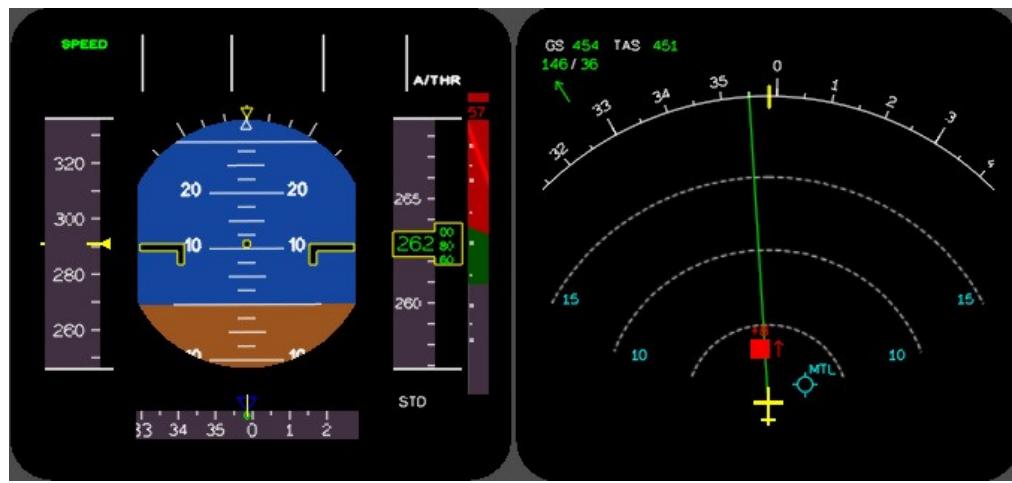
19 h 59 min 55 s – le PF diminue la distance affichée sur son ND ; le plot ambre de l'avion intrus apparaît sur le ND.

<sup>(21)</sup> Par exemple, le QAR n'enregistrant pas la position des barres du FD, celles-ci ne sont pas figurées sur l'affichage.

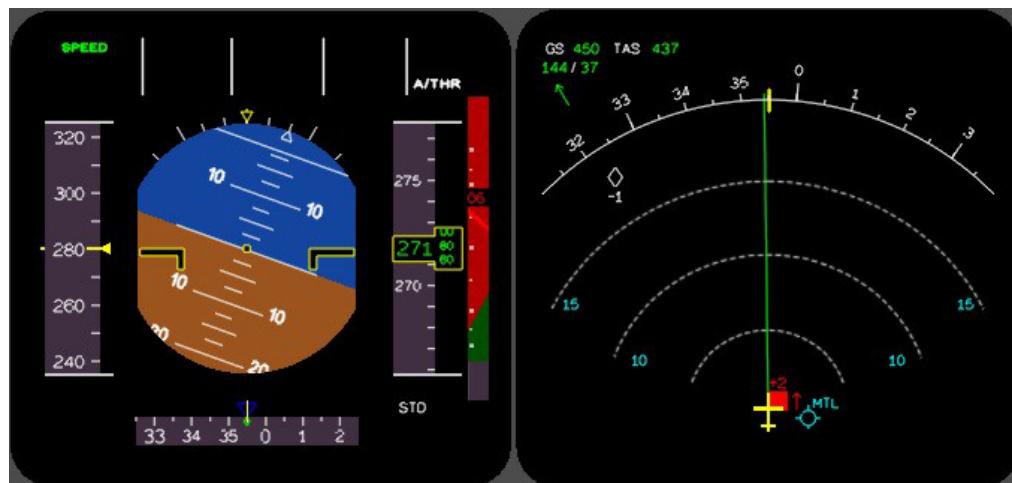
<sup>(22)</sup> Une animation temps réel basée sur des échantillons ne peut pas restituer la réalité de l'événement. De plus, il n'est pas possible de recréer l'environnement lumineux du poste de pilotage au moment de l'événement.



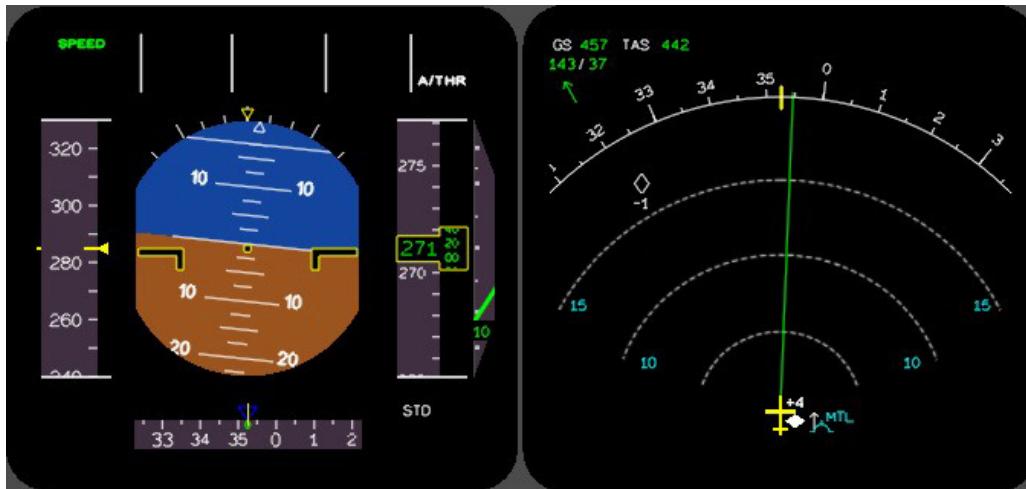
20 h 00 min 07 s – l'avis de résolution Adjust Vertical Speed se déclenche.



20 h 00 min 22 s – le pilote a tiré sur le mini-manche ; l'assiette atteint 11° ; l'avis de résolution Adjust Vertical Speed se renforce (la limite inférieure de la zone rouge s'étend jusqu'à + 250 ft/min).



20 h 00 min 36 s – l'avion atteint son niveau de vol maximal ; le RA s'est renforcé en Descend ; l'avion est en virage à gauche ; le pilote a inversé sa manœuvre dans le plan vertical.



20 h 00 min 40 s – l'avion est en descente; le TCAS génère l'état Clear of Conflict.

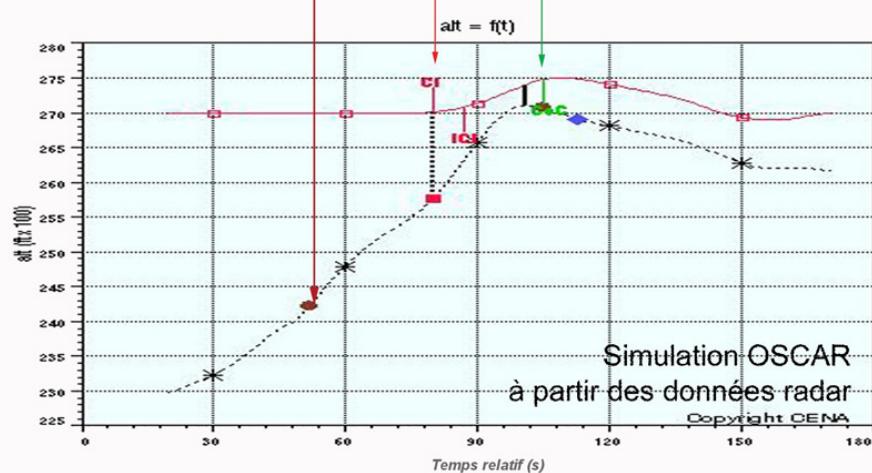
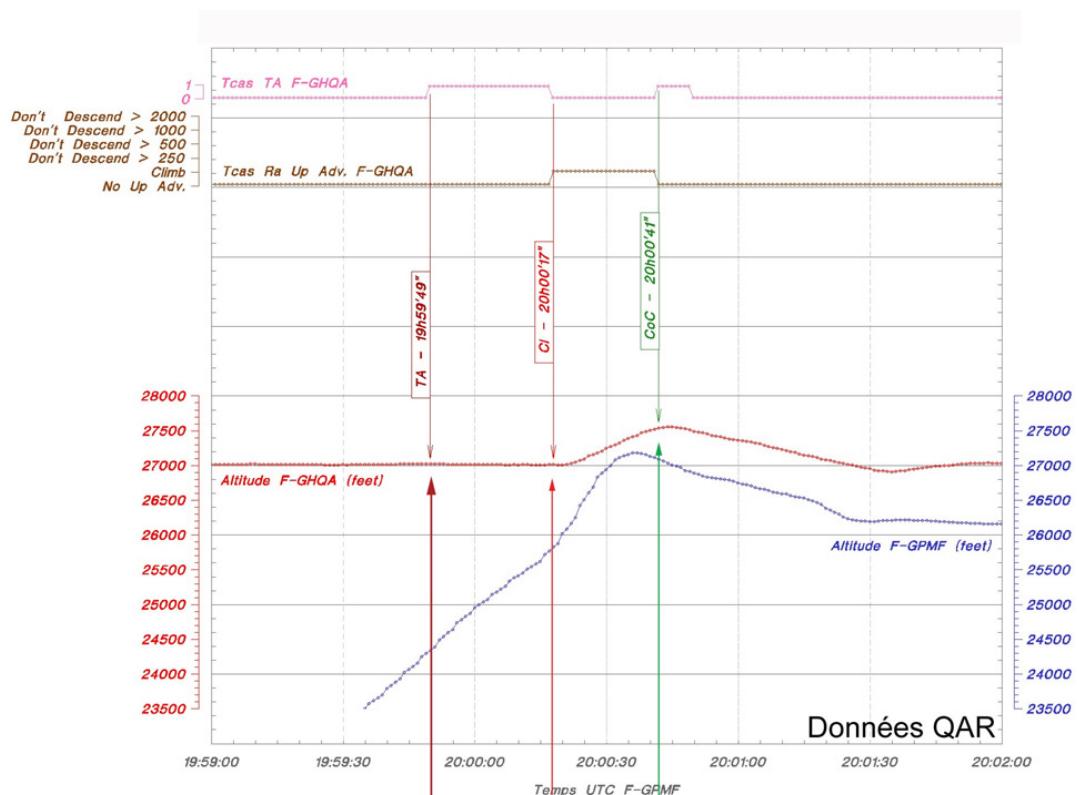
### 1.16.3 Simulation du fonctionnement du TCAS

Afin de vérifier le fonctionnement des deux TCAS au cours de l'événement, une simulation a été effectuée au SCTA à l'aide du logiciel OSCAR. Ce logiciel simule le fonctionnement théorique du TCAS à partir des données radar de deux aéronefs et détermine les états générés en sortie. Les résultats de la simulation ont été comparés aux données QAR (cf. courbes ci-après). On note une bonne cohérence, avec quelques différences :

- la simulation pour l'AF048JP indique un RA Climb renforcé en RA Increase Climb alors que le QAR a enregistré un RA Climb uniquement ;
- la simulation pour l'AF053UL génère un RA Adjust Vertical Speed associé à la consigne Don't Climb > 500 ft/min, alors que le QAR a enregistré un RA Adjust Vertical Speed associé à la consigne Don't Climb > 250 ft/min ;
- la simulation pour l'AF053UL indique un RA Descend renforcé en RA Increase Descent alors que le QAR a enregistré un RA Descend uniquement.

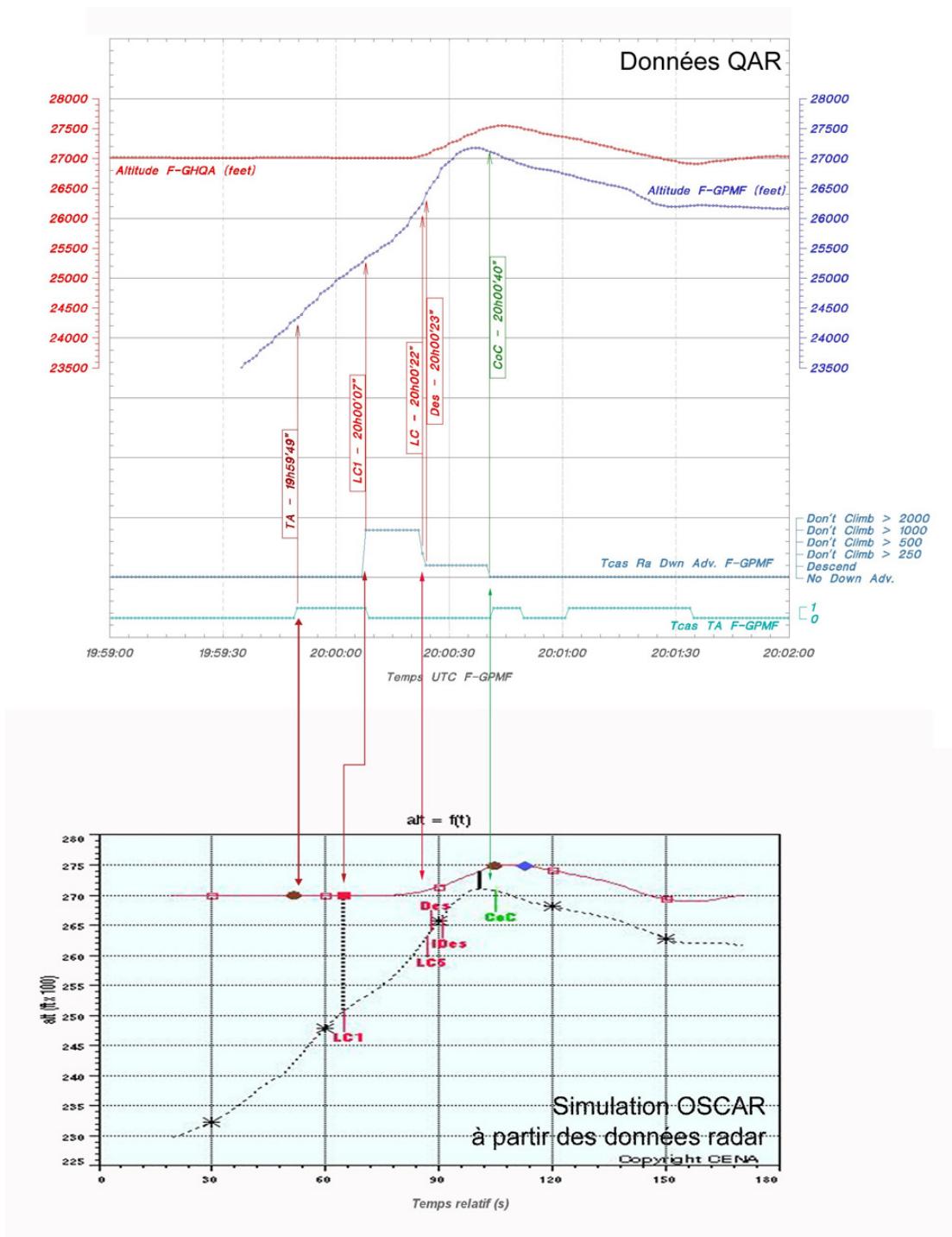
Les heures d'occurrence des alarmes sont comparables, hormis pour le premier RA de l'AF053UL qui intervient quelques secondes plus tôt dans la simulation.

Ces différences peuvent trouver leur explication dans l'échantillonnage des données enregistrées.



Comparaison données QAR / simulation OSCAR pour l'AF048JP

Légende : Cl = Climb ; ICI = Increase Climb ; CoC = Clear of Conflict



#### 1.16.4 Evénements comparables

Plusieurs cas liés à une utilisation inappropriée du TCAS ont été recensés via divers canaux de notification et/ou de retour d'expérience.

En France, pilotes et contrôleurs ont pour consigne de rédiger un rapport pour chaque cas de RA. Ces événements sont traités par le SCTA, et par la CNSCA

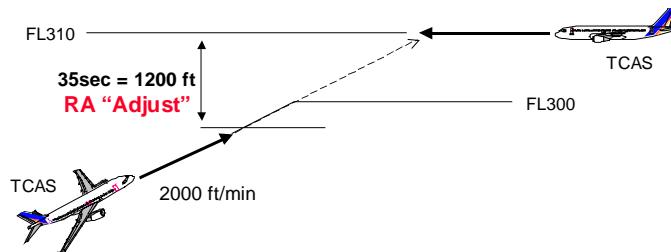
lorsqu'un Airprox a été déposé. Au niveau européen, Eurocontrol regroupe les données TCAS fournies par les centres de contrôle et certaines compagnies aériennes.

#### 1.16.4.1 Données Eurocontrol

Parmi les incidents recensés par Eurocontrol, on trouve divers cas où le sens de la manœuvre réalisée en réponse à un RA Adjust Vertical Speed a été opposé à celui proposé par le TCAS. L'analyse a permis de mettre en évidence un certain nombre de points communs à ces événements :

- Les deux avions convergents devaient se croiser avec un espacement vertical de mille pieds conformément aux clairances du contrôle aérien (l'un au moins des avions étant en évolution dans le plan vertical). Les avis se sont déclenchés à l'approche de la capture du niveau <sup>(23)</sup>.

