



Incident grave
survenu au Boeing 737-809
immatriculé **EC-NGC** exploité par Albastar
et à l'Embraer 190
immatriculé **F-HBLD** exploité par HOP!
le vendredi 21 juillet 2023
en croisière à proximité du VOR DME de Limoges (87)

LES ENQUETES DE SECURITE

Le BEA est l'autorité française d'enquêtes de sécurité de l'aviation civile. Ses enquêtes ont pour unique objectif l'amélioration de la sécurité aérienne et ne visent nullement la détermination des fautes ou responsabilités.

Les enquêtes du BEA sont indépendantes, distinctes et sans préjudice de toute action judiciaire ou administrative visant à déterminer des fautes ou des responsabilités.

TABLE DES MATIERES

Les enquêtes de sécurité	- 2 -
Table des matières.....	- 3 -
Glossaire	- 4 -
Synopsis	- 8 -
Organisation de l'enquête	- 10 -
1 Renseignements de base.....	- 11 -
1.1 Déroulement du vol.....	- 11 -
1.2 Tués et blessés.....	- 16 -
1.3 Dommages aux aéronefs	- 16 -
1.4 Autres dommages.....	- 16 -
1.5 Renseignements sur le personnel.....	- 16 -
1.6 Renseignements sur les aéronefs	- 20 -
1.7 Renseignements météorologiques	- 27 -
1.8 Aides à la navigation.....	- 27 -
1.9 Télécommunications - Communications, Navigation et Surveillance (CNS)	- 27 -
1.10 Renseignements sur l'aérodrome.....	- 35 -
1.11 Enregistreurs de bord	- 35 -
1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact	- 36 -
1.13 Renseignements médicaux et pathologiques	- 36 -
1.14 Incendie	- 36 -
1.15 Questions relatives à la survie des occupants	- 36 -
1.16 Essais et recherches.....	- 36 -
1.17 Renseignements sur les organismes et la gestion	- 36 -
1.18 Renseignements supplémentaires.....	- 70 -
1.19 Techniques d'enquête utiles ou efficaces	- 75 -
2 Analyse	- 76 -
2.1 Introduction.....	- 76 -
2.2 Origine de la panne de transpondeur et mesures prises	- 77 -
2.3 Dispositifs pour attirer l'attention des équipages en cas de panne de transpondeur. - 78 -	- 78 -
2.4 Gestion de la perte de suivi de piste radar par les contrôleurs aériens	- 79 -
2.5 Ergonomie et spécifications de certification pour la navigation aérienne	- 81 -
2.6 Le SGS de la DSNA	- 82 -
2.7 Les comptes rendus de position obligatoire	- 84 -
3 Conclusions	- 85 -
3.1 Faits établis par l'enquête	- 85 -
3.2 Facteurs contributifs.....	- 86 -
4 Mesures prises	- 87 -
4.1 DSNA.....	- 87 -
4.2 HONEYWELL.....	- 87 -
5 Recommandations de sécurité	- 88 -
5.1 Spécifications de certification des systèmes de communication, navigation et surveillance (CS-ACNS)	- 88 -
5.2 Dispositifs pour attirer l'attention des contrôleurs aériens	- 89 -
5.3 Gestion globale des risques de sécurité par la DSNA	- 90 -
5.4 Points de compte rendu obligatoire	- 90 -

GLOSSAIRE

Abréviations	Version Anglaise	Version Française
ACAS	Airborne collision avoidance system	Systèmes anticollision embarqué
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance – Broadcast	Surveillance dépendante automatique en mode diffusion
AESA (EASA)	European Union Aviation Safety Agency	Agence de l'Union européenne pour la sécurité aérienne
AIP	Aeronautical Information Publication	Publication d'information aéronautique
AMC	Acceptable Means of Compliance	Moyens acceptables de mise en conformité
ANSP	Air Navigation Service Provider	Prestataire de services de la navigation aérienne
ARTAS	ATM suRveillance Tracker And Server	
ATC	Air Traffic Control	Contrôle de la circulation aérienne
ATIS	Automatic Terminal Information Service	Service automatique d'information de région terminale
ATM/ANS	Air Traffic Management and Air Navigation Services	Gestion du trafic aérien et de services de navigation aérienne
ATPL	Airline Transport Pilot Licence	Licence de Pilote de ligne
CAUTRA		Coordinateur Automatique du Contrôle Aérien
CIAIAC	Comisión de Investigación de Accidentes e Incidentes de Aviación Civil	Commission d'enquête des accidents et incidents de l'aviation civile
CDB		Commandant de bord
CDC		Centre de Détection et de Contrôle
CESNAC		Centre d'exploitation des systèmes de la navigation aérienne centraux
CFR	Code of federal regulations	Code des règlements fédéraux des États-Unis
CLS		Commission locale de sécurité
CNOA		Centre national des opérations aériennes
CNS	Communications, Navigation and Surveillance	Communications, Navigation et Surveillance
COPIL		Comité de pilotage
CPA	Closest point of approach	Point de rapprochement maximal
CRM	Technical Logbook	Compte Rendu Matériel

Abréviations	Version Anglaise	Version Française
CRNA	Area control center (ACC)	Centre en Route de la Navigation Aérienne
CS	Certification specifications	Spécifications de certification
CVR	Cockpit Voice Recorder	Enregistreur phonique
DF		Message Mode S de liaison descendante
DGAC		Direction Générale de l'Aviation Civile
DO		Direction des Opérations (DSNA)
DSAC		Direction de la Sécurité de l'Aviation Civile
DSEC		Direction de la Sécurité (DSNA)
DSNA		Direction des Services de la Navigation Aérienne
DSR		Direction de la stratégie et des ressources (DSNA)
DTA		Direction du transport aérien (DGAC)
DTI		Direction de la Technique et de l'Innovation (DSNA)
DYP	DYNAMIC Presentation	
EEE		Environnement Électronique ERATO
EPAS	European Plan for Aviation Safety	Programme européen pour la sécurité de l'Aviation civile
ERATO	En-Route Air Traffic Organizer	
ETSO	European Technical Standards Order	Arrêté sur les normes techniques européennes
FAA	Federal Aviation Administration	Autorité des États-Unis en charge de l'Aviation civile
FCOM	Flight Crew Operating Manual	Manuel d'exploitation des équipages
FDR	Flight Data Recorder	Enregistreur de paramètres
FHA	Functional Hazard Assessment	Analyse fonctionnelle de sécurité
FIM	Fault Isolation Manual	
FIR	Flight information region	Région d'information de vol
FL	Flight Level	Niveau de vol
FPASD	Flight Plan Air Situation Display	
FSAU		Formation aux situations anormales et d'urgences
Ft	Feet	Pieds
GPS	Global Positioning System	Système de positionnement par satellite