Un exemple est présenté ci-dessous. Au FL300, le seuil de déclenchement du TCAS de l'avion en montée sera de trente-cinq secondes avant le CPA calculé. En montée à 2 000 ft/min, le RA Adjust Vertical Speed sera émis 1 200 ft au-dessous du niveau de croisière de l'autre avion, soit 200 ft avant la capture de l'altitude assignée.



- L'interprétation du sens des avis de résolution par les pilotes a été erronée. Les équipages ont indiqué a posteriori avoir suivi un RA de type Climb ou Descend qui les invitait à accroître leur vitesse verticale, alors que l'analyse des trajectoires a montré qu'il s'agissait de RA Adjust Vertical Speed pour lesquels la correction appropriée consiste à réduire la vitesse verticale.
- Après la réaction inappropriée du pilote, l'avis Adjust Vertical Speed a été renforcé par un RA de type Climb ou Descend. Ce second RA a été correctement suivi par le pilote qui a inversé sa manœuvre. Dans la mesure où la première correction était opposée au RA, ce nouvel avis a été interprété comme une réversion de mode, là où il ne s'agissait, selon la logique TCAS, que d'un renforcement de l'avis initial.
- La plupart des avis étaient présentés sur un bandeau variomètre de type PFD.

<sup>(23)</sup> On parle de « stabilisation à mille pieds ».

#### 1.16.4.2 Données Air France

##### Qualité de suivi des RA TCAS

A la suite d'un nombre élevé d'incidents rapportés par des pilotes d'Airbus, le service prévention et sécurité des vols d'Air France a mis en place, en coopération avec le service d'analyse des vols, un test systématique de qualité de suivi des RA TCAS. Une procédure automatisée permet de détecter les cas de correction inverse<sup>(24)</sup> : elle a été appliquée sur la flotte Airbus ainsi que sur les flottes Boeing 737, 777 et 747-400. Sur une première période de trois mois, dix corrections inverses ont été mises en évidence sur soixante-dix-huit RA analysés (12,8 %). A la suite d'une campagne de sensibilisation, seuls sept cas sur quatre-vingt-treize RA analysés ont été détectés dans les six mois suivants (7,5 %), puis deux sur cinquante-neuf dans les trois mois suivants (3 %). Tous les cas identifiés de correction inverse ont concerné des Airbus, à l'exception d'un événement observé sur Boeing 737<sup>(25)</sup>. La grande majorité a été observée lors de RA Adjust Vertical Speed.

##### Retour d'expérience

Dans leur description des événements, certains pilotes ont souligné la difficulté à distinguer l'aiguille de couleur rouge vif sur le fond rouge de la zone de vitesse verticale à éviter. La visibilité de l'aiguille semble particulièrement affectée si l'environnement lumineux est marginal : nuit, soleil de dos ou de face. Certains pilotes ont ainsi fait part de leur incapacité à détecter l'aiguille lorsque les écrans étaient « *allumés par le soleil* ».

Un pilote qui avait un doute sur la position de l'aiguille lors du déclenchement d'un RA Adjust Vertical Speed a précisé dans son compte-rendu : « *Nous sommes en interception d'altitude. Le soleil levant est situé derrière nous, sur la gauche. La visibilité des écrans est mauvaise. Nous sommes pénalisés par le port de lunettes de soleil. J'identifie la plage rouge vers le haut sur le variomètre. Dans le doute, je me demande si l'aiguille n'est pas au neutre et tire légèrement sur le manche pour l'amener au ras du bas de la plage rouge. Je ne distingue l'aiguille qu'une fois l'action à cabrer débutée. L'avis devient Descend : je place le manche à piquer pour amener l'aiguille enfin repérable à la bonne position*

 ».

Dans un autre compte-rendu relatif au déclenchement d'un RA en montée, un pilote a rapporté les éléments suivants : « *Je n'entends pas Adjust Vertical Speed, je débraye le PA et corrige mal, ce qui met le vario dans la zone rouge ; ensuite j'entends et comprends Descend, Descend et je corrige correctement. Situation IMC ; rien vu ; au ND découverte d'un losange ambre très tardivement* ». Le pilote a ajouté : « *Le RA Adjust n'a pas été audible par moi et l'aiguille du vario est invisible* ».

---

<sup>(24)</sup> Une correction est considérée comme inverse lorsque la routine de test détecte une action de sens opposé au RA pendant au moins trois secondes, sur une période totale d'observation de sept secondes après le déclenchement de l'avis.

<sup>(25)</sup> L'équipage du Boeing a indiqué avoir réalisé l'évitement à vue sans tenir compte, volontairement, des ordres du TCAS.

Au-delà de la visibilité de l'aiguille, les équipages rapportent que la distinction des zones rouge et verte est délicate par très forte luminosité extérieure : les couleurs deviennent « *fades* ». A la suite d'un RA Adjust Vertical Speed en descente, un pilote a indiqué dans son compte-rendu : « *Avec des lunettes de soleil et une forte luminosité dans le poste, l'éclat des zones verte et rouge sur le vario, malgré un réglage PFD et ND sur maxi, est insuffisant, entraînant des difficultés d'interprétation* ».

Les témoignages d'autres pilotes mentionnent explicitement une attirance pour la zone rouge, jugée brillante, et « *une difficulté pour identifier la zone verte, de couleur pâle* ». Un pilote a ainsi indiqué : « *En approchant du niveau de croisière, TA puis RA Adjust Vertical Speed, mon premier réflexe est de rejoindre la zone la plus lumineuse, la rouge ! Aussitôt, je réalise mon erreur et le commandant de bord annonce : il faut descendre* ».

En ce qui concerne l'alarme Adjust Vertical Speed, certains pilotes ont rapporté avoir été surpris par l'annonce qu'ils ne connaissaient pas et avoir éprouvé des difficultés à interpréter le RA.

Un compte-rendu relatif à un RA en descente souligne la difficulté qu'il y a à anticiper une alarme lorsque les intrus ne sont pas affichés sur le ND :

« *En descente vers le FL190 [...], TA puis RA TCAS Adjust Vertical Speed (secteur rouge à partir de - 2 000 ft/min et plus) sur un trafic en route inverse stable au FL180 (avion militaire de type Transall). Aucune transgression de la clairance et stabilisation au FL190. N'ayant pas été prévenus par le contrôle de la présence de ce trafic et les ND étant sur une échelle > 40 NM, nous n'avons pas pu anticiper ce croisement en réduisant le vario qui était à ce moment là > 2 000 ft/min (340 kt) avec en prime un gros effet de surprise* ».

### 1.16.5 Réduction de la vitesse verticale

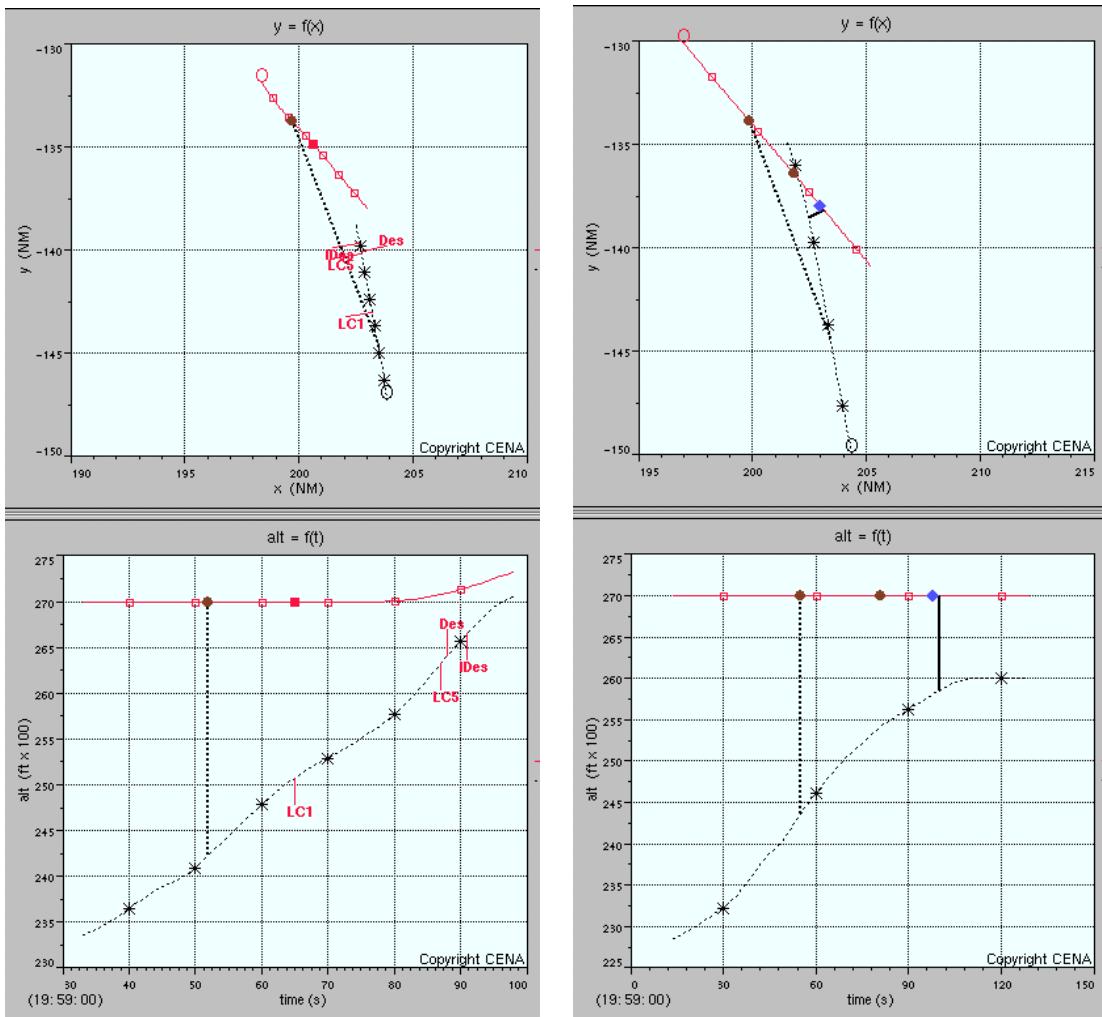
Considérons le cas de deux avions convergents dont l'un au moins est en montée ou en descente. Le seuil de déclenchement du TCAS dans le plan vertical est un temps, et non une distance. Il représente le temps qui reste avant que les deux avions ne soient à la même altitude (co-altitude) s'ils conservent leur vitesse verticale respective. La valeur de ce seuil varie en fonction de l'altitude ; il est compris entre quinze secondes (pour les altitudes comprises entre 1 000 ft et 2 350 ft) et trente-cinq (au-dessus du FL200).

Le TCAS émet un avis de résolution d'autant plus tôt que la vitesse verticale de l'un au moins des deux avions est élevée. Dans le cas des stabilisations à mille pieds en pilotage automatique, il est possible que le RA soit émis avant que la fonction de capture d'altitude ne soit activée, ou que la réduction de la vitesse verticale à l'approche du niveau assigné ne soit pas suffisante pour éviter le déclenchement du RA. C'était le cas pour l'AF053UL : le RA a été émis quinze secondes après le passage du pilote automatique en mode de capture d'altitude.

Afin d'analyser la contribution de la valeur du taux de montée au déclenchement du RA, le BEA a demandé au CENA de déterminer un profil de vitesse verticale pour l'AF053UL en-deçà duquel le TCAS n'aurait pas émis de RA. Le profil obtenu est présenté dans le tableau ci-après. En regard sont indiquées les valeurs de la vitesse verticale calculées à partir de la variation de l'altitude enregistrée par le QAR au cours de l'incident.

Niveau de vol	Vitesse verticale théorique pour laquelle aucun RA n'est émis	Vitesse verticale de l'AF053UL	Déroulement du vol de l'AF053UL
FL260 - 40	$V_z < 6\ 000 \text{ ft/min}$	1 300 ft/min	
FL260 - 35	$V_z < 5\ 333 \text{ ft/min}$	1 300 ft/min	
FL260 - 30	$V_z < 4\ 666 \text{ ft/min}$	1 200 ft/min	
FL260 - 25	$V_z < 4\ 285 \text{ ft/min}$	2 800 ft/min	
FL260 - 20	$V_z < 3\ 333 \text{ ft/min}$	3 500 ft/min	
FL260 - 15	$V_z < 2\ 666 \text{ ft/min}$	3 600 ft/min	<ul style="list-style-type: none"> <li>à FL260-16 : émission du TA ;</li> <li>à FL260-15 : passage du pilote automatique en mode de capture d'altitude.</li> </ul>
FL260 - 10	$V_z < 2\ 000 \text{ ft/min}$	3 000 ft/min	
FL260 - 05	$V_z < 1\ 333 \text{ ft/min}$	2 750 ft/min	à FL260-06 : émission du RA Adjust Vertical Speed, déconnexion du pilote automatique
FL260 - 00	$V_z = 0 \text{ ft/min}$		

Afin de valider les résultats, le CENA a réalisé une simulation OSCAR à partir des enregistrements radar de l'AF053UL et de l'AF048JP, dans laquelle le taux de montée de l'AF053UL avait été modifié à partir du FL240 de façon à respecter le profil de vitesse verticale présenté précédemment. La simulation (cf. planches ci-après) montre que dans ce cas le conflit ne déclenche aucun RA, seuls deux TA étant émis par le TCAS.



Profil vertical non modifié

Profil vertical modifié

### Simulations OSCAR

Remarque : le profil de vitesse verticale déterminé par le CENA, appliqué au cas de l'AF053UL, est donné à titre indicatif. Il ne constitue pas une solution unique. Il existe d'autres profils possibles de réduction de la vitesse verticale dont le suivi permet de ne pas déclencher de RA dans les conditions de l'incident du 23 mars 2003.

## 1.17 Renseignements sur les organismes et la gestion

### 1.17.1 Air France

#### 1.17.1.1 Procédures TCAS

##### 1.17.1.1.1 Extrait du GEN.OPS

Le manuel Généralités Opérations, ou GEN.OPS, décrit la philosophie générale des procédures. Il s'applique à tous les types d'avion exploités par Air France. La partie relative à l'utilisation du TCAS en vigueur le jour de l'incident est reproduite en annexe 3.

### 1.17.1.1.2 Procédures TCAS du manuel d'utilisation A318/319/320/321

Le manuel d'utilisation Airbus A318/319/320/321 décrit les procédures associées au TCAS dans le chapitre 3 - Procédures anormales, paragraphe 3.1 - Manœuvres d'urgence. Le schéma retenu est décrit ci-après (extrait du QRH en vigueur le jour de l'incident).

Remarque : chaque action est attribuée à l'un et/ou l'autre des deux pilotes. A gauche, en regard de chaque action, le ou les membres d'équipage sont désignés de la manière suivante : C pour le commandant de bord, P pour le copilote, PF pour le pilote en fonction, PNF pour le pilote non en fonction.

<b>TCAS JE PILOTE ou TCAS TU PILOTES</b>	
<p>➤ T/A : Annonce vocale "TRAFFIC TRAFFIC"</p>	
C	ANNONCE ..... TCAS, JE (TU) PILOTE(S)
PF	Ne manœuvre pas en se basant uniquement sur un avis de trafic. Repère l'intrus en utilisant le ND comme guide. Se prépare à la venue éventuelle d'un R/A.
PNF	Recherche de l'acquisition visuelle de l'intrus à l'extérieur en utilisant le ND comme guide.
C/P	FD 1 et 2 ..... OFF
<p>● R/A :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- préventif, annonce vocale "MONITOR VERTICAL SPEED",</li><li>- correctif, toutes annonces vocales de types "CLIMB" ou "DESCEND" ou "MAINTAIN VERTICAL SPEED MAINTAIN" ou "ADJUST VERTICAL SPEED ADJUST"</li></ul>	
PF	AP ..... OFF
PF	Identifie le secteur vert de l'échelle V/S; ajuste manuellement la vitesse verticale pour maintenir l'aiguille V/S dans le secteur vert.
<p><b>ATTENTION</b></p> <p>Respecter les alarmes STALL-GPWS-WINDSHEAR.</p>	
PNF	Surveille le suivi du R/A Informe le service ATC de la manœuvre effectuée en utilisant la phraséologie prévue : ATCxxx AFxxx TCAS CLIMB/DESCEND.
PF	Dès l'annonce "CLEAR OF CONFLICT" retourne à la clairance en cours, en manœuvrant immédiatement mais sans précipitation. Les AP/FD peuvent être réengagés, comme nécessaire.
PNF	Annonce à l'ATC le retour vers la clairance : ATC xxx AFxxx CLEAR OF CONFLICT RETURNING TO FLxxx.
<p>● SANS R/A :</p>	
C/P	FD 1 et 2 ..... ON
<p>➤ Annonce vocale "CLIMB" ou "INCREASE CLIMB" en configuration d'atterrissage</p>	
PF	Effectue une procédure de remise de gaz.
PNF	Participe à la procédure de remise de gaz Informe le service ATC.

Un tableau récapitulatif décrit, pour chaque annonce vocale, la visualisation sur le PFD et la réaction attendue de l'équipage. Il distingue les avis correctifs initiaux pour lesquels la réaction de l'équipage est attendue dans les cinq secondes, des avis correctifs modifiés, pour lesquels il faut suivre dans les 2,5 secondes la commande de guidage proposée dans le plan vertical. L'annonce Adjust Vertical Speed est classée en tant que RA correctif modifié<sup>(26)</sup>. Dans la version du manuel d'utilisation en vigueur le jour de l'incident, il est indiqué, pour cette alarme, que *l'aiguille du variomètre se trouve dans un secteur rouge « interdit »*, et que l'équipage doit *adapter le vario pour amener l'aiguille dans le secteur vert*.

## **Historique**

Depuis l'installation du système TCAS au sein de la flotte Airbus d'Air France, les procédures ont été amendées plusieurs fois.

Elles ont été définies pour la première fois en juin 1997. La philosophie initiale consistait, en cas de RA, à déconnecter le pilote automatique et l'auto-poussée tout en conservant les directeurs de vol<sup>(27)</sup>. Le PF ajustait manuellement la poussée des réacteurs et la vitesse verticale afin de suivre l'avis de résolution.

En juillet 2001, un amendement a permis de prendre en compte le passage à la version 7 du TCAS. Le tableau récapitulatif des annonces vocales a été modifié en conséquence.

Une nouvelle modification est entrée en vigueur en avril 2002. Air France a appliqué l'amendement du FCOM proposé par Airbus, qui demandait :

- d'une part, de désactiver les deux directeurs de vol avant que le PF ne corrige la trajectoire en cas de RA ;
- d'autre part, de conserver l'auto-poussée pendant le suivi du RA<sup>(28)</sup>.

A la suite de cet amendement, des cas de dépassement de VMO/MMO ont été enregistrés en exploitation. Il arrivait qu'un des pilotes ne désactive pas son FD après le déclenchement du RA, l'A/THR ne passait pas alors en mode de maintien de la vitesse.

Compte tenu de ces événements, Air France a décidé de modifier à nouveau la procédure afin de demander aux équipages de désactiver les deux FD dès l'apparition d'un TA. Le nouvel amendement est entré en vigueur le 20 mars 2003, soit la veille du début de la rotation de l'équipage de l'AF053UL.

---

<sup>(26)</sup> L'alarme Adjust Vertical Speed peut pourtant être émise directement en tant que RA correctif initial ; cf 1.6.3.4.

<sup>(27)</sup> La consigne consistait à ne pas suivre la barre de guidage horizontale, mais la barre verticale pouvait être utilisée pour maintenir (ou aller vers, si le RA avait lieu pendant un virage) le cap permettant de respecter la clairance dans le plan horizontal.

<sup>(28)</sup> Après la déconnexion des deux FD, l'auto-poussée passe automatiquement en mode « Speed » de maintien de la vitesse instantanée.

Le tableau descriptif des manœuvres d'urgence associées à chaque type de RA a été mis à jour en avril 2004. Pour chaque annonce, un schéma synthétique présente la position respective des zones rouge et verte. Pour l'annonce Adjust Vertical Speed, il est désormais précisé que l'équipage doit *réduire le vario pour amener l'aiguille vers le secteur vert*.

#### 1.17.1.1.3 Procédures RVSM

Dans le chapitre 2 - Procédures normales, paragraphe Phases de vol - Croisière, le manuel d'utilisation A318/319/320/321 indique :

Dans l'espace RVSM, en montée ou en descente, si un autre avion est à moins de 5 NM et 2 000 ft, maintenir un vario maximum de 1 000 ft/min pour éviter les alertes TCAS.

#### 1.17.1.1.4 Autres procédures d'urgence

Un avis de résolution peut être comparé aux autres situations d'urgence associées à un danger extérieur immédiat : alarme GPWS de proximité du sol, alarme Wind Shear de cisaillement de vent. Dans ces deux cas, l'action requise doit être entreprise sans délai, à savoir poussée maximale et action à cabrer en butée pour la première<sup>(29)</sup>, poussée maximale et augmentation de l'assiette vers la consigne du FD pour la seconde.

Les moyens utilisés pour alerter l'équipage présentent des points communs avec les alertes TCAS :

- un signal visuel de couleur rouge : message « Pull Up » ou « Wind Shear » affiché sur le PFD ;
- une alerte vocale : annonces « Whoop Whoop Pull Up », « Terrain, Terrain Whoop Whoop Pull Up » et annonce « Wind Shear ».

#### 1.17.1.1.4 Comparaison avec les procédures Airbus

Les procédures de vol TCAS du FCOM A318/319/A320/A321 en vigueur le jour de l'incident sont présentées en annexe 4. Elles sont décrites dans les chapitres suivants :

- 3.04.34 Supplementary Techniques – Navigation, § TCAS

Dans cette version du FCOM, il était précisé que la FAA recommandait que *les pilotes limitent les vitesses verticales à 1 500 ft/min pendant les derniers 2 000 ft d'une montée ou d'une descente, notamment lorsqu'ils ont connaissance d'un trafic convergent dans le plan vertical et devant se stabiliser mille pieds au-dessus*

---

<sup>(29)</sup> Dans tous les cas en IMC ou de nuit pour les alertes vocales « Whoop Whoop Pull Up » et « Terrain Terrain Whoop Whoop Pull Up ».

*ou au-dessous de leur altitude assignée.* Cette recommandation a été reprise directement par Airbus dans le cadre d'un amendement au FCOM entré en vigueur en mars 2004. Elle n'a pas été reprise dans le manuel d'utilisation Air France.

La description de la procédure associée à l'alarme vocale *Adjust Vertical Speed* indique : *Adjust the vertical speed to that indicated on the PFD green area.* Depuis l'amendement publié en mars 2004, cette description est remplacée par : *Adjust the vertical speed to that indicated on the green area of the PFD, reducing climb speed or descent speed, as appropriate.*

- 3.02.34 Abnormal and Emergency – Navigation, § TCAS Warnings

La principale différence avec la procédure Air France concerne la séquence de désactivation des FD. En cas d'émission d'un RA, Airbus recommande de les désactiver après la déconnexion du pilote automatique.

### **1.17.1.2 Formation des équipages**

#### **1.17.1.2.1 Qualification de type A320**

Dans le cadre de son agrément TRTO, Air France dispense à ses équipages l'instruction nécessaire à l'obtention de la qualification de type Airbus A318/319/320/321.

La phase théorique comporte un cours sur le fonctionnement du TCAS et sur les procédures associées, d'une durée d'une heure trente. En ce qui concerne la phase pratique, chaque stagiaire réalise au minimum quatre exercices de suivi de RA TCAS en tant que PF, conformément au programme de formation homologué.

Les exercices sur simulateur relatifs aux procédures TCAS sont les suivants :

- Séance FFS 2. L'un des objectifs de la séance concerne l'utilisation du TCAS. Cet item est prévu dans le briefing. Deux exercices d'alarme TCAS doivent être réalisés (un exercice par stagiaire en tant que PF). Le premier exercice est réalisé pendant la première partie de la séance<sup>(30)</sup> lors d'une approche ILS sans radioalignement de descente. Le second exercice est réalisé en seconde partie de séance au cours d'une approche NDB. Les alarmes sont simulées avec le pilote automatique et l'auto-poussée activés, au cours du segment d'approche initiale ou dans le secteur d'attente. Le manuel indique que l'alarme doit être associée à un avis de résolution, sans en préciser le type.
- Séance FFS 3. Au cours des deux parties de la séance, une alarme TCAS avec avis de résolution est simulée en montée initiale, en pilotage manuel, avec les directeurs de vol et l'auto-poussée activés. Le type du RA n'est pas précisé.

---

<sup>(30)</sup> Chaque séance sur simulateur dure en moyenne quatre heures, pour deux stagiaires. Elle est constituée de deux parties de durée identique, où les rôles PF/PNF et/ou les rôles commandant de bord/copilote sont échangés entre les stagiaires.

- Séance FFS 3 bis. Cette séance n'est prévue que dans le cadre d'une première qualification de type multipilotes. Pendant la première partie de la séance, une alarme TCAS associée à un avis Climb est générée en descente en phase de pilotage manuel avec les directeurs de vol activés. Un second exercice de suivi de RA est prévu en seconde partie de séance, pendant un palier intermédiaire à 6 000 ft au cours de la montée. La séquence prévue doit faire intervenir une inversion du sens de correction proposé par le RA.
- Un exercice de type RA TCAS « Reversal » est à nouveau réalisé en seconde partie de la séance FTD 7 et en première partie de la séance FFS 8.
- Au cours de la première partie de la séance FFS 9, un RA de type Climb est simulé en montée, au passage du FL120.

#### 1.17.1.2.2 *Maintien des compétences*

Lors du stage de maintien des compétences réalisé annuellement, l'item TCAS est systématiquement abordé. Le type de RA simulé est laissé à la discréption de l'instructeur.

#### 1.17.1.2.3 *Scénarios TCAS sur simulateur*

Air France utilise ses propres simulateurs de vol pour la formation de ses équipages. La compagnie dispose de onze simulateurs de type « Full Flight »<sup>(31)</sup> pour les avions qu'elle exploite.

Parmi eux, seul le simulateur de type Boeing B777, installé en septembre 2003, est pourvu d'un équipement TCAS identique à ceux installés sur les avions. Tous les messages de la version 7 peuvent donc être reproduits, ils ne dépendent que de la programmation de la trajectoire de l'intrus et de la réaction de l'équipage.

Pour tous les autres simulateurs, l'entraînement aux alarmes TCAS est assuré uniquement par la programmation logicielle de scénarios. Il est nécessaire de construire un scénario pour chaque type d'alarme à simuler. Ceux développés par Air France sont les suivants :

- Monitor Vertical Speed
- Descend, Descend
- Descend, Descend renforcé en Increase Descent
- Descend, Descend suivi d'une réversion de mode Climb, Climb Now
- Descend, Crossing Descend
- Climb, Climb
- Climb, Climb renforcé en Increase Climb
- Climb, Climb suivi d'une réversion de mode Descend, Descend Now
- Climb, Crossing Climb

<sup>(31)</sup> A la date du 1<sup>er</sup> octobre 2003 : cinq simulateurs de type Airbus A318/A319/A320/A321, deux de type Airbus A330/A340, un de type Boeing B737, un de type Boeing B747-200/300, un de type Boeing B747-400 et un de type Boeing B777.

Aucun nouveau scénario n'a été développé lors de l'introduction de la version 7 du TCAS. Ainsi, l'alarme Adjust Vertical Speed n'est pas simulée.

#### *1.17.1.2.4 Formation à Airbus Training Center*

Dans le cadre de l'instruction nécessaire à l'obtention des qualifications de type, Airbus Training Center a développé douze scénarios TCAS joués sur les simulateurs de vol de type Full Flight des familles A320 et A330/340. Ils sont conformes à la version 7 du TCAS, simulée via un logiciel.

Six scénarios concernent l'émission de RA. Ils correspondent aux annonces suivantes :

1. Monitor Vertical Speed
2. Descend, Descend affaibli en Adjust Vertical Speed
3. Climb, Climb affaibli en Adjust Vertical Speed
4. Descend, Descend suivi d'une réversion de mode Climb, Climb Now
5. Descend, Crossing Descend
6. Sans indication de gisement de l'intrus, alarme Descend, Descend affaiblie en Adjust Vertical Speed

L'alarme Adjust Vertical Speed en tant que RA correctif initial n'est pas simulée.

Le programme d'entraînement à la qualification de type prévoit systématiquement les scénarios 1 (séance n° 4 – Procédures normales), 2 et 3 (séance n° 5 – Procédures normales) et 4 et 5 (séance n° 6 – Procédures normales).

### **1.17.2 L'organisme du contrôle**

#### **1.17.2.1 Procédures TCAS**

Les consignes à appliquer en cas d'avis de résolution TCAS sont précisées dans le Règlement de la Circulation Aérienne - Services de la Circulation Aérienne (RCA 2), Chapitre 2.3.3 Clairances et renseignements, §2.3.3.2 Délivrance des clairances et renseignements :

*2.3.3.2.6 : Les organismes du contrôle de la circulation aérienne ne sont plus en mesure d'assurer le respect des normes réglementaires d'espacement à un aéronef dont le commandant de bord déroge à une clairance pour donner suite aux avis de résolution fournis par un équipement embarqué d'évitement des abordages tel que l'ACAS. [...]*

*En conséquence, le contrôleur cesse d'être responsable de l'espacement de cet aéronef vis-à-vis des autres aéronefs pendant l'exécution de manœuvres entreprises par le commandant de bord pour donner suite à ces avis ou information.*

*2.3.3.2.7 : Le contrôleur n'intervient pas sur la trajectoire d'un aéronef dont le pilote a signalé qu'il suit un avis de résolution fourni par son équipement embarqué d'évitement des abordages jusqu'à ce que le pilote signale la fin de la manœuvre.*

#### **1.17.2.2 Formation ENAC**

Pendant leur formation à l'ENAC, les élèves contrôleurs suivent une formation théorique sur le fonctionnement du TCAS. Ils ne reçoivent pas de formation pratique aux procédures d'urgence associées.

#### **1.17.2.3 Formation aux situations inhabituelles**

La DNA a mis en place en 2002 à l'attention des contrôleurs un stage d'entraînement aux situations inhabituelles en-route. D'une durée de deux jours minimum, il comprend deux parties :

- une formation théorique relative à la compréhension des procédures :
  - procédures liées à une dégradation : dégradation des moyens techniques de contrôle, évacuation de la salle de contrôle, dégradation des moyens techniques avion, conditions météorologiques défavorables ;
  - procédures d'urgence ;
  - incidents opérationnels : Airprox, déroutement, alarme TCAS, etc. ;
  - procédures spéciales : vols spéciaux, délestage, etc.
- un entraînement pratique via des simulations ou des jeux de rôles.

Le stage peut s'appuyer sur des revisualisations de situations de contrôle réel. Il peut également inclure des démonstrations de fonctionnement du TCAS via le logiciel RITA du CENA montrant ce que voit le pilote et ce que voit le contrôleur. Le contenu précis du stage est laissé à l'initiative de chaque organisme de contrôle, en fonction notamment des particularités locales et des retours en exploitation.

Depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2003, la participation à ce stage est obligatoire dans le cadre du renouvellement triennal de l'autorisation d'exercer une qualification de contrôle, au même titre que le stage de maintien des compétences.

#### **1.17.2.4 Fonctionnement et traitement de la procédure Airprox**

La procédure Airprox caractérise une situation dans laquelle, de l'avis d'un pilote ou du personnel du contrôle de la circulation aérienne, la distance entre des aéronefs se déplaçant par leurs propres moyens ainsi que leurs positions et vitesses relatives ont été telles que la sécurité des aéronefs en cause peut avoir été compromise en vol ou au sol sur l'aire de manœuvre (OACI, doc. 4444 PANS/ATM).

En ce qui concerne l'incident du 23 mars 2003, la subdivision qualité de service/sécurité du CRNA/SE a validé ses conclusions lors de la commission locale du 15 mai 2003. Le dossier a été transmis au BNA le 23 mai 2003 puis examiné par la CNSCA le 15 décembre 2004. Les conclusions présentées dans la fiche de clôture d'enquête n° 03/015 relative à l'événement sont les suivantes :

### CLASSEMENT DE L'INCIDENT

Compte tenu :

- des valeurs de séparation minimales ;
- de la soudaineté de mise en conflit alors que les clairances étaient non conflictuelles, soudaineté empêchant un ratrappage de la part des contrôleurs ;
- de l'erreur d'interprétation par le pilote d'un avis TCAS ;

le classement retenu pour cet incident est :

" A "

" RISQUE D'ABORDAGE "

### CAUSES DE L'INCIDENT

- Mauvaise interprétation du premier message TCAS reçu par AF053UL.

#### Facteur contributif

- Vario élevé à l'approche du niveau.

### ENSEIGNEMENTS TIRÉS DE L'ANALYSE DE L'INCIDENT

- Il conviendrait de vérifier qu'un travail de recherche des éventuelles ambiguïtés de compréhension ou d'interprétation ait été réalisé lors de l'élaboration des textes diffusés aux Commandants de bord par le système ACAS lors des alarmes.
- Intérêt pour les pilotes d'un entraînement plus soutenu aux différentes résolutions TCAS autres que « climb » ou « descent » (messages et visualisation).
- Etudier la compatibilité des logiques des pilotes automatiques et du TCAS lors des acquisitions de niveau.
- Intérêt de visualiser les RA sur l'horizon artificiel.