Abréviations	Version Anglaise	Version Française
ITES		Instance de Traitement des Événements Significatifs
JAR	Joint Aviation Requirements	
kt	Knots	Nœuds
LKP	Last Known Position	
LT	Lost Track	
MRR		Moyens en Réduction de Risques
MTBF	Mean time between failure	Temps moyen de fonctionnement entre défaillances
MTBUR	Mean time between unscheduled removal	Temps moyen entre deux déposes non planifiées
NM	Network manager (Eurocontrol)	Gestionnaire de réseau (Eurocontrol)
NTSB	National Transport Safety Board	Autorité d'enquête de sécurité des États-Unis
OACI (ICAO)	International Civil Aviation Organization	Organisation de l'Aviation Civile Internationale
ODS	Operational Display System	Système de visualisation
OSP		Observation sur position
PCR		Premier contrôleur radariste
PCO		Premier contrôleur organique
PCU (UCS)	Unit Competence Scheme	Plan de Compétence en Unité
PF	Pilot Flying	Pilote aux commandes
PFU (UTP)	Unit Training Plan	Plan de Formation en Unité
PM	Pilot Monitoring	
PNC		Personnel navigant commercial
PNT		Personnel Navigant Technique
PPS		Pratiques et Procédures standards
PSNA		Prestataire de service de navigation aérienne
PSSA	Preliminary System Safety Assessment	
QAR	Quick Access Recorder	Enregistreur de maintenance
QSS		Qualité de Service/Sécurité
QST		Qualité de Service Technique

Abréviations	Version Anglaise	Version Française
RA	Resolution advisory	Avis de résolution
REX		Retour d'expérience
RVSM	Reduced Vertical Separation Minimum	Minimum de séparation verticale réduit
SGS	Safety management system	Système de gestion de la sécurité
SIA		Service de l'information aéronautique (DSNA)
SMI		Système de management intégré (DSNA)
SNA		Services de la navigation aérienne
SSA	System Safety Assessment	
STCA		Systèmes sol de prévention des collisions
STPV		Système de traitement des plans de vol
STR		Système de traitement radar
TA	Traffic advisory	Avis de trafic
TCAS	Traffic alert and Collision Avoidance System	Systèmes anticollision embarqué
UF		Message Mode S de liaison montante
UTC	Universal Time Coordinated	Temps universel coordonné

SYNOPSIS

Heure	Vers 8 h 50 ¹
Exploitants	Boeing 737-809 : Albastar, vol LAV4651 Embraer 190 : HOP!, vol AFR21YB
Nature des vols	Transport commercial de passagers
Personnes à bord	Vol LAV4651 : CdB, copilote, 4 PNC et 185 passagers Vol AFR21YB : CdB, copilote, 2 PNC et 94 passagers
Conséquences et dommages	Aucun

Défaillance non détectée de transpondeur en vol, suivi d'une trajectoire conflictuelle en espace RVSM sans contact radar

En croisière au FL 350, lors du vol LAV4651 du Boeing 737-809 exploité par Albastar entre l'aéroport de Londres-Stansted (Royaume-Uni) et celui de Tarbes-Lourdes-Pyrénées (65), le transpondeur activé par l'équipage a cessé d'émettre toute information de réponse aux interrogations des stations radar au sol et des systèmes anticollision embarqués (ACAS) des aéronefs à proximité. Ce dysfonctionnement a entraîné la perte de contact radar du vol LAV4651 ainsi que l'impossibilité pour les systèmes ACAS des avions évoluant à proximité et les systèmes sol de prévention des collisions (STCA) à disposition des contrôleurs, de le détecter et de le suivre.

Ni l'équipage du vol LAV4651 ni les contrôleurs aériens du secteur de contrôle dans lequel évoluait l'avion n'ont perçu ou pris en compte les dispositifs censés les alerter en cas de défaillance d'un transpondeur :

- l'équipage, de son côté, n'a pas vu le voyant ambre **ATC FAIL** situé sur le panneau entre les deux sièges du poste de pilotage (*ATC Control Panel*) qui s'est probablement allumé en vol d'après les examens réalisés lors de l'enquête ;
- les contrôleurs aériens, de leur côté, n'ont pas perçu différentes alarmes visuelles qui se sont affichées sur leurs écrans et ont acquitté en effaçant le marqueur qui signalait une perte de suivi de la piste radar.

Le contact radio aux environs du point de compte rendu obligatoire de position BALAN, situé à la frontière des secteurs du CRNA Ouest et Sud-Ouest, constituait une possibilité de récupération de la situation. Le premier contrôleur radariste (PCR) a demandé à l'équipage de faire route directement vers ce point, défini comme un point de compte rendu obligatoire de position. L'équipage, en l'absence de demande explicite de la part des contrôleurs de le contacter à l'approche de BALAN, a poursuivi sa route selon celle inscrite au plan de vol.

Environ 20 minutes après la panne de transpondeur, le Boeing 737 a croisé la route d'un Embraer 190 exploité par HOP! (vol AFR21YB) au même niveau de vol avec une séparation horizontale minimale de 2,6 NM pour un espacement minimal requis de 5 NM. Malgré la défaillance de transpondeur, le TCAS du Boeing 737 fonctionnait. À partir des informations reçues du transpondeur et du TCAS de l'Embraer 190, les algorithmes du TCAS du 737 ont déterminé que

¹ Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en temps universel coordonné (UTC). Il convient d'y ajouter 2 heures pour obtenir l'heure en France métropolitaine le jour de l'événement.

l'Embraer ne constituait pas une menace de collision. Aucun avis de trafic (TA) ou de résolution (RA) n'a ainsi été émis à bord du Boeing 737. En revanche, l'équipage de l'Embraer 190 n'a eu aucune information de position et d'évolution du Boeing 737 et a de fait été surpris de le voir croiser sa route devant lui au même niveau de vol.

Dans le même temps, la détection au radar primaire par un contrôleur aérien militaire du Centre de Détection et de Contrôle (CDC) militaire de Cinq-Mars-la Pile (37) a permis, après plusieurs coordinations entre les CRNA Sud-Ouest et Ouest, et après la perte de séparation entre les deux avions, de récupérer le contact radar du vol LAV4651 et la poursuite du vol jusqu'à destination sans autre anomalie.

Le BEA a émis quatre recommandations de sécurité relatives aux thèmes suivants :

- les spécifications de certification des systèmes de communication, navigation et surveillance (CS-ACNS) ;
- les dispositifs pour attirer l'attention des contrôleurs aériens ;
- la gestion globale des risques de sécurité par le prestataire de service de la navigation aérienne en France ;
- les points de compte rendu obligatoire.

ORGANISATION DE L'ENQUETE

La DSNA a informé le BEA de la survenue de l'incident grave dans la journée du vendredi 21 juillet 2023.

Sur la base des premières informations factuelles collectées, le BEA a ouvert une enquête de sécurité pour cette occurrence qui a été classée comme incident grave. Conformément à l'Annexe 13 à la Convention relative à l'Aviation Civile Internationale et au règlement européen (UE) n° 996/2010 relatif aux enquêtes et la prévention des accidents et des incidents dans l'aviation civile, le BEA a informé de l'ouverture de l'enquête de sécurité :

- l'autorité d'enquête d'Espagne, la CIAIAC, en tant qu'État d'immatriculation et d'exploitation ;
- l'autorité d'enquête des États-Unis d'Amériques, le NTSB, en tant qu'État de conception et de construction du Boeing 737 et du transpondeur équipant cet avion ;
- le prestataire de service de la navigation aérienne en France, la DSNA ;
- l'autorité de surveillance et de certification en France, la DSAC ;
- l'exploitant aérien de l'Embraer 190 exploité par HOP! ;
- l'Agence de l'Union européenne pour la sécurité aérienne, l'AESA ;
- l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI) ;
- Eurocontrol.