## **1.18 Renseignements supplémentaires**

### **1.18.1 Synthèse des témoignages**

Remarque : les éléments factuels indiqués par les équipages de conduite et le personnel du contrôle sont cohérents avec le déroulement des faits identifiés par ailleurs. Seuls sont rapportés ici les éléments apportant un éclairage complémentaire utile pour l'enquête.

### 1.18.1.1 Commandant de bord de l'AF053UL

Le compte-rendu d'événement en exploitation rempli par le commandant de bord a été transmis au BEA. La description de l'incident est la suivante :

*En montée vers FL260 cap Nord en route sur ETREK  
20 h 00 avec MRS CTL 134.1  
annonce trafic CDB PF  
annonce TCAS R/A en passant FL255  
FD OFF  
annonce TCAS Adjust Climb  
attention focalisée sur vario  
lenteur à réagir et à doser la correction  
montée jusqu'à 265  
évitement final à vue par écart de cap à gauche*

Le rapport indique une séparation minimale verticale de 500 ft. Le degré de sévérité de l'Airprox a été jugé élevé. Il est confirmé dans le second volet du compte-rendu que le message RA était Adjust Climb ; il est jugé inopportun.

Dans ses contacts avec le BEA, le commandant de bord a apporté les précisions suivantes :

Le vol de l'incident était la dernière étape d'une rotation de trois jours qui suivait une période de vacances. La veille, la dernière étape s'était terminée à 20 h 50 min à Marseille. Les trois vols du jour de l'incident étaient les suivants : Marseille (départ 16 h 30 min) – Paris Orly – Marseille – Paris Orly (arrivée 21 h 50 min). Il ne se sentait pas particulièrement fatigué.

Pendant le briefing, les deux pilotes avaient indiqué qu'ils souhaitaient prendre leur repas après l'extinction des consignes lumineuses (passage du FL100), ce qui a été fait.

Remarque : les deux pilotes ne se souvenaient pas de ce qui les avait amenés à réduire à 300 kt la vitesse sélectionnée en montée, avant la capture du niveau assigné par le contrôle.

Lorsque le TCAS a émis l'avis de trafic, le commandant de bord a annoncé « Je pilote ». Il a diminué la distance affichée sur son ND et observé le trafic convergent sur l'écran (plot ambre). Il a désactivé le FD1 et posé sa main sur le mini-manche, le PNF a désactivé le FD2. Il a indiqué qu'il n'avait pas pris conscience de l'écart d'altitude avec l'autre avion ni du fait que celui-ci était au-dessus ou au-dessous de sa trajectoire. Le contrôle aérien ne lui avait pas transmis d'information de trafic. Le PNF a cherché à apercevoir l'autre avion.

Pour le commandant de bord, l'alarme vocale du RA avait été soit Adjust Vertical Speed soit Monitor Vertical Speed, il ne s'agissait pas d'une alarme de type Descend ou Climb.

Il a déconnecté le pilote automatique et observé les indications fournies par le TCAS sur le variomètre. Il a été gêné par la reprise en pilotage manuel, sans barres de tendance, d'un avion déjà stabilisé en montée par le pilote automatique (il n'y a pas de retour d'effort pour le pilote lorsqu'il reprend les commandes). Il distinguait sur le bandeau variomètre la zone rouge au-dessus de la zone verte, mais ne voyait pas clairement l'aiguille. Il a précisé que, si on lui avait masqué le PFD à cet instant, il n'aurait pas pu dire où se situait l'aiguille, ni même dans quelle zone. L'éclairage du dôme du poste de pilotage était en position dim (éclairage basse intensité). La couleur rouge lui a semblé agressive dans cette ambiance lumineuse.

Il a instinctivement tiré sur le manche pour continuer à monter. Convaincu que la correction était appropriée, il a interprété la persistance du RA :

- soit par un temps de réaction nécessaire pour que le TCAS prenne en compte la correction à cabrer ;
- soit par l'insuffisance de la correction effectuée.

Dans les deux cas, il a considéré qu'il devait poursuivre son action. Il a donc continué à tirer sur le mini-manche.

Le PNF lui a indiqué qu'il voyait l'autre avion. Il a regardé à l'extérieur et a vu des feux de navigation se dirigeant de la gauche vers la droite. Il est donc sorti de la boucle de pilotage associée au variomètre et a effectué une manœuvre d'évitement à vue. Bien qu'il soit difficile d'évaluer l'espacement de nuit, il a estimé que le trafic convergent était encore loin.

Pendant le virage, lorsque le TCAS a émis le RA Descend, il a immédiatement suivi la consigne.

Le contrôle aérien a demandé de confirmer la dernière clairance reçue. L'équipage a répondu qu'il avait bien compris le FL260, mais qu'il avait eu un problème TCAS.

Le commandant de bord a précisé que la présence du plateau repas ne l'avait jamais gêné ou perturbé et que la fin de la montée, à l'approche du niveau de croisière, constituait plutôt une phase de repos psychologique où la charge de travail était moins élevée que lors du décollage et de la montée initiale.

Tous les exercices TCAS qu'il avait réalisés lors des entraînements au simulateur étaient associés à des résolutions de type Climb ou Descend, jamais de type Monitor Vertical Speed ou Adjust Vertical Speed. Chez Air France, la formation aux procédures TCAS s'appuie sur une cassette vidéo dans laquelle seule l'instrumentation Boeing est présentée.

Le variomètre est peu utilisé en tant qu'instrument de pilotage. En utilisation normale, il permet notamment de contrôler la valeur du taux de descente lors d'une approche classique.

### 1.18.1.2 Copilote de l'AF053UL

Le copilote ressentait une fatigue normale, compte tenu du fait qu'il s'agissait du troisième et dernier vol d'une rotation de trois jours comportant dix étapes. La journée avait été chargée, avec des avions toujours pleins et des temps d'escale courts.

L'équipage ne s'est pas senti concerné par le message du contrôleur retardant la descente de l'autre avion. Le copilote a précisé que ni la présence de deux passagers compagnie dans le poste de pilotage ni celle des plateaux repas n'ont perturbé ou géné l'équipage au cours de l'événement. Il n'exclut pas que la veille des radiocommunications ait pu être altérée par la présence des passagers en poste.

Lorsque le TCAS a émis l'avis de trafic, le copilote a posé son doigt sur l'interrupteur du FD2, situé de son côté. Il a attendu deux à trois secondes l'ordre du commandant de bord de désactiver les directeurs de vol, afin de synchroniser leur action. Il a ensuite observé son ND. Compte tenu de la distance affichée (320 NM), les informations TCAS n'étaient pas présentées. Il a changé la distance affichée et repéré l'avion. Il l'a recherché à l'extérieur puis a regardé à nouveau les instruments de bord.

Le copilote ne se rappelait plus si l'alarme vocale associée au RA avait été Adjust Vertical Speed ou Monitor Vertical Speed. Il observe que cette annonce, en anglais, n'indique pas le sens de la correction à effectuer comme le font des alarmes telles que Push ou Descend. Il a regardé le variomètre en vue d'interpréter l'avis et a été surpris de ne pas voir l'aiguille. Il a vu le secteur vert en bas. Il a annoncé « TCAS Climb » au contrôleur, conformément à la phraséologie recommandée.

Le copilote a eu des difficultés à « *matérialiser* » les ordres donnés par le commandant de bord sur les commandes, en réaction au RA : les mini-manches ne permettent pas de visualiser directement les actions de l'autre pilote, comme cela peut être le cas avec un volant classique. Il a néanmoins compris que la correction était opposée au sens exigé par le RA mais estime que le temps nécessaire pour cette interprétation a été de l'ordre de trois secondes. Il a vu le trafic à l'extérieur. Simultanément, le RA a été renforcé en avis Descend. Le copilote a annoncé « *j'ai visuel, descends* » au commandant de bord, qui a réagi au RA renforcé en inversant le sens de la correction. Le copilote a précisé que ces dernières actions s'étaient pratiquement déroulées en même temps.

Depuis son arrivée dans la compagnie, il a connu trois changements des procédures d'urgence TCAS et trouve le dernier changement « *perturbant* » : la procédure consistant à débrayer le pilote automatique et l'auto-poussée en cas de RA lui paraissait plus « *naturelle et instinctive* ». Au cours d'un des vols de la même rotation, à la suite d'un avis de trafic, les deux pilotes avaient eu un doute quant à leur interprétation respective de la nouvelle procédure TCAS (utilisation des directeurs de vol) ; ils avaient discuté de cette procédure et l'avaient vérifiée dans le manuel d'exploitation.

Lors de la dernière séance d'entraînement sur simulateur qu'avait effectuée le copilote, les nouvelles procédures TCAS n'étaient pas encore en place. Pendant son stage d'entraînement à la qualification de type, seuls des RA de type Climb ou Descend avaient été simulés.

#### **1.18.1.3 *Equipage de l'AF048JP***

Le commandant de bord n'a pas été « *surpris* » par l'avis de trafic dans la mesure où, d'une part, le contrôleur avait transmis l'information de trafic correspondante, et, d'autre part, l'émission d'un TA est classique lors des stabilisations à mille pieds. De plus, l'information de trafic du contrôleur lui avait permis de voir l'autre avion avant l'émission du TA.

Lorsque le RA Climb a été émis, le copilote, aux commandes, a eu une réaction à cabrer rapide. Tout en surveillant cette action, le commandant de bord a pu garder l'intrus en vue pendant pratiquement toute la durée de l'événement. Il ne l'a perdu que quelques secondes, peu avant le croisement. L'augmentation de l'assiette avait réduit la visibilité vers le bas. Le commandant de bord a estimé que, lors du croisement, l'autre avion était passé environ quatre cents pieds en dessous, à une distance latérale comprise entre deux et trois cents mètres sur la droite. L'écart vertical a été confirmé par la lecture des informations TCAS sur le ND.

Il a été surpris d'entendre l'équipage de l'AF053UL annoncer qu'il suivait également un avis de résolution à monter. Il a pensé que la présence d'un troisième trafic au-dessous pouvait être responsable de cet avis. Il a ajouté que l'aiguille du variomètre avait toujours été maintenue dans le secteur vert pendant l'événement, avec une petite marge au-delà de la zone rouge. Il a estimé que le niveau de vol maximal atteint était le FL275.

Le copilote a confirmé les précisions apportées par le commandant de bord. Il a indiqué que, de nuit, la visibilité de la zone verte sur le variomètre était rendue difficile par le manque de contraste et par sa faible étendue.

Pour sa part, le commandant de bord n'a jamais eu de difficulté de lecture en vol des informations TCAS. Dans le cadre de l'entraînement au simulateur, réalisé souvent en conditions d'éclairage de nuit, il considère que la visibilité de l'aiguille du variomètre est correcte.

#### **1.18.1.4 *Contrôleurs***

Le contrôleur radar ne s'attendait pas à ce que la trajectoire de l'AF053UL, convergente avec celle de l'AF048JP mais avec un taux de montée faible, entraîne un RA TCAS. Il a été d'autant plus surpris qu'il avait transmis une information de trafic à l'AF048JP.

Il a précisé qu'en tant que contrôleur, il lui est difficile de ne pas agir lorsqu'un équipage annonce qu'il suit un RA. Ce besoin répond à la culture du contrôle et plus simplement à un besoin humain.

Le contrôleur organique a indiqué qu'il n'est pas possible de proposer un évitement latéral lors d'un événement TCAS dans la mesure où la précision latérale de deux plots rapprochés est insuffisante pour proposer une solution. Il a précisé que le filet de sauvegarde a pour rôle d'alerter le contrôleur sur une situation de conflit potentiel, mais n'est associé à aucune procédure particulière de résolution. Son activation est possible lors de certaines séparations normales.

Les deux contrôleurs n'avaient jamais fait de simulation d'événement TCAS, aussi bien lors de la formation que lors des stages de maintien des compétences. Il existe des notes de service sur le fonctionnement du TCAS et les procédures associées. Ces notes sont déposées dans les cases courrier.

Ils ont souligné que l'annonce du suivi des RA TCAS par les équipages se faisant en anglais pouvait être perturbante lorsque les autres échanges sont en français : le contrôleur peut avoir un doute sur l'origine d'une annonce faite en anglais par un équipage qui s'exprimait jusque-là en français.

## 1.18.2 Ergonomie et Facteur Humain

### 1.18.2.1 Présentation des RA sur les PFD Airbus

Le F-GPMF et le F-GHQA étaient équipés de la première génération d'écrans à tube cathodique dénommée EIS1.

#### 1.18.2.1.1 Choix des couleurs et des contrastes

Sur les PFD des Airbus, une aiguille indique par sa position dans le bandeau la valeur instantanée de la vitesse verticale. Elle est de couleur verte sur un fond gris dans des conditions normales de vol. Un nombre, de la couleur de l'aiguille, indique la valeur absolue de la vitesse verticale en centaine de ft/min<sup>(32)</sup>. Il figure dans un carré de fond noir situé au-dessus de l'aiguille pour les valeurs positives, au-dessous pour les valeurs négatives. Pour les avis de résolution, le choix des couleurs est basé sur le couple rouge/vert pour la distinction des zones de vitesse verticale, respectivement à éviter et à rejoindre. En cas de RA, l'aiguille devient rouge vif si elle se trouve dans la zone rouge. Lorsqu'elle passe dans la zone verte, l'aiguille redevient verte et simultanément la zone verte disparaît.

Le choix du couple rouge/vert paraît naturel et approprié pour représenter un RA. Il est cohérent avec la philosophie de conception standard des postes de pilotage d'avions. Le rouge est la couleur utilisée pour représenter une situation anormale ou d'urgence. Le vert est la couleur des indications associées à des systèmes en état de fonctionnement ou des valeurs normales.

---

<sup>(32)</sup> Le nombre n'apparaît pas pour les valeurs comprises entre 0 et  $\pm 200$  ft/min.

Au-delà de ce choix, une attention particulière doit être apportée au contraste lorsqu'il s'agit de présenter des informations devant être facilement détectées. Trois types de contraste peuvent être utilisés :

- le contraste de luminance ;
- le contraste chromatique, par le choix des couleurs ;
- le contraste de saturation, peu utilisé en ergonomie.

Divers travaux ont montré que le contraste de luminance représente l'outil le plus performant pour rendre un objet facilement détectable. Le contraste  $C_L$  de luminance (notée L) est défini par la formule suivante :

$$C_L = \frac{L(\text{Objet}) - L(\text{Fond})}{L(\text{Fond})}$$

La sensibilité aux contrastes varie non seulement entre les individus, mais également en fonction de la luminosité ambiante ou de la taille des informations. Même lorsque le contraste de luminance est élevé, les règles de l'art veulent qu'il soit renforcé par un contraste chromatique lorsque la technologie le permet. La perception des informations dépend moins alors des variations de sensibilité aux contrastes.

L'affichage d'une aiguille rouge vif sur un fond rouge lors d'un RA correspond à un contraste de luminance pure.

#### 1.18.2.1.2 Taille et forme de l'information

La largeur du bandeau variomètre est d'environ six millimètres. A titre de comparaison, celle du bandeau altimètre est d'environ 1,3 cm, celle du bandeau des vitesses d'environ 1,8 cm. La hauteur du bandeau variomètre est cohérente avec celle des autres indications du PFD, soit environ huit centimètres.

La vitesse verticale est représentée au moyen d'une aiguille mobile sur une échelle fixe, alors que la vitesse et l'altitude de l'avion sont représentées à l'aide d'un pointeur fixe sur une échelle défilante. Le mouvement d'un pointeur sur une échelle fixe permet de mieux percevoir la tendance et la direction d'une déviation par rapport à une valeur cible ou le rapprochement vers une valeur limite.

L'échelle fixe présente néanmoins un inconvénient : si l'écart des valeurs possibles est trop important, toutes ne peuvent être directement représentées. Un artifice consiste à comprimer les échelles grâce à une progression non linéaire. C'est le cas sur le bandeau variomètre Airbus où :

- la zone réservée aux valeurs comprises entre 0 et  $\pm 1\ 000$  ft/min représente environ 57 % de la hauteur totale de l'instrument (2,3 cm de part et d'autre du zéro) ;
- celle réservée aux valeurs comprises entre  $\pm 1\ 000$  ft/min et  $\pm 2\ 000$  ft/min, environ 25 % (un centimètre) ;

- celle réservée aux valeurs comprises entre  $\pm 2\ 000$  ft/min et  $\pm 6\ 000$  ft/min, environ 18 % (0,7 cm de part et d'autre). Cette zone n'est pas graduée (les graduations sont présentées jusqu'à 2 000 ft/min uniquement, tous les 500 ft/min). La course possible de l'aiguille est limitée à  $\pm 2\ 600$  ft/min. Pour les valeurs comprises entre  $\pm 2\ 000$  ft/min et  $\pm 2\ 600$  ft/min, une évaluation précise de la vitesse verticale au vu de la seule position de l'aiguille dans cette petite zone à l'extrémité de l'instrument est pratiquement impossible. Au-delà de  $\pm 2\ 600$  ft/min, la vitesse verticale n'est plus indiquée que par le nombre à l'extrémité du bandeau. Pour ces valeurs extrêmes, le pilote perd l'information de tendance que lui donnait le mouvement de l'aiguille.

En ce qui concerne la taille des informations, la pondération affectée aux zones rouge et verte est différente. La hauteur de la zone verte est toujours de 18 mm<sup>(33)</sup>. Celle de la zone rouge varie en fonction de la nature du RA. Elle peut être identique à celle de la zone verte ou jusqu'à trois fois plus grande, ce qui augmente sa capacité d'attraction de l'attention du pilote.

Lorsqu'un RA est affiché, la forme générale du bandeau variomètre change : le trapèze vertical se transforme en un rectangle de même largeur. Cette modification peut faciliter la détection de l'alerte en vision para centrale.

#### 1.18.2.1.3 Description de l'EIS2

Au milieu de l'année 2002, Airbus a introduit une nouvelle génération d'écrans, baptisée EIS2. La technologie des cristaux liquides a remplacé celle des tubes cathodiques. Au-delà de l'augmentation des possibilités en termes de couleurs et de symboles, les écrans à cristaux liquides apportent une meilleure lisibilité lorsque les conditions d'éclairement sont marginales.

La présentation du bandeau variomètre a été améliorée à cette occasion :

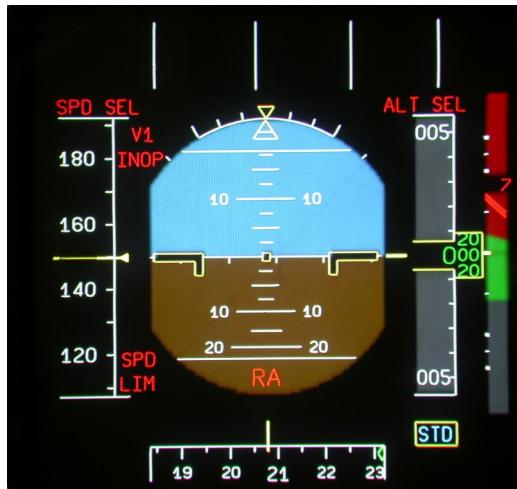
- sa largeur a été augmentée ;
- les graduations ont été étendues à toute la hauteur du bandeau, jusqu'à  $\pm 6\ 000$  ft/min, et sont désormais repérées par un chiffre ;
- l'aiguille dépasse sur le côté droit du bandeau, ce qui améliore sa détectabilité ;
- la valeur absolue pour laquelle l'aiguille se trouve en butée a été augmentée ;
- en cas de RA, la zone verte reste affichée pendant tout le conflit, même si l'aiguille se trouve dans ce secteur. L'aiguille est alors affichée en vert vif sur le fond vert de la zone<sup>(34)</sup>.

Les photographies ci-dessous, prises dans un simulateur Airbus, montrent un PFD EIS1 et un PFD EIS2 en cas de RA.

---

<sup>(33)</sup> Les zones rouge et verte définissant le RA sont en forme de trapèze. Cette valeur représente la longueur du côté droit du trapèze.

<sup>(34)</sup> Cet affichage était déjà proposé sur une version améliorée de l'EIS1 pour la gamme Airbus A330/340.



EIS1



EIS2

Les EIS2 équipent de série les Airbus A318 et A340-500/600. Ils doivent équiper de façon systématique toute la famille A320 à partir de 2005. Les écrans à tube cathodique sont encore disponibles sur les Airbus A319/320/321 en fonction de la demande des clients. Sur environ deux mille deux cents avions livrés de la famille A320 au 31 mai 2004, environ cent cinquante sont équipés d'écrans EIS2.

### 1.18.2.2 Ergonomie des alarmes vocales TCAS

#### 1.18.2.2.1 Rappel sur l'intérêt des alarmes sonores

Les alarmes sonores alertent le pilote, quelle que soit la position de sa tête ou de son œil, et elles le font plus vite que les indicateurs visuels. Elles se prêtent donc particulièrement bien à la transmission des messages d'attention, d'alerte et d'alarme. Des études ont montré que les réponses des pilotes à des alarmes avec voix enregistrées sont plus rapides que les réponses à des alarmes présentées visuellement.

Les alarmes sonores sont également utiles dans des situations où la vision peut être dégradée. L'obscurité, le soleil, les reflets et les vibrations peuvent gêner la vision, et spécialement la lecture des écrans.

Pour des situations requérant une action immédiate, une alarme vocale doit être courte, utilisant un ou deux mots clés. Ces mots doivent éviter tout doute au sujet du dysfonctionnement détecté et/ou de l'action à effectuer.

#### 1.18.2.2.2 Evolution des messages en fonction des versions TCAS

Au cours du développement du TCAS, les messages vocaux associés aux RA ont été modifiés en fonction des évaluations opérationnelles et du retour d'expérience. Dans le cadre du développement de la version 7, de nombreux travaux ont été menés aux Etats-Unis sous l'égide de la FAA.

Des séances sur simulateur ont montré que les annonces Reduce Climb ou Reduce Descent (version 6.04) pouvaient être mal interprétées par les pilotes. Il arrivait que ces derniers n'entendent que le second mot du message, par exemple Climb, et réagissent en tirant sur le manche là où il fallait pousser. L'annonce Adjust Vertical Speed, Adjust a donc été proposée en remplacement pour le projet de version 7. Aucun cas de correction inappropriée n'ayant été identifié pendant la deuxième campagne d'évaluation, l'annonce a été définitivement retenue.

Comme les messages Reduce Climb ou Reduce Descent qu'elle remplace, l'annonce Adjust Vertical Speed, Adjust est toujours associée à la nécessité de diminuer la vitesse verticale en valeur absolue.

Une autre modification a concerné les RA pour lesquels les pilotes devaient maintenir la vitesse verticale instantanée de l'avion. L'annonce Monitor Vertical Speed a été remplacée par Maintain Vertical Speed, Maintain<sup>(35)</sup>, jugée plus explicite. La première annonce invitait les pilotes à interpréter le RA sur l'écran, là où la seconde suffit pour comprendre la consigne.

#### **1.18.2.2.3 Compréhension de l'annonce Adjust Vertical Speed**

Les modifications intégrées dans la version 7 ont été validées à partir d'essais sur simulateur de Boeing 727, avec des pilotes qualifiés. Ces essais n'ont semble-t-il mis en évidence aucune difficulté particulière d'interprétation des alarmes vocales. Cependant, les événements en exploitation montrent que des pilotes rencontrent encore des difficultés avec l'alarme Adjust Vertical Speed. Cette annonce n'est pas explicite : elle indique qu'il faut agir mais n'indique pas dans quel sens la correction doit être effectuée.

Ces problèmes ont été identifiés et notifiés à la FAA dès le début du développement de la version 7. Des évaluations sur simulateur réalisées par le MITRE ont conclu que l'alarme Adjust Vertical Speed ne fournissait pas aux pilotes une information adéquate<sup>(36)</sup>.

#### **1.18.2.3 Le stress dans une situation d'urgence**

La conséquence immédiate d'une alarme est l'augmentation du stress des pilotes. Ainsi, le déclenchement d'un RA leur fait prendre conscience d'un risque d'abordage imminent.

Divers facteurs peuvent selon le cas renforcer le stress :

- l'activation d'autres alarmes visuelles et sonores,
- le sentiment de mal connaître la procédure,
- un retard à l'accès à l'information,
- l'augmentation soudaine de la charge de travail.

<sup>(35)</sup> L'alarme Monitor Vertical Speed a cependant été conservée pour les RA préventifs.

<sup>(36)</sup> Les résultats ont été présentés dans le rapport intitulé « Preliminary Human Factors Assessment of Proposed Changes to TCAS II Resolution Advisory Cockpit Displays and Aural Alerts, Volume 1 : Weakening Displays and Aural Messages », paru en 1996.

Ce dernier processus peut correspondre au syndrome de « l'ennui-panique » décrit dans le cadre de travaux sur l'impact de l'automatisation des postes de pilotage<sup>(37)</sup>. Ces travaux soulignent que le passage rapide entre une période à faible charge de travail et une phase à forte charge de travail serait susceptible d'entraîner une réaction de panique, notamment lorsque l'équipage a le sentiment que du fait de l'automatisation, il n'a pas nécessairement connaissance de la situation dans son ensemble.

Remarque : cette notion n'a pas fait l'objet de travaux expérimentaux mais repose sur des observations et des témoignages d'équipages.

Les effets du stress peuvent être les suivants :

- altération du processus de recueil d'information et de prise de décision ; les décisions prises sont moins nombreuses et prennent plus de temps, il y a tendance au retour à des modes connus et automatiques ;
- précipitation excessive ;
- focalisation de l'attention sur les éléments les plus saillants ;
- difficulté à revenir en arrière et à envisager de nouvelles solutions ;
- tendance renforcée à privilégier ce qui paraît confirmer l'analyse faite de la situation, même si celle-ci est erronée (biais de confirmation).

#### **1.18.2.4 Evaluation de la fatigue de l'équipage de l'AF053UL**

Le BEA a fait évaluer par un organisme spécialisé, le Laboratoire d'Anthropologie Appliquée (Université Paris V), la fatigue de l'équipage de l'AF053UL au moment de l'incident. Les résultats de cette étude sont les suivants :

- l'analyse des grilles de service des pilotes sur les quatre derniers mois a permis d'exclure l'existence de troubles des rythmes biologiques liés aux horaires de travail ;
- l'évaluation du niveau de fatigue avant l'incident au regard des cycles activité-repos des sept derniers jours, à partir d'un modèle prédictif de la fatigue, a montré un niveau de fatigue situé entre faible et moyen.

Cependant, bien que se déroulant à une heure favorable sur le plan chronobiologique, le vol concerné par l'incident représentait la troisième étape de la journée. Or, une étude<sup>(38)</sup> a montré que la troisième étape pouvait induire des niveaux de fatigue équivalents à ceux constatés au cours de vols du matin effectués par des équipages partiellement privés de sommeil.

---

<sup>(37)</sup> Norman (S.) ; Billings (C.E.) ; Nagel (D.) ; Palmer (E.) ; Wiener (E.L.) ; Woods (D.D.). - Aircraft automation philosophy : a source document. - NASA/Industry/FAA workshop, Flight Deck automation : promises and realities, National Aeronautics and Space Administration, Ames Research Center, California, 1988.

<sup>(38)</sup> Mollard (R.) ; Bourgeois-Bougrine (S.) ; Cabon (P.) ; Mourey (F.) & Coblenz (A.) (1997). Fatigue and sleepiness: same or different? - A research in Aviation. - In : Proceedings of the ninth International Symposium on Aviation Psychology, Columbus (Etats-Unis), 27 avril - 1<sup>er</sup> mai 1997, pp. 815-820.

### 1.18.3 Certification des systèmes TCAS

La certification des équipements TCAS II s'appuie en Europe sur un document publié dans les « JAA Administrative & Guidance Material, Section 1 : General, Part 3 : Temporary Guidance Leaflets ». Il s'agit de la « Leaflet n°8, Revision 2 : Certification Considerations for the Airborne Collision Avoidance System : ACAS II » (1<sup>er</sup> novembre 2000).

Ce guide est un document cadre qui fait lui-même référence aux documents suivants :

- FAA AC 20-131B, Airworthiness Approval of Traffic Alert and Collision Avoidance Systems (TCAS II) and Mode S Transponders ;
- FAA TSO C119b, Traffic Alert and Collision Avoidance System Airborne Equipment (TCAS II).

Le TSO définit les spécifications techniques. En ce qui concerne les performances, il exige que tout équipement TCAS II respecte les spécifications qui figurent dans le document RTCA DO-185A, Minimum Operational Performance Standards for Traffic Alert and Collision Avoidance Systems (TCAS) Airborne Equipment.

Dans le paragraphe du DO-185A relatif aux affichages des avis de résolution, § 2.2.6.2.3 RA/VSI (Integrated Tape Vertical Speed Indicator on a Primary Flight Display [PFD]), le sous-paragraphe relatif à l'affichage de la zone rouge précise :

*La zone rouge doit pouvoir être discernée et distinguée nettement. La longueur (hauteur) de la zone rouge doit être ajustée de façon appropriée lorsque le RA est renforcé ou atténué selon la logique d'anticollision.*

Le sous-paragraphe relatif à l'affichage de la zone verte précise :

*Une zone verte doit être utilisée pour indiquer une cible en termes de vitesse verticale chaque fois qu'une modification de la vitesse verticale est requise et quand la vitesse verticale (pas inférieure à 1 500 ft/min) doit être maintenue. En conséquence, une zone verte doit être affichée pour tous les RA à l'exception des RA préventifs initiaux. [...] La taille nominale de la zone verte doit être approximativement celle définie par la distance entre les marques 1 500 et 2 000 ft/min de l'échelle de vitesse verticale. [...] La zone verte doit pouvoir être discernée et distinguée nettement. De plus, la zone verte doit être plus large que la zone rouge de façon à favoriser la différentiation visuelle entre la zone verte et la zone rouge.*

Sur les PFD Airbus, les zones rouge et verte ont la même largeur.

#### **1.18.4 Evaluation OACI**

L'opportunité d'imposer des procédures opérationnelles visant à réduire la vitesse verticale lors des stabilisations à mille pieds afin d'éviter les alarmes TCAS ne fait pas l'unanimité. De telles procédures font actuellement l'objet d'une évaluation par l'OACI.

#### **1.18.5 Projet EMOTION-7**

Le projet EMOTION-7<sup>(39)</sup> a été réalisé en coopération par le CENA et Sofréavia, de janvier 2000 à décembre 2002, dans le cadre du programme ACAS d'Eurocontrol. Ce projet avait pour but d'identifier les difficultés potentielles, en termes de sécurité, liées à l'introduction de la version 7 du TCAS en Europe, et de proposer des recommandations de sécurité.

Le cas des avis de résolution inopportun lors des stabilisations à mille pieds a notamment été analysé. Parmi les solutions techniques pouvant être envisagées, le rapport final<sup>(40)</sup> mentionne la modification des lois de capture d'altitude des pilotes automatiques afin de réduire la probabilité de déclenchement d'un RA via une limitation progressive de la vitesse verticale des avions à l'approche du niveau sélectionné. Cette solution nécessite de prendre en compte le fonctionnement du TCAS dans le plan vertical pour la conception des lois de capture d'altitude.

---

<sup>(39)</sup> European Maintenance Of TCAS II version 7.0

<sup>(40)</sup> « ACAS Programme – EMOTION-7 Final Report – European Maintenance of TCAS II version 7.0 », ACAS/03-003, version 2.0, 24 janvier 2003.

## 2 - ANALYSE

### 2.1 Chronologie de l'incident

Avant l'incident, l'AF048JP était stable au FL270, à l'approche de son point prévu de descente. L'AF053UL avait été autorisé à monter au FL260. Les routes des deux avions étaient convergentes. La séparation verticale de mille pieds choisie par le contrôleur était conforme aux minimums de séparation en-route.

Quand l'AF048JP a demandé la descente, le contrôleur avait deux stratégies possibles : soit il faisait descendre rapidement l'AF048JP devant l'AF053UL – les deux avions se croisant de face – soit il retardait la descente de l'AF048JP en maintenant la séparation verticale de mille pieds jusqu'au croisement. Le contrôleur a choisi d'attendre le croisement pour faire descendre l'AF048JP. Il n'a pas fait d'information de trafic à l'AF053UL. La réglementation ne l'imposait pas.

A bord de l'AF053UL, la charge de travail de l'équipage était réduite après les phases de décollage et de montée initiale et s'était vraisemblablement accompagnée d'un certain relâchement. Cet état a pu être favorisé par une fatigue légère liée à l'effet « troisième étape » et par le dîner. Les radiocommunications sur la fréquence active étaient relativement denses. Dans cet environnement, l'équipage n'a pas perçu la conversation entre le contrôleur et l'équipage de l'AF048JP quant à la stratégie de croisement des deux avions. Compte tenu de l'échelle sélectionnée sur les écrans de navigation, les autres avions n'étaient pas présentés. Les pilotes n'avaient pas conscience de la présence du trafic convergent.

Trois mille pieds avant le niveau assigné par le contrôle, l'équipage a réduit la vitesse de l'avion, ce qui a amené l'augmentation de la vitesse verticale. Il n'est pas intervenu sur la trajectoire de capture d'altitude à l'approche du niveau.

Les entretiens avec l'équipage n'ont pas permis d'expliciter la raison de cette modification de la vitesse. Une telle action peut servir à accélérer la traversée d'une couche turbulente ou la traversée d'un niveau à la demande du contrôle aérien, ou tout simplement à augmenter les performances en montée. En effet, la vitesse verticale de l'avion avait diminué au cours des deux minutes précédentes.

Bien entendu, en l'absence de consignes spécifiques de l'exploitant, cette manœuvre était légitime. Toutefois, elle était de nature à favoriser le déclenchement de l'alarme TCAS.