La CIAIAC et le NTSB ont nommé des représentants accrédités accompagnés de conseillers de l'exploitant aérien Albastar pour la CIAIAC et du constructeur d'avion Boeing et de l'équipementier Honeywell pour le NTSB.

Le projet de rapport final a été soumis pour consultation aux représentants accrédités et à leurs conseillers, conformément à l'article 6.3 de l'Annexe 13 de l'OACI. Il a également été envoyé à l'AESA, la DSAC, la DSNA, l'OACI et Eurocontrol.

1 RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1 Déroulement du vol

Note : Les informations suivantes sont principalement issues des enregistreurs de vol, des témoignages, des enregistrements des radiocommunications ainsi que des données radar.

1.1.1 Prise en compte du vol LAV4651 dans le secteur de contrôle du CRNA Ouest

L'équipage du Boeing 737-809 immatriculé EC-NGC et exploité par Albastar, vol LAV4651, décolle de l'aéroport Londres-Stansted à 7 h 55, avec près de 55 minutes de retard, à destination de l'aéroport Tarbes-Lourdes-Pyrénées.

Rapidement après le décollage, les contrôleurs aériens du centre de contrôle de Londres demandent à l'équipage, comme prévu au plan de vol déposé, de monter au FL 350 puis de faire route vers le point de compte rendu de position SITET (voir §§ 1.17.5.3 et 1.18.1) à la frontière entre les FIR de Londres et de Brest (29).

À 8 h 17 min 33, à la demande du contrôleur aérien du centre de contrôle de Londres, l'équipage contacte le contrôleur radariste² (PCR) du secteur QXI³ du CRNA Ouest et annonce qu'il est stable au FL 350 en route vers SITET (voir Figure 2, point ①). Le PCR répond à l'équipage en lui demandant de faire route directe vers le DME d'Amboise (AMB).

Environ deux minutes plus tard, le PCR accepte la demande de l'équipage d'un Airbus A320 exploité par British Airways Euroflyer (indicatif radio Griffin), vol EFW3HY, qui souhaite évoluer au FL 350 pour la croisière. Pour assurer la séparation horizontale entre les vols LAV4651 et EFW3HY qui suivent la même route au même niveau de vol jusqu'à AMB, le PCR demande à l'équipage du vol LAV4651 de suivre une route directe vers le point de compte rendu obligatoire de position BALAN (voir §§ 1.17.5.3 et 1.18.1) situé à environ 220 NM au sud, en maintenant un Mach supérieur à 0,77. De même, il demande à l'équipage du vol EFW3HY, derrière le vol LAV4651, de maintenir un Mach inférieur à 0,76 (voir Figure 1). Le PCR particularise les points de Mach des deux vols, ce qui affiche cette information en surbrillance.

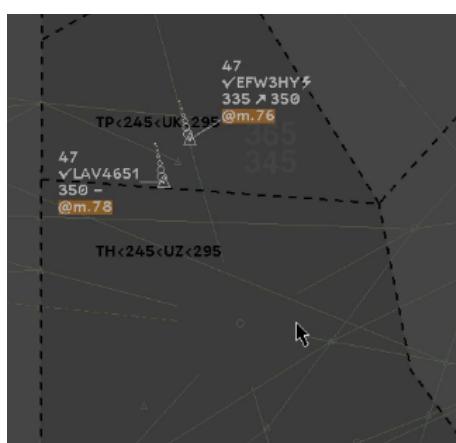


Figure 1 : partie d'écran du PCR (source : DSNA)
(Source : enregistrement de l'écran du PCR, DSNA)

² Voir § 1.17.2.3 sur les tâches réparties entre les fonctions radariste et organique.

³ Regroupement de deux secteurs de contrôle pour les niveaux de vol compris entre les FL 345 et FL 365 (voir § 1.17.5.3).

À partir de 8 h 27 min 04 et pendant 4 min 15, aucun message radio ou téléphonique relatif au secteur QXI n'est émis ou reçu. Les curseurs qui suivent les mouvements des souris du PCR et du premier contrôleur organique (PCO) restent immobiles pendant cette période sur l'écran de chaque position de contrôle. Six avions sont alors en fréquence et gérés dans le secteur QXI.