Rien n'indiquait au système TCAS que l'AF053UL allait se stabiliser au-dessous de l'avion en palier. Le déclenchement simultané d'un TA à bord de chaque avion s'est donc très logiquement produit.

Compte tenu de l'information de trafic qu'il avait reçue, l'équipage de l'AF048JP avait conscience de la position relative de l'autre avion et ses ressources étaient déjà activées en préparation de la descente. Après le déclenchement du TA, il a identifié l'intrus.

En revanche, l'équipage de l'AF053UL est passé brutalement d'une période à faible charge de travail à une phase à charge de travail élevée. La sélection d'une échelle appropriée sur les écrans de navigation a retardé le processus d'identification de l'avion convergent. Au moment du déclenchement du RA, il n'avait toujours pas situé celui-ci.

Le commandant de bord s'est trouvé confronté à une procédure d'urgence, avec une conscience incomplète de la situation puisqu'il ne connaissait pas la position relative de l'intrus dans le plan vertical. L'annonce Adjust Vertical Speed, cohérente avec la logique du TCAS, ne lui a apporté aucune aide quant au sens de la correction à effectuer et il n'avait jamais rencontré un tel scénario à l'entraînement. La description de la procédure dans le manuel d'utilisation indiquait qu'il fallait ramener l'aiguille du variomètre dans la zone verte : il savait donc seulement qu'il devait modifier la trajectoire de l'avion à partir des indications sur le PFD.

La lecture de ces indications a été compliquée par la difficulté à voir l'aiguille rouge du variomètre sur le fond rouge de la zone à éviter. Cette difficulté a pu accroître son stress, en plus de la pression temporelle associée au danger de collision. D'autre part, pour déterminer le sens de la correction, il était nécessaire d'interpréter l'information du variomètre : aucun des deux pilotes n'y est spontanément parvenu.

Le commandant de bord a alors augmenté instinctivement l'assiette de l'avion en tirant sur le manche, ce qui était opposé à la correction demandée. Cette réaction pourrait répondre à différents mécanismes, éventuellement combinés :

- une attirance pour la zone rouge située en haut du bandeau variomètre, et dont il a jugé, après coup, la couleur vive. De plus, la zone rouge est plus étendue que la zone verte. L'attirance vers le stimulus le plus saillant correspond à un mécanisme connu sous état de stress ;
- un conditionnement pour le sens de la correction, à savoir toujours monter. L'inconvénient majeur des processus automatiques est qu'ils sont exécutés sans analyse. Si la situation change légèrement, le pilote peut déclencher une action qui n'est plus adaptée. Cette réponse automatique aurait pu avoir plusieurs origines :
  - l'association avec d'autres procédures d'urgence (cf. 1.17.1.1.4). La similitude des alarmes pourrait conduire inconsciemment un pilote à répondre de façon réflexe à un avis de résolution comme il le ferait pour une alarme GPWS ou Wind Shear, c'est-à-dire en tirant sur le manche ;
  - son expérience, globale ou récente, d'exercices TCAS sur simulateur. Si un pilote a vécu de façon répétée des scénarios de type Climb, il est possible qu'il associe systématiquement un RA, quel qu'il soit, à une réponse conditionnée à cabrer.

Tous les processus mentaux décrits précédemment sont inconscients et donc difficilement détectables. Il est important de noter que le témoignage du commandant de bord de l'AF053UL ne permet de privilégier aucun mécanisme. Ces hypothèses doivent donc être considérées avec précaution.

Pendant douze secondes, le commandant de bord a poursuivi son action. Son attention était focalisée sur le variomètre. Sous l'influence du stress, et bien que l'aiguille fût toujours dans la zone rouge, il n'est pas parvenu à réaliser son erreur. Un biais de confirmation (cf. 1.18.1.1) l'a même conforté dans son projet. Il a fallu l'annonce explicite Descend, Descend accompagnée de l'intervention de son copilote pour qu'il inverse sa manœuvre.

De son côté, le copilote n'a pas détecté immédiatement l'erreur du commandant de bord, comme le confirme son message à Marseille Contrôle, « Air France zero five three Uniform Lima TCAS Climb ». Les facteurs ayant contribué à l'interprétation inappropriée du RA étaient les mêmes que pour le commandant de bord : il avait une conscience incomplète de la situation et a éprouvé des difficultés à distinguer l'aiguille rouge du variomètre. La recherche visuelle de l'intrus et la transmission de l'information au contrôleur ont retardé l'instant où il a compris que la correction faite ne répondait pas au RA.

Le contrôleur a répondu au message standard de l'AF053UL en lui demandant d'arrêter la montée au FL260 en raison d'un trafic opposé mille pieds plus haut. La première partie du message – le rappel de la clairance initiale – était appropriée compte tenu de la nature du conflit et de la représentation mentale du contrôleur. Elle peut cependant apparaître en contradiction avec les procédures TCAS si l'on considère que le contrôleur est intervenu sur la trajectoire de l'avion. La deuxième partie du message – l'information de trafic relative à l'AF048JP – était opportune, et conforme à la réglementation.

## 2.2 Analyse des aspects systémiques

### 2.2.1 Entraînement au simulateur

L'alarme TCAS Adjust Vertical Speed n'est pas reproduite sur les simulateurs de vol d'Air France. De ce fait, les pilotes ne reçoivent pas d'entraînement pratique au suivi d'un tel RA et leur familiarisation avec cette alarme ne repose que sur la formation théorique et leur connaissance du manuel d'exploitation.

Or, l'alarme Adjust Vertical Speed n'est pas explicite quant au sens de la correction à effectuer. Elle nécessite que les pilotes interprètent l'affichage du PFD, et l'absence d'entraînement à cette situation ne permet pas de garantir un niveau homogène de réaction des équipages.

Les scénarios développés sur les simulateurs d'Airbus Training Center ne reproduisent l'alarme Adjust Vertical Speed qu'en tant que RA modifié, donc à la suite d'un premier avis correctif explicite de type Climb ou Descend. Les pilotes ne sont pas entraînés au cas où l'alarme Adjust Vertical Speed est émise en tant que RA correctif initial.

On constate de même qu'il n'y a pas d'entraînement au simulateur pour l'alarme Maintain Vertical Speed.

### **2.2.2 Procédure TCAS Adjust Vertical Speed**

La version du manuel d'utilisation A318/319/320/321 d'Air France en vigueur au moment de l'incident indiquait qu'en cas d'annonce Adjust Vertical Speed, *l'aiguille du variomètre se trouve dans un secteur rouge « interdit », et que la réaction attendue de l'équipage est d'adapter le vario pour amener l'aiguille dans le secteur vert*. Cette description très générale renvoyait l'équipage à la seule interprétation du PFD pour déterminer le sens de la correction. Elle n'apportait en soi aucune aide complémentaire.

L'annonce Adjust Vertical Speed correspond pourtant toujours à des cas où il convient de diminuer, en valeur absolue, la valeur de la vitesse verticale. Sans indiquer directement le sens de la correction à effectuer, une telle description permet d'aider les équipages à la décision : si l'avion est en montée, il faut pousser sur le manche, et inversement en descente.

Airbus a modifié en ce sens en mars 2004 le FCOM des avions A318/319/320/321. Air France a procédé de même en avril 2004 pour le manuel d'utilisation.

### **2.2.3 Capture d'altitude**

Au-delà des trajectoires respectives des deux avions, la valeur relativement importante de la vitesse verticale de l'AF053UL à l'approche du niveau assigné est à l'origine du déclenchement des alarmes TCAS.

La FAA recommande aux pilotes de limiter la vitesse verticale à l'approche du niveau assigné lors des croisements à mille pieds. Cette pratique est de nature à limiter le risque de déclenchement d'alarmes TCAS inopportunnes.

Les lois de capture d'altitude sous pilote automatique ne prennent pas en compte la nécessité d'amortir la vitesse verticale à l'approche du niveau assigné pour limiter le risque de déclenchement d'alarmes TCAS. Une action des pilotes est nécessaire pour cela.

## 2.2.4 Ergonomie de l'affichage des RA sur le PFD

Les pilotes ont éprouvé des difficultés à distinguer l'aiguille lors du RA. Le retour d'expérience a montré qu'il peut être difficile de distinguer les zones rouge et verte, notamment par conditions d'éclairage marginales. La lecture de la vitesse verticale est aussi pénalisée par l'imprécision de l'échelle non linéaire et la taille de l'instrument.

Ces contraintes peuvent devenir critiques si la qualité du suivi du RA dépend de la lecture instrumentale, comme c'est le cas pour le message non explicite Adjust Vertical Speed. Si l'on ajoute la nécessité d'interpréter l'information de vitesse verticale pour la convertir en variation d'assiette, et le stress qu'occasionne toujours l'apparition d'une alarme, les capacités humaines peuvent être vite dépassées.

## 2.2.5 Formation des contrôleurs aériens aux procédures TCAS

L'intervention du contrôleur radar lorsque l'AF053UL a indiqué qu'il suivait un RA n'a pas modifié le projet d'action des pilotes.

Néanmoins, de façon générale, une instruction d'un contrôleur à la suite d'un RA peut perturber la réaction d'un équipage. Un pilote est conduit par sa formation et son expérience à respecter les instructions du contrôle. Lorsqu'une alarme se déclenche, il doit tenir compte de tous les éléments à sa disposition pour acquérir une conscience de la situation la plus juste possible et il peut être perturbé si un ordre ATC est en contradiction avec son analyse. Compte tenu de la fréquence de rafraîchissement des informations radar, la situation peut avoir changé par rapport aux informations dont dispose le contrôleur. En particulier, alors que les données TCAS sont actualisées toutes les secondes, les données radar ne le sont que toutes les quatre, cinq ou huit secondes, voire plus, en fonction entre autres de la vitesse de rotation des radars concernés. Il est donc essentiel que le contrôleur n'intervienne pas sur la trajectoire d'un avion qui suit un RA, même lorsque le sens de la correction ne lui paraît pas approprié.

Il convient néanmoins d'analyser l'intervention du contrôleur en tenant compte de la culture propre à ce métier. Lorsque le pilote annonce qu'il suit un avis de résolution, il impose de fait l'inaction au contrôleur. Ce transfert momentané de responsabilité peut être déstabilisant pour celui-ci, notamment, là encore, lorsque le sens de la correction ne lui paraît pas approprié. Un entraînement spécifique paraît donc nécessaire pour garantir l'application homogène de procédures qui ne sont pas spontanées.

### 3 - CONCLUSIONS

#### 3.1 Faits établis par l'enquête

- L'AF053UL était en montée après le décollage de Marseille à destination de Paris Orly.
- L'AF048JP effectuait au FL270 le trajet Paris Orly / Marseille.
- Les deux équipages détenaient les licences et qualifications requises.
- Les deux avions possédaient un certificat de navigabilité en état de validité.
- Les deux avions étaient sur la même fréquence de contrôle.
- Le contrôleur radar et le contrôleur organique détenaient les qualifications requises.
- L'AF053UL a reçu l'instruction de monter au FL260 sur une route convergente avec l'AF048JP, maintenu stable au FL270. La stratégie de séparation verticale de mille pieds assurée par le contrôleur radar était conforme aux espacements réglementaires.
- Le contrôleur a fait une information de trafic à l'AF048JP.
- Lorsque l'AF053UL passait le FL230 en montée, l'équipage a sélectionné la vitesse de 300 kt au FCU. La vitesse verticale de l'avion a augmenté progressivement, depuis environ 1 000 ft/min jusque vers 3 500 ft/min, valeur atteinte au FL240.
- Lorsque l'AF053UL a passé le FL253, les TCAS de chacun des avions ont émis un avis de trafic.
- Les deux pilotes de l'AF053UL ont dû modifier la distance affichée sur leur écran de navigation pour visualiser l'intrus.
- Conformément à la procédure définie par l'exploitant, les deux pilotes ont désactivé leur directeur de vol.
- Avant que l'équipage de l'AF053UL ait identifié la position relative de l'autre avion dans le plan vertical, son TCAS a émis un avis de résolution Adjust Vertical Speed l'invitant à réduire sa vitesse verticale au-dessous de 1 000 ft/min en montée.
- Le commandant de bord, aux commandes, a eu des difficultés à distinguer l'aiguille du variomètre et à interpréter les informations présentées sur le PFD.
- Il a augmenté l'assiette de l'avion, dont la vitesse verticale a augmenté jusqu'à 5 900 ft/min.
- Le copilote a également éprouvé des difficultés de lecture du PFD. Il n'a pas détecté immédiatement l'erreur du commandant de bord.
- Dix secondes après l'émission de l'avis de résolution à bord de l'AF053UL, le TCAS de l'AF048JP a émis un avis de résolution Climb. Son équipage voyait l'autre avion, il a suivi l'avis de résolution.
- A bord de l'AF053UL, l'avis de résolution s'est renforcé en Descend. Simultanément, l'équipage a aperçu l'autre avion. Le commandant de bord a mis l'avion en descente puis a effectué un virage d'évitement à gauche.
- L'écart entre les deux avions au moment du croisement est estimé à 0,8 NM horizontalement et 300 ft verticalement.
- Pendant tout l'événement, les équipements TCAS des deux avions ont fonctionné normalement.

### 3.2 Causes de l'incident

L'incident résulte d'une correction inverse en réponse à l'avis de résolution Adjust Vertical Speed émis par le TCAS de l'AF053UL. Cette erreur est due à la difficulté qu'a rencontrée l'équipage pour interpréter l'avis de résolution, ce qui a conduit à une réaction instinctive du pilote en fonction et à une détection tardive par le pilote non en fonction.

Plusieurs facteurs ont contribué à l'événement :

- la combinaison de l'ergonomie des alarmes TCAS et du stress de l'équipage ;
- l'absence d'entraînement pratique des équipages sur simulateur à la procédure d'urgence TCAS Adjust Vertical Speed.

## 4 - RECOMMANDATIONS DE SECURITE

Rappel : conformément à l'article 10 de la Directive 94/56/CE établissant les principes fondamentaux régissant les enquêtes sur les accidents et les incidents dans l'aviation civile, une recommandation de sécurité ne constitue en aucun cas une présomption de faute ou de responsabilité dans un accident ou un incident.

### 4.1 Entraînement aux procédures d'urgence TCAS

Lors de l'émission du RA correctif Adjust Vertical Speed, l'équipage de l'AF053UL a été surpris par une annonce qu'il connaissait mal et qu'il n'avait jamais rencontrée au simulateur. L'enquête a montré qu'aucun équipage d'Air France n'était entraîné spécifiquement à cette alarme peu explicite, dans la mesure où le scénario correspondant n'existe pas sur les simulateurs de la compagnie. L'enquête a également montré que les simulateurs d'Airbus Training Center ne permettaient pas de reproduire l'alarme Adjust Vertical Speed en tant qu'avis de résolution initial.

En conséquence, le BEA recommande que :

- **la DGAC s'assure que les simulateurs de vol utilisés pour la formation et l'entraînement aux procédures d'urgence TCAS permettent de reproduire l'ensemble des scénarios associés aux avis de résolution ;**
- **la DGAC s'assure que les programmes de formation et d'entraînement aux procédures d'urgence TCAS couvrent l'ensemble des procédures de suivi d'avis de résolution.**

Par ailleurs, l'enquête a montré que les contrôleurs en fonction au moment de l'incident n'avaient pas été suffisamment préparés aux situations d'utilisation du TCAS.

En conséquence, le BEA recommande que :

- **la DGAC mette en place une formation des contrôleurs aériens aux procédures d'urgence TCAS.**

### 4.2 Description de la procédure Adjust Vertical Speed

L'édition du manuel d'utilisation A318/319/320/321 d'Air France en vigueur le jour de l'incident précisait seulement qu'en cas d'alarme Adjust Vertical Speed, l'équipage devait adapter le vario pour amener l'aiguille dans le secteur vert. Cette consigne n'a pas aidé l'équipage dans sa décision. Airbus a modifié en mars 2004 le FCOM de la famille A318/319/320/321 afin de préciser que l'annonce Adjust Vertical Speed correspondait toujours à un cas où la vitesse verticale de l'avion devait être diminuée en valeur absolue. Air France a intégré cette modification dans sa documentation. Il est naturellement souhaitable que tous les exploitants en fassent autant.

En conséquence, le BEA recommande que :

- **la DGAC s'assure que la précision sur le sens de réaction à une alarme Adjust Vertical Speed est bien prise en compte dans la documentation de tous les exploitants français ;**
- **la DGAC suggère cette vérification à ses homologues étrangers.**

#### **4.3 Capture d'altitude lors des stabilisations à mille pieds**

Lors de la mise au point des lois de capture d'altitude du pilote automatique de l'A320, les seuils de déclenchement des alarmes TCAS n'ont pas été pris en compte. De fait, la loi de diminution de la vitesse verticale lors des captures ne vise pas à limiter la probabilité du déclenchement d'alarmes TCAS, notamment dans les cas des stabilisations à mille pieds.