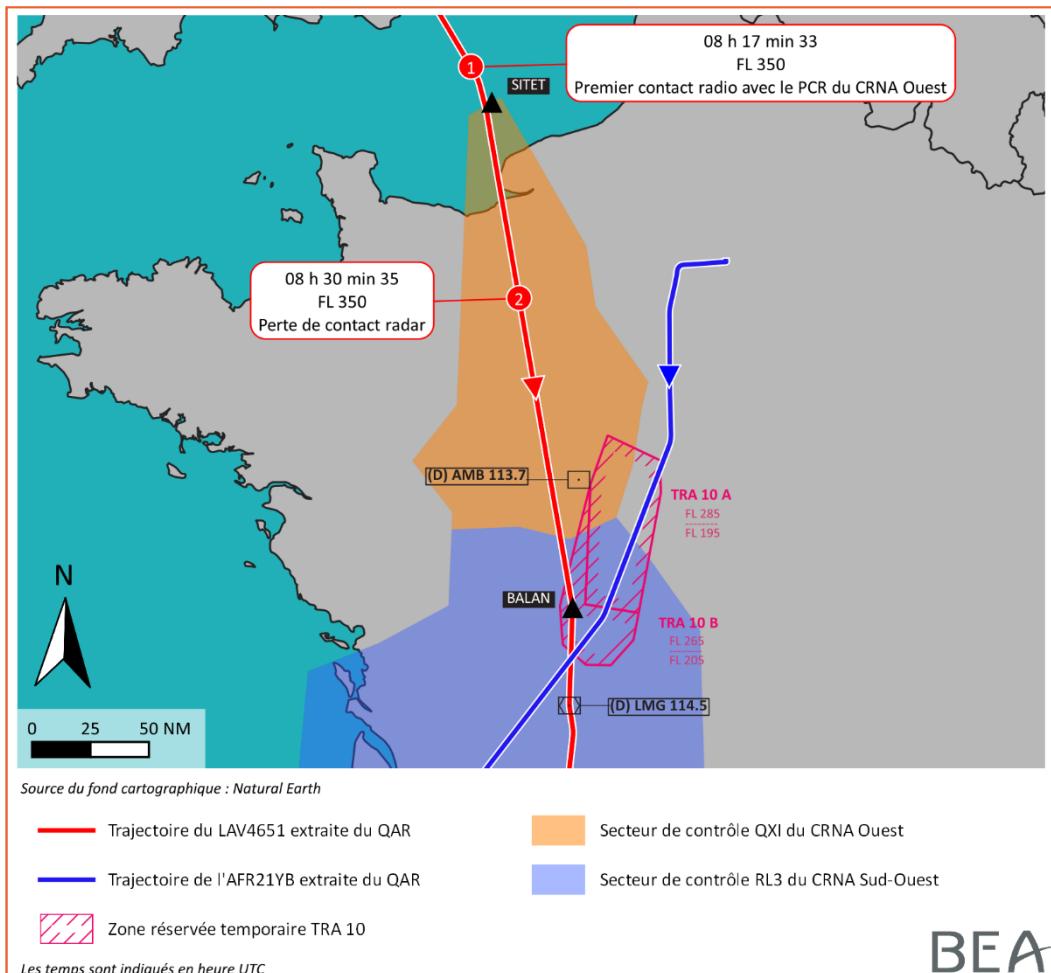


Figure 2 : trajectoires du LAV4651 et de l'AFR21YB

1.1.2 Interruption de transmissions du transpondeur du Boeing 737-809

À partir de 8 h 30 min 35 (point ②), le transpondeur du 737 ne transmet plus aucune réponse aux interrogations des stations radar au sol et des systèmes ACAS.

Entre 8 h 30 min 47 et 8 h 30 min 59, en réponse au dysfonctionnement du transpondeur, plusieurs messages et symboles d'alerte apparaissent sur l'étiquette du vol LAV4651 et dans les fenêtres des écrans des deux contrôleurs du secteur QXI qui contiennent des informations relatives au vol. Le 737 se trouve alors à environ 130 NM au nord de BALAN. Les alertes signalent aux contrôleurs la perte de certaines fonctionnalités de corrélation entre les informations issues du plan de vol de l'avion et celles reçues du transpondeur (voir § 1.17.3.6). À 8 h 30 min 58, la piste du vol LAV4651 est remplacée par un marqueur piste⁴ (voir Figure 3) et son étiquette est également modifiée. Une fenêtre vols sans piste, qui met en évidence les vols ayant un plan de vol activé pour lesquels aucune information de piste n'est associable, apparaît également sur les écrans des deux contrôleurs, à droite du marqueur piste.

⁴ Symbole qui affiche la dernière position connue de l'aéronef, voir § 1.17.3.6.



Figure 3 : marqueur piste et fenêtre vols sans piste (Source : DSNA)

Aucune de ces alertes n'est perçue par les deux contrôleurs du secteur QXI. L'écran du PCR est organisé de la manière suivante :

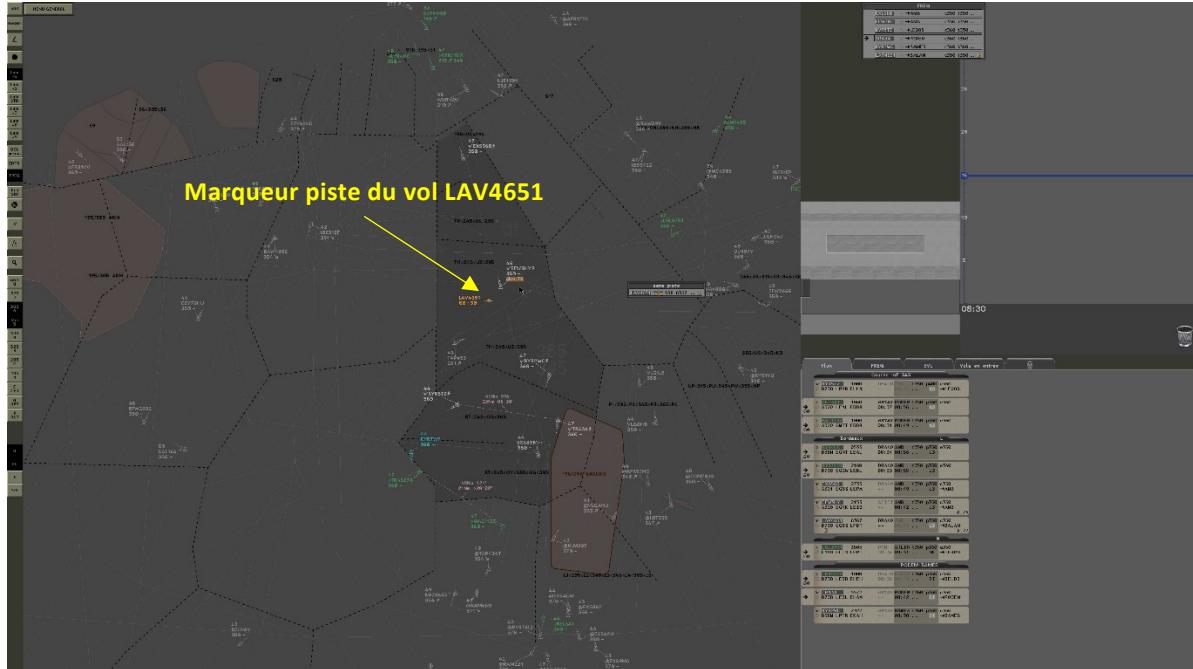


Figure 4 : écran de contrôle du contrôleur radariste du secteur QXI (Source : DSNA)

L'écran du PCO est organisé de manière quasi similaire.

À 8 h 31 min 20, le PCR répond à un équipage et applique des actions avec la souris pour prendre en compte ces échanges. Deux minutes plus tard, le PCR déplace sur la droite de son écran la fenêtre vols sans piste qui ne contient que des informations sur le LAV4651.

À 8 h 33 min 48, le PCR efface par un clic droit le marqueur piste associé au vol LAV4651. Moins d'une minute plus tard, le PCO efface également le marqueur piste du vol LAV4651 sur son écran. Dans les deux cas, les souris des deux contrôleurs ne marquent aucun temps d'arrêt sur le marqueur piste (moins d'une seconde entre le moment où le pointeur vient sur le marqueur piste et le clic d'effacement).

Vers 8 h 38, le PCR supprime la surbrillance qui mettait en valeur le point de Mach 0,77 qu'il avait demandé à l'équipage du vol EFW3HY.

À 8 h 40 min 56, l'équipage de l'Embraer 190 immatriculé F-HBLD et exploité par HOP!, vol AFR21YB, qui a décollé de l'aéroport Paris - Charles de Gaulle (95) à destination de Bilbao (Espagne), contacte le PCR du secteur RL3⁵ du CRNA Sud-Ouest et lui indique être au FL 350 en route vers le VOR-DME de Limoges (LMG).

À 8 h 41 min 02, le vol LAV4651 étant censé avoir quitté les limites du secteur QXI, les fenêtres vols sans piste disparaissent des écrans des deux contrôleurs du secteur QXI. Le vol LAV4651 apparaît toujours dans la fenêtre des avions en fréquence et les informations relatives au vol sont toujours présentes sur la droite des écrans des PCR et PCO (voir **Figure 5**).



Figure 5 : fenêtre des avions en fréquence (à gauche) et informations relatives au vol LAV4651 après disparition de la fenêtre vols sans piste (à droite) (Source : DSNA)

À 8 h 44 min 20, le PCR du secteur RL3 du CRNA Sud-Ouest déplace la fenêtre vols sans piste qui s'est affichée quelques secondes plus tôt sur les écrans des deux contrôleurs du secteur avec comme unique vol celui du LAV4651.

1.1.3 Identification de la perte de détection radar et perte de séparation en vol
À 8 h 48 min 18, l'équipage du vol LAV4651 passe la verticale du point BALAN (voir **Figure 6**, point **3**) et, conformément à son plan de vol, poursuit sa route vers LMG qui se trouve à 42 NM au sud. L'équipage ne contacte pas à la radio le PCR du secteur QXI pour lui annoncer le passage de BALAN.

Vingt secondes plus tard, un contrôleur militaire du CDC de Cinq-Mars-la-Pile contacte le chef de salle du CRNA Sud-Ouest pour lui indiquer l'anomalie de transpondeur du vol LAV4651, la position de l'avion et sa destination. Il lui précise également qu'il contacte le Centre national des opérations aériennes (CNOA⁶).

Dans le même temps, vers 8 h 50, les deux contrôleurs du secteur QXI sont relevés.

À 8 h 50 min 27 (point **4**), la distance entre le Boeing 737 et l'Embraer 190, tous les deux au FL 350, devient inférieure à 5 NM (séparation règlementaire minimale dans cet espace aérien, voir § 1.18.2).

À partir de 8 h 50 min 47, le PCR du secteur RL3 essaie d'entrer en contact avec l'équipage du vol LAV4651 sur la fréquence du secteur et cherche, sans la trouver, la piste du vol sur son écran.

⁵ Regroupement des secteurs R et L pour les niveaux de vol compris entre les FL 345 et FL 365 (voir § 1.17.6.2 pour plus d'informations).

⁶ Depuis octobre 2024, le CNOA est devenu le Centre Air de Planification et de Conduite des Opérations et de la Défense Aérienne – Territoire National (CAPCODA TN).

À 8 h 51 min 07, les informations relatives au vol LAV4651 sont supprimées des fenêtres présentes sur les écrans des contrôleurs du secteur QXI du CRNA Ouest. Quinze secondes plus tard, le chef de salle du CRNA Sud-Ouest contacte celui du CRNA Ouest et lui demande s'il a connaissance du vol LAV4651. Le chef de salle du CRNA Ouest recherche rapidement le vol et sans succès et indique au chef de salle du CRNA Sud-Ouest qu'il le rappelle dès qu'il a plus d'informations.

À 8 h 51 min 28 (point 5), la distance entre les deux avions atteint un minimum de 2,6 NM.

Quelques secondes plus tard, et pendant environ 45 secondes, les contrôleurs du secteur QXI, ceux du secteur RL3 et ceux du CDC Cinq-Mars-la-Pile se coordonnent pour préciser la position du vol LAV4651. À partir de 8 h 52 min 21, le PCR du secteur QXI du CRNA Ouest tente de contacter l'équipage du vol LAV4651 sur la fréquence du secteur. À 8 h 52 min 23, l'équipage du vol AFR21YB contacte le PCR du secteur RL3 du CRNA Sud-Ouest et lui indique qu'il y a un avion à environ 3 NM sur sa droite, au même niveau de vol et qui n'apparaît pas sur son système ACAS.

À 8 h 53, l'équipage d'un avion de chasse alors en exercice est envoyé à la demande du CNOA vers le 737 pour l'intercepter (procédure classique en cas de perte de communication radio et radar).

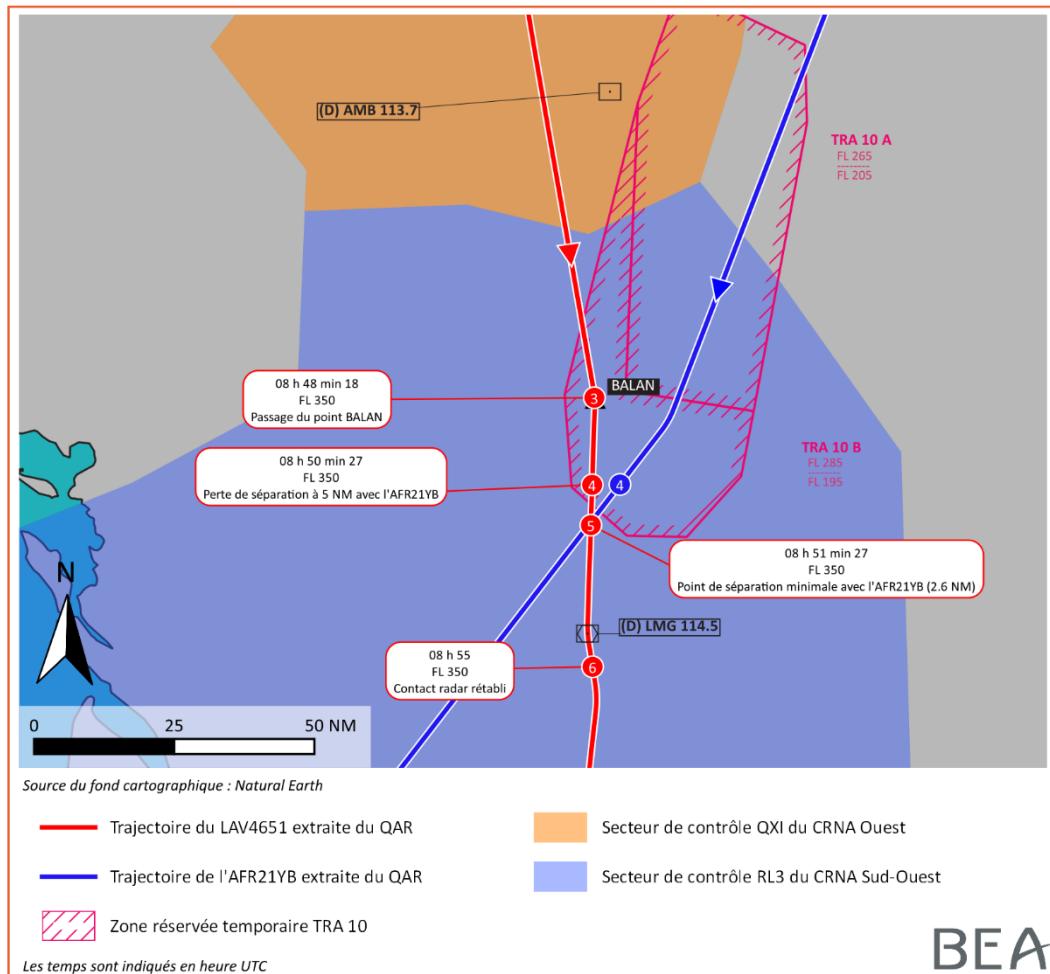


Figure 6 : trajectoires du LAV4651 et de l'AFR21YB

1.1.4 Récupération des contacts radar et radio avec l'équipage du vol LAV4651

L'équipage du vol LAV4651 répond aux tentatives de contact du PCR du secteur QXI sur la fréquence de ce secteur. En l'absence de réponse en raison de la limite de portée radio, l'équipage lance un appel général à 8 h 53 min 24 sur la fréquence radio d'urgence 121,5 MHz. L'appel est reçu par le contrôleur du CDC de Cinq-Mars-la Pile et par le chef de salle du CRNA Sud-Ouest qui le transfère sur la fréquence du secteur RL3. Le PCR de ce secteur demande à l'équipage de sélectionner un nouveau code transpondeur et de changer de canal transpondeur. Le contact radar est rétabli à partir de 8 h 55 (point 6).