En conséquence, le BEA recommande que :

- **l'AESA étudie l'introduction dans les critères de certification des avions de transport d'une prise en compte des seuils de déclenchement des alarmes TCAS dans les lois de capture d'altitude.**

#### **4.4 Ergonomie de la présentation des informations TCAS**

Lors de l'émission du TA, les pilotes de l'AF053UL ont dû modifier la distance affichée sur les ND afin de pouvoir visualiser l'intrus. Cette manipulation est de nature à retarder l'analyse de ce type de situation. L'AF053UL était équipé de la version V32 du générateur de symboles des EFIS Airbus. La version V40 permet d'afficher les intrus quelle que soit l'échelle sélectionnée.

En conséquence, le BEA recommande que :

- **l'AESA rende obligatoire l'application du Service Bulletin n° A320-31-1127 relatif à l'installation de la version V40 du générateur de symboles des EFIS de la famille A320 ;**
- **l'AESA s'assure, pour tous les avions équipés d'écrans de navigation, que les intrus TCAS seront affichés quelle que soit l'échelle d'affichage sélectionnée.**

Lors de l'émission du RA, l'équipage de l'AF053UL a eu des difficultés à distinguer l'aiguille rouge du variomètre, affichée sur la zone rouge de valeurs à éviter. Le choix d'un contraste de luminance pure ne garantit pas une bonne visibilité de l'aiguille du variomètre lors de l'affichage d'un RA.

En conséquence, le BEA recommande que :

- **Airbus améliore la visibilité sur les PFD de l'aiguille du variomètre lors de l'affichage d'un RA.**

Plus généralement, aucun critère de certification ne permet actuellement d'évaluer la validité des interfaces homme-machine. Compte tenu du risque de collision inhérent à toute réaction inappropriée à un avis de résolution, il est important de s'assurer de la performance des interfaces TCAS.

En conséquence, le BEA recommande que :

- **l'AESA définisse des critères de certification pour la présentation des avis de résolution TCAS.**

# *Liste des annexes*

## **ANNEXE 1**

Transcription des radiocommunications

## **ANNEXE 2**

Courbes QAR

## **ANNEXE 3**

Extrait du manuel d'exploitation Air France (GEN.OPS) relatif aux procédures de vol TCAS (version en vigueur le jour de l'incident)

## **ANNEXE 4**

Procédures d'urgence TCAS extraites du FCOM Airbus A318/319/320/321 (version en vigueur le jour de l'incident)

## Transcription des radiocommunications

### \* AVERTISSEMENT \*

Ceci est une transcription des communications radio concernant l'incident grave survenu entre l'AF053UL et l'AF048JP le 23 mars 2003. Ce document est une synthèse de la transcription fournie par le CRNA/SE et de la transcription réalisée par le BEA sur un enregistrement audio sans référence de temps extrait de la bande d'enregistrement ATC. La synchronisation a été réalisée à partir des données QAR.

### \* GLOSSAIRE \*

(*)	Mots non compris
( )	Mots ou groupe de mots douteux ou ayant nécessité des écoutes et études spécifiques
NC	Non connu

**Les messages intéressant l'AF053UL et l'AF048JP sont en caractères gras.**

Heure UTC	Station émettrice	Station réceptrice	Message
19 h 54 min 05 s	AF048JP	ATC	<b>Marseille Air France zéro quarante-huit Juliett Papa bonsoir stable deux sept zéro Mach soixante-dix-huit</b>
NC	ATC	AF048JP	<b>Juliett Papa bonsoir gardez le Mach et Montélimar rappelez pour la descente c'est la trente-deux</b>
19 h 54 min 17 s	AF048JP	ATC	<b>Montélimar on rappelle pour la descente trente-deux Air France Juliett Papa merci</b>
19 h 54 min 34 s	AF053UL	ATC	<b>Marseille contrôle Air France zéro cinquante- trois Uniform Lima bonjour on approche du cent quatre-vingt-dix vers ETREK</b>
19 h 54 min 39 s	ATC	AF053UL	<b>Bonsoir Uniform Lima montez deux six zéro ETREK</b>
19 h 54 min 42 s	AF053UL	ATC	<b>Deux six zéro ETREK Uniform Lima</b>
NC	ATC	BZ-QR	Britair Québec Roméo vous atteindriez quel niveau dans dix minutes ?
NC	BZ-QR	ATC	Le trois vingt hein pour Britair Québec Roméo
NC	ATC	BZ-QR	D'accord je vous rappelle si les Bordelais sont ok
NC	BZ767TD	ATC	Marseille contrôle Britair sept soixante-sept Tango Delta bonsoir niveau deux sept zéro vers Montélimar avec Mach soixante-quatorze
NC	ATC	BZ767TD	Tango Delta bonsoir maintenez deux sept zéro Montélimar SAURG et c'est la trente-deux et point soixante-quatorze
NC	BZ767TD	ATC	Reçu on maintient les éléments Montélimar SAURG la trente-deux à l'arrivée Britair Tango Delta
NC	ATC	CFG585	Condor five eight five contact Marseille on one three two zero zero five good bye
NC	CFG585	ATC	(*) One three two zero zero five au revoir
NC	ATC	IBE3476	Iberia three four seven six route to OMASI direct report heading established
NC	IBE3476	ATC	D'accord we now fly to OMASI direct IBERIA three four seven six thank you
NC	ATC	AEU510	Flystar five one zero say heading
NC	AEU510	ATC	Flystar five one zero heading zero zero five
NC	ATC	AEU510	Zero zero five roger turn left ten degrees heading three five five for spacing
NC	AEU510	ATC	Turning left heading three five five (*) Flystar five one zero
NC	ATC	BZ-QR	Britair Québec Roméo montez niveau trois deux zéro
NC	BZ-QR	ATC	En montée vers le trois deux zéro Britair Québec Roméo
19 h 57 min 19 s	AF048JP	ATC	<b>Marseille Juliett Papa pour descendre</b>
19 h 57 min 25 s	ATC	AF048JP	<b>Air France Juliett Papa euh vous descendriez avec un taux rapide ou pas parce que j'ai un trafic en face décollage de Marseille qui monte vers deux soixante pour l'instant</b>

Heure UTC	Station émettrice	Station réceptrice	Message
19 h 57 min 36 s	AF048JP	ATC	On peut descendre rapidement si ça vous intéresse Air France Juliett Papa
19 h 57 min 39 s	ATC	AF048JP	Euh ça serait la descente si je vous autorise pas tout de suite dans trois minutes le croisement est dans trois minutes
19 h 57 min 45 s	AF048JP	ATC	(attendre alors) Air France Juliett Papa
19 h 57 min 47 s	ATC	AF048JP	D'accord
19 h 57 min 51 s	IBE3476	ATC	Iberia three four seven six our heading to OMASI is zero six five
19 h 57 min 57 s	ATC	IBE3476	Roger keep the heading please
19 h 57 min 59 s	IBE3476	ATC	We continue on heading Iberia three four seven six
19 h 58 min 03 s	EZY259	ATC	Marseille bonjour Easy two five nine flight level three three zero Montélimar
19 h 58 min 08 s	ATC	EZY259	Two five nine bonsoir route to MEDOK and maintain three three zero
19 h 58 min 11 s	EZY259	ATC	Maintain three three zero Easy two five nine
NC	ATC	AEU510	Flystar five one zero the traffic conflicting traffic is at your twelve o'clock left to right same level nine miles
NC	AEU510	ATC	(ok) Coming left to right (*) of our level Flystar five one zero (appreciate)
NC	CFG891	ATC	Marseille bonsoir Condor eight nine one flight level three four zero
NC	ATC	CFG891	(*) Bonsoir maintain three four zero to La Tour du Pin
NC	CFG891	ATC	Direct La Tour du Pin Condor eight nine one flight level three four zero
20 h 00 min 10 s	ATC	AF048JP	Juliett Papa vous allez croiser le trafic dans trente secondes il stabilise au deux soixante
20 h 00 min 16 s	AF053UL	ATC	Air France zero five three Uniform Lima TCAS climb
20 h 00 min 22 s	ATC	AF053UL	Uniform Lima stop the climb at two six zero as cleared opposite is one thousand feet above
20 h 00 min 32 s	AF048JP	ATC	Juliett Papa TCAS climb
20 h 00 min 37 s	ATC	AF053UL	Uniform Lima Marseille ?
20 h 00 min 39 s	AF053UL	ATC	Air France Uniform Lima clear of conflict
20 h 00 min 44 s	ATC	AF053UL	Yes but you were cleared to flight level two six zero
20 h 00 min 50 s	AF048JP	ATC	Juliett Papa clear of conflict on retourne au deux sept zéro on était en vue du trafic hein
20 h 00 min 55 s	ATC	AF053UL	Ok Air France Uniform Lima Marseille ?
20 h 00 min 57 s	AF053UL	ATC	Uniform Lima ?
20 h 00 min 59 s	ATC	AF053UL	Ok ah vous êtes au niveau deux soixante de nouveau parce que j'ai un autre trafic à deux sept zéro que vous allez croiser dans vingt secondes
20 h 01 min 04 s	AF053UL	ATC	Oui Monsieur nous avions eu une résolution de trafic on a été obligé de monter
20 h 01 min 08 s	AF053UL	ATC	On a de nouveau une résolution de trafic

Heure UTC	Station émettrice	Station réceptrice	Message
20 h 01 min 11 s	ATC	AF053UL	D'accord ben continuez à descendre hein parce que le trafic il est stable à deux sept zéro si vous voulez pas vous faire peur une deuxième fois j'suis désolé
NC	TD	ATC	Si le trafic c'est Tango Delta on a visuel sur le trafic
20 h 01 min 26 s	ATC	AEU510	Flystar five one zero route to AUTUN
20 h 01 min 29 s	AEU510	ATC	Route to AUTUN Flystar five one zero merci
20 h 01 min 32 s	ATC	AEU510	Contact Marseille on one three three two three five au revoir
20 h 01 min 37 s	AEU510	ATC	(*) Flystar five one zero
20 h 01 min 39 s	ATC	AEU510	One frequency one three three decimal two three five
20 h 01 min 44 s	AEU510	ATC	Three three two three five and confirm now Alpha Tango November
20 h 01 min 48 s	ATC	IBE3476	Break break Iberia three four seven six contact Marseille one three two zero zero five au revoir
20 h 01 min 53 s	IBE3476	ATC	One three two zero zero five Iberia three four seven six good day
20 h 01 min 57 s	ATC	BZ-QR	Euh Britair Québec Roméo vous arrêtez la montée au niveau trois cents trois zéro zéro
20 h 02 min 01 s	BZ-QR	ATC	La montée au niveau trois cents Britair Québec Roméo
20 h 02 min 04 s	ATC	AF048JP	<b>Air France Juliett Papa descendez niveau deux zéro zéro</b>
20 h 02 min 07 s	AF048JP	ATC	Descend deux zéro zéro Air France Juliett Papa et on dépose un un airmiss y'avait cinq cents pieds pour nous euh ... euh de séparation hein...
20 h 02 min 14 s	ATC	AF048JP	(Oui mais) je vous le conseille et moi je vais déposer une demande d'enquête de mon côté parce que le trafic était autorisé deux soixante et j'comprends pas très bien pourquoi le... le TCAS vous... lui a demandé de monter
20 h 02 min 27 s	ATC	AF048JP	Donc on va être deux à déposer quelque chose et comme ça ça va conforter nos thèses appelez Marseille sur cent vingt-trois neuf pour plus bas bonne soirée Monsieur
20 h 02 min 36 s	AF048JP	ATC	<b>Vingt-trois neuf Air France Juliett Papa bonne soirée à vous</b>
20 h 02 min 38 s	ATC	TD	Britair Tango Delta Marseille ?
20 h 02 min 41 s	TD	ATC	(*) J'écoute ?
20 h 02 min 42 s	ATC	TD	Oui Tango Delta descendez niveau deux zéro zéro
20 h 02 min 45 s	TD	ATC	On descend vers le niveau deux cents Britair Tango Delta
20 h 02 min 48 s	ATC	TD	Et vous appelez Marseille cent vingt-trois neuf bonne soirée
20 h 02 min 50 s	TD	ATC	Vingt-trois neuf bonne soirée
<b>20 h 02 min 52 s</b>	<b>ATC</b>	<b>AF053UL</b>	<b>Uniform Lima montez niveau deux huit zéro</b>
<b>20 h 02 min 56 s</b>	<b>AF053UL</b>	<b>ATC</b>	<b>Uniform Lima montée niveau deux huit zéro</b>

Heure UTC	Station émettrice	Station réceptrice	Message
20 h 03 min 09 s	ATC	AF-YH	Air France Yankee Hotel contactez Marseille cent vingt-huit cent soixante au revoir
20 h 03 min 13 s	AF-YH	ATC	Cent vingt-huit cent soixante Yankee Hotel au revoir
<b>20 h 03 min 17 s</b>	<b>AF053UL</b>	<b>ATC</b>	<b>Oui Uniform Lima idem hein on dépose un ASR (*)</b>
<b>20 h 03 min 20 s</b>	<b>ATC</b>	<b>AF053UL</b>	<b>Pardon ?</b>
<b>20 h 03 min 21 s</b>	<b>AF053UL</b>	<b>ATC</b>	<b>Oui Uniform Lima on dépose un airmiss aussi</b>
<b>20 h 03 min 23 s</b>	<b>ATC</b>	<b>AF053UL</b>	<b>Oui d'accord pas de problème Monsieur</b>
NC	ATC	BZ-QR	Britair Québec Roméo appelez Bordeaux cent vingt-trois soixante-deux bonne soirée
NC	BZ-QR	ATC	Vingt- trois soixante-deux Britair Québec Roméo au revoir
NC	AEU510	ATC	Marseille confirm the frequency for Flystar five one zero please
NC	ATC	AEU510	Flystar five one zero the frequency is one three three decimal two three five
NC	AEU510	ATC	Three three two three five merci Flystar five one zero
<b>20 h 04 min 00 s</b>	<b>ATC</b>	<b>AF053UL</b>	<b>Air France Uniform Lima Marseille ?</b>
<b>20 h 04 min 02 s</b>	<b>AF053UL</b>	<b>ATC</b>	<b>Uniform Lima</b>
<b>20 h 04 min 03 s</b>	<b>ATC</b>	<b>AF053UL</b>	<b>Oui euh vous me confirmez que la première clairance est la seule que je vous ai donnée avant la résolution TCAS c'était bien le niveau deux cent soixante</b>
<b>20 h 04 min 11 s</b>	<b>AF053UL</b>	<b>ATC</b>	<b>Affirme Monsieur (*) le deux six zéro et donc on... le TCAS avant qu'on arrive au deux six zéro nous a donné une information euh... à TCAS CLIMB</b>
<b>20 h 04 min 19 s</b>	<b>ATC</b>	<b>AF053UL</b>	<b>D'accord non non mais c'est pour pouvoir euh fournir des renseignements et parce que là y'a vraiment un... un gros problème hein</b>
<b>20 h 04 min 34 s</b>	<b>AF053UL</b>	<b>ATC</b>	<b>Tout à fait j'comprends bien le le problème on a eu le problème aussi on a été un petit peu heu... les bras crois... enfin pas... la situation était bizarre hein donc on va... on va essayer de voir ce qui s'est passé aussi</b>
<b>20 h 04 min 47 s</b>	<b>ATC</b>	<b>AF053UL</b>	<b>Tout à fait non mais y faut y faut débrouiller ce truc là parce que c'est... hein bon... on peut donner une mauvaise clairance mais là en l'occurrence les les clairances étaient bonnes et bon c'est c'est... c'est un peu curieux</b>
<b>20 h 04 min 58 s</b>	<b>AF053UL</b>	<b>ATC</b>	<b>C'est curieux (surtout en arrivant à) ces niveaux là ben on n'aurait pas dû avoir le TCAS on n'avait pas des taux extraordinaires donc il a il l'a vu arriver j'sais pas ce qui s'est passé</b>