L'équipage poursuit le vol jusqu'à l'aéroport de Tarbes sans autre particularité.

1.2 Tués et blessés

Sans objet.

1.3 Dommages aux aéronefs

Sans objet.

1.4 Autres dommages

Sans objet.

1.5 Renseignements sur le personnel

1.5.1 Équipage de conduite du Boeing 737-809

Les deux membres d'équipage, de nationalité espagnole, sont titulaires d'une licence de pilote de ligne ATPL(A) et d'une qualification Boeing 737.

Le premier vol de la journée était un vol de convoyage entre les aéroports Madrid-Barajas et Londres-Stansted. L'équipage précise que l'embarquement des passagers à Londres a pris du retard en raison du nombre de personnes à mobilité réduite (environ 20) se rendant à Lourdes. Le décollage vers l'aéroport de Tarbes a ainsi eu lieu avec près d'une heure de retard. Lors du vol, le CDB et le copilote étaient respectivement PM et PF.

L'équipage indique qu'après avoir reçu l'instruction de faire route directement vers BALAN, il s'est passé une période qu'il estime à environ 15 minutes avant les appels des contrôleurs vers 8 h 53. Le CDB a fait part au copilote de cette longue période sans contact radio. Le copilote explique qu'à un moment, le CDB l'a averti de la présence d'un avion derrière eux (le vol AFR21YB), affiché au TCAS avec un losange blanc. En l'absence d'alertes TCAS et d'instructions de la part des contrôleurs aériens, l'équipage indique avoir considéré que la séparation était assurée avec le vol AFR21YB.

Peu après la remarque du CDB, l'équipage a entendu le contrôleur du secteur QXI qui cherchait à le joindre. La qualité était assez médiocre. L'équipage ne se souvient pas où se trouvait l'avion au moment des appels du contrôleur. Le CDB a répondu aux appels du contrôleur. Il a cependant compris rapidement que le contrôleur ne recevait pas ses messages en raison de la portée radio.

Il a alors émis sur la fréquence radio d'urgence 121,5 MHz. Un contrôleur du CRNA Sud-Ouest lui a alors répondu et lui a transmis la nouvelle fréquence à contacter pour poursuivre le vol. Le contrôleur du CRNA Sud-Ouest a informé l'équipage de la perte de contact radar depuis plusieurs minutes. Le contact radar a été rétabli après avoir sélectionné le deuxième transpondeur.

Selon l'équipage, il n'y a pas eu d'alertes relatives à un dysfonctionnement du transpondeur. L'équipage précise ne pas avoir vu le voyant ambre **ATC FAIL** (voir § 1.6.1.1) allumé pendant le vol.

Le CDB explique n'avoir reçu aucune autre précision de la part du contrôleur du CRNA Sud-Ouest sur la perte de contact radar⁷. Il ajoute avoir entendu, sans comprendre le sens des discussions, que le contrôleur du CRNA Sud-Ouest et l'équipage du vol AFR21YB échangeaient en français à propos de la perte de contact radar et de la perte de séparation.

Après l'atterrissement à Tarbes, le copilote a vérifié le fonctionnement du TCAS. Il précise qu'il n'a probablement testé que le transpondeur 1. Lors du vol retour entre l'aéroport de Tarbes et celui de Londres-Stansted, le CDB était PF et le transpondeur 1 a été sélectionné.

1.5.2 Équipage de conduite de l'Embraer 190

Les deux membres d'équipage, de nationalité française, sont titulaires d'une licence de pilote de ligne ATPL(A) et d'une qualification Embraer 190.

L'équipage indique avoir vu passer le Boeing 737-809 d'Albastar devant lui depuis une route convergente de la droite, selon un gisement d'environ 35°. L'équipage précise que l'avion n'apparaissait pas au TCAS et qu'il l'a mentionné à la radio.

1.5.3 Contrôleurs aériens chargés du secteur QXI au moment de la perte de contact radar du vol LAV4651

1.5.3.1 Premier contrôleur radariste (PCR)

Le PCR est titulaire d'une licence de contrôleur de la circulation aérienne, assortie de mentions valides d'unité⁸ (MU), d'instructeur⁹ (MI) et linguistiques¹⁰ (ML). Il est qualifié au CRNA Ouest depuis 2009. Il détient un certificat médical valide de classe 3.

1.5.3.2 Premier contrôleur organique (PCO)

Le PCO est titulaire d'une licence de contrôleur de la circulation aérienne, assortie de MU, de MI et de ML valides. Il est qualifié au CRNA Ouest depuis 2008. Le PCO est également chef de salle depuis mai 2023 et chef du plan de formation unités (PFU depuis 2017). Il détient un certificat médical valide de classe 3.

1.5.3.3 Vacations et périodes de repos

Le tableau de service établi par le CRNA Ouest assure une alternance des vacations et des périodes de repos et dépend de la période de l'année. Le jour de l'incident grave, le PCR et le PCO, de la même équipe, étaient sur la même vacation. Cette vacation, programmée après trois jours de repos, est la vacation qui débute le plus tôt.

Le PCR et le PCO ont pris leur service à des horaires différents conformément au tableau de service:

- une moitié de l'équipe (et le chef de salle) a commencé à 4 h 30 (cas du PCR) ;
- l'autre moitié a commencé à 5 h (cas du PCO).

⁷ Le PCR du secteur du CRNA Sud-Ouest a demandé à l'équipage de poursuivre vers le DME d'Agen (AGN) après lui avoir indiqué qu'il avait récupéré le contact radar et avant de lui préciser que la perte de contact avait eu lieu longtemps auparavant.

⁸ Autorisation figurant sur une licence qui indique l'indicateur d'emplacement OACI et le secteur, le groupe de secteurs ou les positions de travail dans le(s)quel(s) le titulaire est compétent pour intervenir.

⁹ Autorisation figurant sur la licence qui indique que le titulaire est compétent pour assurer l'instruction sur position opérationnelle et sur outil de simulation.

¹⁰ Mention figurant sur une licence qui indique les compétences linguistiques du titulaire.

Pour la première moitié de l'équipe, des pauses sont prévues entre 6 h 30 et 7 h puis entre 10 h 30 et 11 h. Pour la seconde moitié, une seule pause est indiquée au tableau de service, entre 6 h et 6 h 30. La vacation se termine à 12 h pour la première moitié de l'équipe et à 12 h 30 pour la seconde.

Le PCR s'est levé entre 2 h 45 et 3 h après environ 4 h 30 à 5 h de sommeil. Il estime avoir bien dormi (d'un point de vue qualité). Il est arrivé au CRNA Ouest pour sa vacation après 25 minutes de trajet en voiture depuis son domicile. Le PCR était en congé les six jours qui ont précédé l'incident grave.

Le PCO s'est levé vers 2 h 45 et indique avoir eu une quantité de sommeil suffisante. Il précise qu'il n'a pas ressenti de fatigue. Il est arrivé au CRNA Ouest pour sa vacation après 45 minutes de trajet en voiture depuis son domicile. Le PCO était en repos les trois jours qui ont précédé l'incident grave.

1.5.3.4 Témoignages

1.5.3.4.1 PCR

Le PCR indique avoir commencé par une première séquence de contrôle sur un secteur avec une charge de travail assez élevée. Il a ensuite eu une pause entre 6 h et 7 h avant de reprendre au secteur QXI, avec un premier PCO. Le PCR précise que la gestion du trafic dans ce secteur est plus latérale que verticale puisqu'il n'y a que deux niveaux de vol à gérer, les FL 350 et FL 360. Il explique que le début de cette nouvelle séquence était dense, pas en raison du nombre d'avions à gérer, mais en raison de cette limitation en niveaux de vol qui a conduit à de nombreuses instructions en cap / vitesse. Le PCR indique que vers 8 h 15, il y a eu un changement de PCO et, dans le même temps, une diminution de la charge de travail dans le secteur, avec seulement sept avions à gérer environ. Le contrôleur estime qu'il a peut-être été en hypovigilance ou du moins qu'il a pu être amené à vouloir récupérer au cours de cette seconde partie de séquence. Il précise qu'il a également discuté avec le PCO. Il ajoute que la charge de travail ne nécessitait pas une attention particulière, sans aucune difficulté de détection ni gestion des conflits.

Le PCR explique qu'après la demande de l'équipage du vol EFW3HY de monter au FL 350, il a séparé la trajectoire de ce vol et celle du LAV4651 sur des routes parallèles au FL 350, en vue de les transférer au CRNA Sud-Ouest. Il ajoute que pour éviter tout conflit et faciliter la coordination avec le secteur suivant du CRNA Sud-Ouest, et compte tenu des plans de vol et des destinations des deux avions, il a placé :

- le vol LAV4651 sur « un flux » à l'ouest pour l'amener vers la station DME d'Agen (AGN), en passant par BALAN (premier point dans le secteur suivant de Bordeaux) ;
- le vol EFW3HY sur « un flux » à l'est pour l'amener vers la station DME de Gaillac (GAI).

Le PCR indique que les contrôleurs coordonnent rarement l'instruction de route directe vers BALAN avec le secteur du CRNA Sud-Ouest. Il l'explique par le fait que l'avion ne pénètre pas dans un secteur non prévu dans le plan de vol et que BALAN est proche de la frontière entre les secteurs des CRNA Ouest et Sud-Ouest.

Il ajoute qu'il a ensuite oublié que ces deux avions étaient sur des trajectoires parallèles au même niveau de vol. Par ailleurs, il indique qu'il arrive que les pilotes contactent les contrôleurs au passage des points significatifs transmis lors des instructions, et que le jour de l'incident grave, l'équipage du vol LAV4651 ne l'a pas fait au passage de BALAN.

Le PCR indique qu'il n'a vu aucune des alertes affichées à l'écran et caractéristiques d'une perte de suivi de piste. Lorsque le marqueur piste est apparu à l'écran, il n'a pas porté son attention dessus immédiatement et il l'a ensuite supprimé par habitude, sans avoir regardé les autres représentations du vol présentes sur son écran.

Le PCR explique qu'un certain nombre de marqueurs piste apparaissent régulièrement sur les écrans, principalement liés à des aéronefs qui ne concernent pas la position de contrôle, tels que :

- vols à l'arrivée ou au départ d'aérodromes ;
- vols transatlantiques ;
- vols en dehors des secteurs à gérer ;
- vols militaires.

Le PCR estime que ces marqueurs piste sont généralement effacés de manière systématique, par habitude avec un clic droit de la souris. Il ajoute qu'il n'y a pas de coordination avec le PCO pour effacer ces marqueurs piste. Il indique avoir effacé deux ou trois marqueurs piste dans la matinée du jour de l'incident grave.

Le PCR a été relevé vers 8 h 50 avant d'aller déjeuner vers 9 h.

D'un point de vue méthodes de travail, le PCR indique que la taille des boîtes de flux (au moins quatre pour le secteur QXI) augmente avec le trafic à gérer. Pour cette raison, il les déplace pour faire de la place sur son écran et il ne conserve que la boîte de fréquence (avions en fréquence). Il estime par ailleurs qu'avec l'environnement électronique ERATO (*En-Route Air Traffic Organizer*, voir § 1.17.3), et en particulier le CPDLC¹¹, le PCO peut avoir moins conscience de ce que fait le PCR par une diminution des actions de coordination.

1.5.3.4.2 PCO

À sa prise de service, le PCO a pris la relève d'un autre PCO sur un secteur avant de passer PCR sur ce secteur vers 5 h 45 et d'être relevé environ 30 minutes plus tard. Il a ensuite eu une pause jusqu'à environ 7 h. Il a ensuite été PCO sur un secteur avant d'être relevé et de se placer en tant que PCO au secteur QXI vers 8 h 10. Il estime qu'à cet instant le secteur était en bas de la courbe de charge de travail. Il indique s'être rendu compte en un instant qu'il n'y avait aucune difficulté de gestion de trafic sur le secteur. Il ajoute qu'il a eu conscience avec le PCR, d'être en maîtrise de la situation, avec une faible charge de travail qui a pu les conduire à avoir une baisse de vigilance. Il explique que c'est pour cette raison que le PCR et lui ont discuté.

Le PCO se souvient s'être coordonné avec le contrôleur d'un secteur du CRNA Sud-Ouest pour faire monter un Boeing 737 exploité par Albastar, autre que le vol LAV4651, au FL 370. Il indique que lors de la relève, il a fait part de cette coordination. Après avoir été relevé pour aller déjeuner, il a été appelé par le chef de salle vers 9 h 05 – 9 h 10 en raison d'un problème avec un vol Albastar. Le PCO explique qu'il était persuadé que c'était en lien avec la coordination avec le secteur du CRNA Sud-Ouest. Il a été surpris de voir qu'il s'agissait du vol LAV4651 dont il ne se souvenait pas du tout. Le PCO estime que les marqueurs piste sont fréquemment supprimés par les contrôleurs. Il ajoute qu'avec le contexte de faible charge de travail et potentiellement de baisse de vigilance, il n'a probablement pas fait attention au marqueur piste du LAV4651 et qu'il l'a effacé par réflexe.

¹¹ Controller Pilot Data Link Communications. Système de liaison de données bidirectionnel entre contrôleurs aériens et équipages.

Il précise qu'en formation il est demandé que la détection d'un marqueur piste fasse l'objet d'un lever de doute. Il ajoute qu'un bouton permet même d'acquitter tous les marqueurs piste par une seule action.