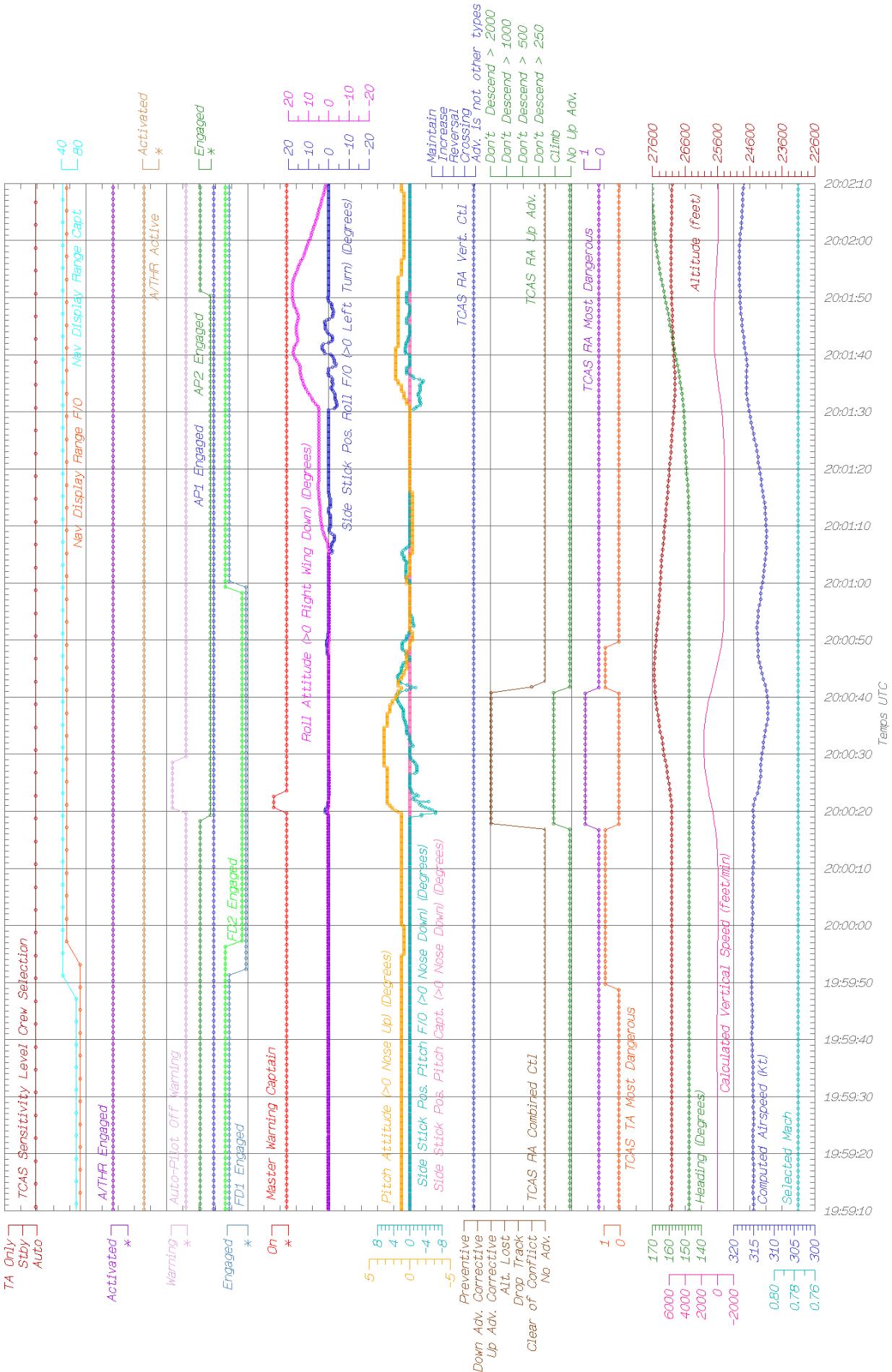
Heure UTC	Station émettrice	Station réceptrice	Message
20 h 05 min 04 s	ATC	AF053UL	C'est sûr vous montiez lentement j'avais j'l'avais constaté et donc y devait y avoir aucun problème et en plus le trafic en face était averti que vous montiez en face de lui donc bon
20 h 05 min 15 s	AF053UL	ATC	L'électronique ça marche pas toujours comme il faut hein
20 h 05 min 18 s	ATC	AF053UL	Je me doute enfin bon déjà tout le monde est vivant c'est l'essentiel euh contactez Marseille cent trente-cinq quatre Uniform Lima je vous souhaite une bonne nuit
20 h 05 min 26 s	AF053UL	ATC	Trente-cinq quatre Uniform Lima bonsoir Monsieur
<b>Fin de la transcription</b>			

## Courbes QAR

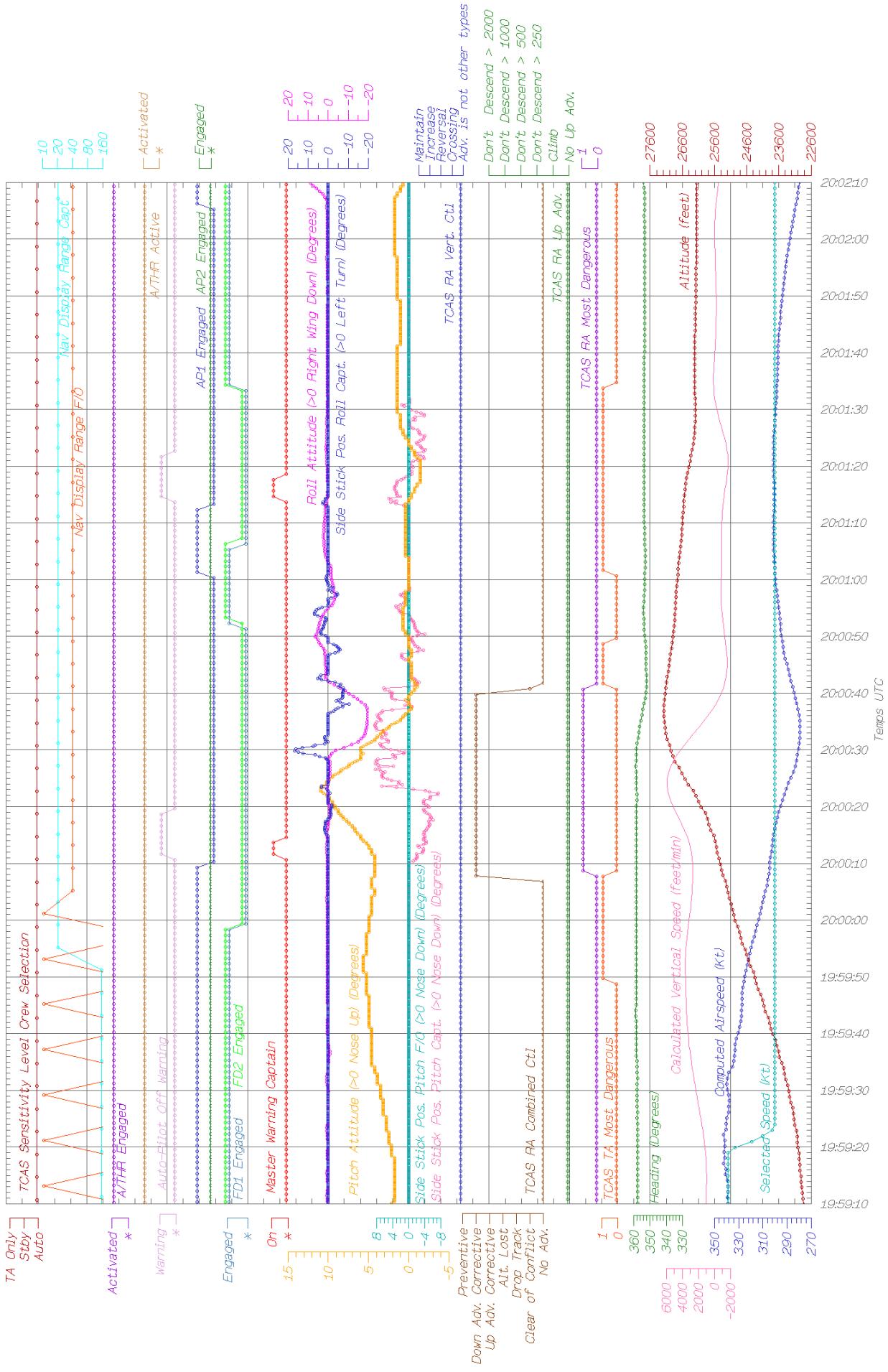
Remarques :

- Enregistrement du paramètre « Nav Display Range ».  
Le rotateur permettant de sélectionner la distance affichée sur le ND a six positions : 10, 20, 40, 80, 160 et 320 NM. Seules les cinq premières valeurs sont codées dans l'enregistrement QAR. En conséquence, lorsque au cours du vol le paramètre enregistré prend successivement les valeurs minimum et maximum possibles, on peut considérer que le rotateur est positionné sur une distance affichée de 320 NM.
- La vitesse verticale de l'avion n'est pas un paramètre enregistré. Sa valeur a été calculée à partir de la variation de l'altitude enregistrée.

F-GHQ(A) (AF048JP)



F-GPMF (AF053UL)



# Extrait du manuel d'exploitation Air France (GEN.OPS) relatif aux procédures de vol TCAS (version en vigueur le jour de l'incident)

## GEN.OPS

AIR FRANCE

OA.NA

## PROCEDURES DE VOL Procédures TCAS

EXP 08.03.06

Page 01

20 MAR 03

### 1. GENERALITES

Le principe du système anticollision TCAS (Traffic alert and Collision Avoidance System) repose sur l'utilisation des transpondeurs équipant les aéronefs.

Aucune protection n'est assurée vis-à-vis des aéronefs non équipés de transpondeur, ou en cas de panne de cet équipement.

Le TCAS permet à l'équipage :

- d'être alerté des risques potentiels de collision,
- d'effectuer, si nécessaire, dans le plan vertical, les manœuvres d'évitement appropriées,
- d'être conscient de la proximité d'aéronefs.

### 2. CONSIGNES GENERALES

Le mode RA du TCAS doit être utilisé en permanence, sauf restriction publiée sur les fiches d'aérodrome.

Les manuels TU précisent les utilisations particulières en cas d'avion non intégré.

Le système TCAS est un moyen de secours. Hors RA, les informations qu'il fournit à l'équipage ne doivent pas se substituer aux instructions des services du Contrôle Aérien. Les indications de gisement du système TCAS ne sont pas précises et ne doivent pas être utilisées pour effectuer des évitements dans le plan horizontal.

#### 2.1. TA (Traffic Advisory)

En cas d'émission d'un TA, l'équipage doit continuer à se conformer à la clairance ATC en vigueur. Le CDB déclenche la "manœuvre d'urgence TCAS" et répartit les tâches afin que chacun se prépare à un éventuel RA. La recherche visuelle de l'intrus doit s'effectuer de manière coordonnée entre les membres de l'équipage, le PF privilégie la surveillance des instruments.

Aucun message de l'avion vers l'ATC n'est prévu pendant la durée du TA. Au contraire, la fréquence sera, si possible, laissée disponible pour une intervention ATC.

#### 2.2. RA (Resolution Advisory)

Le déclenchement d'un RA TCAS signifie un risque de collision dans un délai de 20 à 48 secondes selon l'altitude. L'ordre vertical TCAS devient alors prioritaire par rapport aux clairances ATC (voir note 1).

En conséquence, l'équipage doit :

- identifier clairement la nature de l'ordre, son sens et son amplitude,
  - suivre l'ordre TCAS, sauf si le CDB juge que cela compromet de façon évidente la sécurité immédiate du vol (voir notes 2 et 3),
- Si l'ordre TCAS est contradictoire avec la clairance d'altitude ATC (reçue avant ou pendant la durée du RA), suivre impérativement l'ordre TCAS qui est prioritaire,
- Informer dès que possible le contrôle en utilisant la phraséologie spécifique ("TCAS climb" ou "TCAS descent"),
  - dans le plan horizontal, suivre la clairance ATC (reçue avant ou pendant la durée du RA),
  - dès la fin du RA, se conformer à nouveau aux clairances d'altitude et en informer l'ATC en utilisant la phraséologie spécifique ("clear of conflict...").

Les ordres TCAS doivent être suivis sans précipitation et en évitant les réactions excessives : il est important d'ajuster la vitesse verticale à la valeur demandée par le système, afin d'assurer la séparation verticale requise tout en limitant les risques d'interférences avec les autres trafics.

*Note 1 : Le contrôleur cesse d'être responsable des espacements pendant les manœuvres consécutives aux RA. Il ne doit pas intervenir sur la trajectoire d'un avion dont le pilote a signalé qu'il suit un RA, tant que ce dernier n'a pas annoncé la fin de la manœuvre.*

*Note 2 : Le trafic acquis visuellement peut ne pas être celui qui provoque le RA. La perception visuelle peut induire en erreur particulièrement de nuit.*

*Les autres alertes critiques : stall warning, E-GPWS, windshear ont priorité sur le TCAS.*

*Note 3 : S'il ne peut exécuter la manœuvre, le pilote se gardera d'aller dans le sens contraire de l'ordre TCAS sous peine de mettre en défaut la coordination entre les TCAS. (Exemple : Si la performance ne permet pas de suivre un RA à monter, il est impératif de ne pas descendre).*

### 3. CONSIGNES D'UTILISATION EN CAS D'ALARME TCAS

Lorsqu'un TA ou un RA est émis, le TCAS génère au travers d'une voix synthétique, une alerte ou une alarme vocale.

#### 3.1. LES DEUX PILOTES SONT DISPONIBLES A LEURS PLACES

L'un d'eux est CDB ou faisant fonction (OPL désigné lors de la prise de repos du CDB).

- lors du TA, le CDB fait l'annonce "TCAS, je (tu) Pilote(s)"
- le PF se prépare à un éventuel RA et suit l'évolution du trafic sur l'indicateur TCAS (tête basse) pendant que le PNF (et l'OMN en PEQ 3) essaie(nt) d'acquérir le visuel.
- lors du RA, le PF suit les ordres TCAS en pilotage manuel. Le PNF (et l'OMN en PEQ 3) surveille(nt) le suivi des ordres TCAS jusqu'au retour à la clairance initiale, et transmet le message ATC.

#### 3.2. UN SEUL PILOTE EST DISPONIBLE

Il est donc PF. Ceci peut survenir en cas de prise de repos à son poste ou d'absence momentanée de l'autre pilote.

- le PF fait l'annonce : "TCAS, je pilote". Cette annonce est particulièrement importante si le PNF est à proximité.

- le PF se prépare à l'action et suit l'évolution du trafic sur l'indicateur TCAS (tête basse).

- lors du RA, le PF suit les ordres TCAS en pilotage manuel. Il transmet le message ATC dès que la charge de travail le lui permet.

### 4. COMPTE-RENDU RA / TCAS

Un ASR doit être rempli en cas de RA. Un seul imprimé est utilisé si le CDB souhaite associer un AIRPROX au RA/TCAS.

**Procédures d'urgence TCAS**  
**extraites du FCOM Airbus A318/319/320/321**  
 (version en vigueur le jour de l'incident)

<b>A318/A319/A320/A321</b> <b>AIR FRANCE</b>  <small>FLIGHT CREW OPERATING MANUAL</small>	<b>ABNORMAL AND EMERGENCY</b> <b>NAVIGATION</b>	3.02.34      P 17 <small>SEQ 105      REV 33</small>
---	--	---

<b>TCAS WARNINGS</b>	
<b>R</b>	<p>■ <b>Traffic advisory : "TRAFFIC" messages</b>          Do not maneuver based on a TA alone.          Attempt to see the reported traffic.</p>
<b>R</b>	<p>■ <b>Preventive resolution advisory : "MONITOR VERTICAL SPEED" message.</b>          Maintain or adjust the vertical speed, as required, to avoid the red area of the vertical speed scale.          Attempt to see the reported traffic.          Notify ATC.          When "CLEAR OF CONFLICT" is announced :          Resume normal navigation in accordance with ATC clearance.</p>
<b>R</b>	<p>■ <b>Corrective resolution advisory : All "CLIMB" and "DESCEND", or "MAINTAIN VERTICAL SPEED MAINTAIN", or "ADJUST VERTICAL SPEED ADJUST" type messages.</b>          Respond promptly and smoothly to a RA.          – AP (if engaged) ..... OFF  <i>The TCAS orders may require an incremental load factor, which is greater than that achieved by the autopilot.</i>          – BOTH FDs ..... OFF          Adjust the vertical speed, as required, to that indicated on the green area of the vertical speed scale.  <i>Note : Avoid excessive maneuvers, while keeping the vertical speed outside the red area of the VSI and within the green area. If necessary, use the full speed range between <math>V_{\text{d},\text{max}}</math> and <math>V_{\text{max}}</math>.</i>          Respect stall, GPWS, or windshear warnings.          Attempt to see the reported traffic.          Notify ATC.          When "CLEAR OF CONFLICT" is announced :          – Resume normal navigation, in accordance with ATC clearance.          AP/FD can be re-engaged, as required.</p>
<b>R</b>	<p>● <b>GO AROUND procedure must be performed when a RA "CLIMB" or "INCREASE CLIMB" is triggered on final approach.</b>  <i>Note : Resolution Advisories (RA) are inhibited below 900 feet.</i></p>

BUREAU D'ENQUETES ET D'ANALYSES  
POUR LA SECURITE DE L'AVIATION CIVILE  
Aéroport du Bourget - Bâtiment 153  
93352 Le Bourget Cedex  
FRANCE  
Tél. : +33 1 49 92 72 00  
Fax : +33 1 49 92 72 03  
[com@bea-fr.org](mailto:com@bea-fr.org)

[www.bea.aero](http://www.bea.aero) / [www.bea-fr.org](http://www.bea-fr.org)