Le PCO précise également qu'en tant que PCO, le trafic, lorsqu'il est faible, est souvent intégré de manière globale, en fonction de l'expérience acquise par les contrôleurs, contrairement au contexte de formation où l'attention est portée sur les difficultés propres de chaque séance.

1.6 Renseignements sur les aéronefs

1.6.1 Renseignements sur le Boeing 737-809 immatriculé EC-NGC

Constructeur	Boeing
Type	737 - 809
Numéro de série	28236
Immatriculation	EC-NGC
Mise en service	2001
Certificat d'examen de navigabilité	27 mars 2023 (valide jusqu'au 15 avril 2024)

1.6.1.1 Système Air Traffic Control (ATC)

Le système ATC du Boeing 737-809 est composé des équipements suivants :

- deux transpondeurs ;
- un panneau de contrôle ATC/TCAS (« ATC Control Panel ») ;
- deux antennes ;
- deux commutateurs coaxiaux ATC.

Le panneau de contrôle ATC/TCAS (voir **Figure 7**) est situé entre les sièges des deux pilotes sur le panneau électronique arrière. Il permet de sélectionner un des deux transpondeurs pour le vol (transpondeur 1 associé au CdB et transpondeur 2 au copilote, en fonction de leur rôle en tant que PF ou PM).

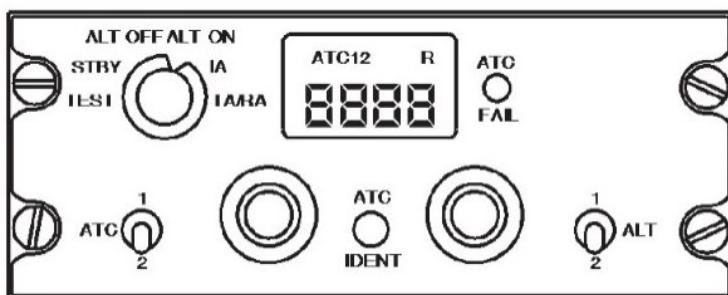


Figure 7 : ATC Control Panel (Source: Boeing)

Un voyant **ATC FAIL** s'illumine en ambre en cas de défaillance du transpondeur sélectionné.

Les antennes situées sur et en dessous du fuselage servent à l'émission et à la réception des messages échangés avec le transpondeur sélectionné par l'équipage, par l'intermédiaire des commutateurs coaxiaux (voir **Figure 8**).

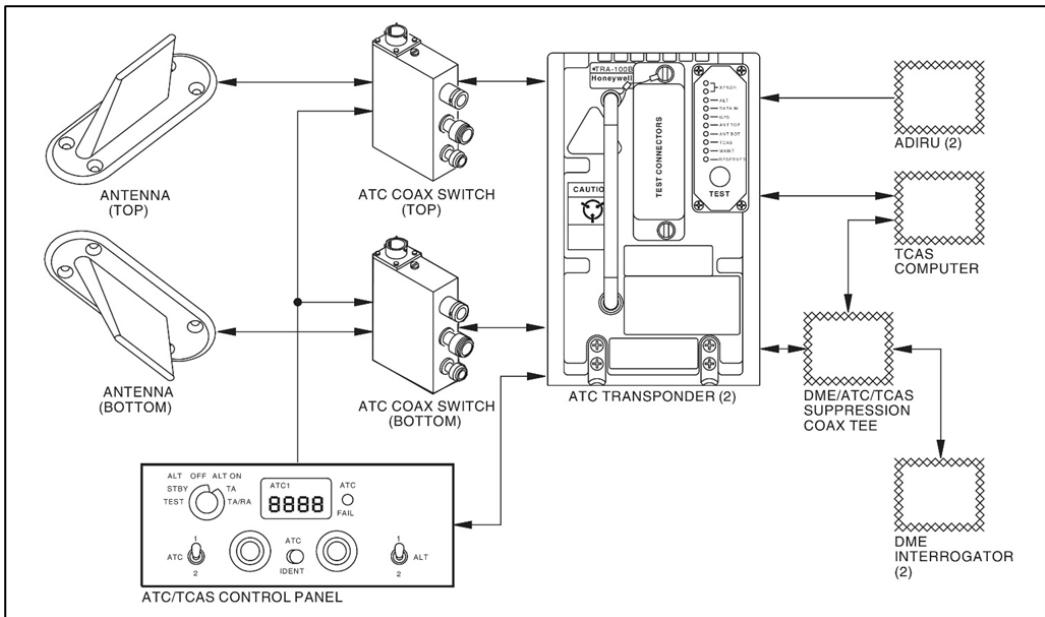


Figure 8 : schéma de principe du système ATC (Source : Boeing)

Le tableau ci-dessous indique les dates d'installation et de modification apportées aux deux transpondeurs, au panneau de contrôle ATC ainsi qu'aux antennes du système du Boeing 737-809 (la ligne grisée correspond au transpondeur tombé en panne lors du vol de l'incident grave).

Modèle et position	Marque Type	Numéro de série	Installation	Remplacement	Heures de vol / cycles
Transpondeur 1	HONEYWELL TRA-100B 066-01212-0301	S17254950	24/05/2019	25/07/2023	6925 / 3547
Transpondeur 2	HONEYWELL TRA-100B 066-01212-0301	S17254946	24/05/2019	25/07/2023	6925 / 3547
ATC Control Panel	HONEYWELL CTA-81A 071-01503-2601	23498	15/03/2023	25/07/2023	1081 / 440
Antenne en haut du fuselage	DM1601354-001	91623	15/02/2019	29/07/2023	6979 / 3568
Antenne en bas du fuselage	DM1601354-001	91625	15/02/2019	Toujours sur avion à la date du 29/07/2023	6979 / 3568

1.6.1.2 Actions de maintenance en lien avec le système ATC

1.6.1.2.1 Trois mois précédent le 20 juillet 2023 inclus

Aucun élément relatif au système ATC de l'avion n'est inscrit au compte rendu matériel (CRM, *Technical Logbook*) du Boeing 737 sur les pages des trois mois avant le vol de l'incident grave.

1.6.1.2.2 21 juillet 2023

À l'issue du vol entre Londres et Tarbes au cours duquel le transpondeur est tombé en panne, l'équipage n'a rien noté au CRM.

Le même équipage a ensuite décollé vers midi de Tarbes à destination de Londres. Le CdB a indiqué que, lors de ce vol, il était PF et le transpondeur 1 a ainsi été sélectionné pour ce vol. L'équipage n'ayant rencontré aucun problème particulier, rien n'a été noté au CRM pour ce vol.

Un autre équipage a ensuite décollé vers 17 h de Londres-Stansted à destination de Lourdes. Rien n'a été reporté par l'équipage. Au roulage à Lourdes, vers 21 h 35, ce même équipage a relevé un dysfonctionnement du TCAS et des systèmes ATC 1 et 2. Après le retour de l'avion au poste de stationnement, l'application de la procédure « *ATC Transponder BITE Procedure* » par l'organisme de maintenance à Tarbes n'a rien révélé.

Lorsque le même équipage a repris le roulage, vers 22 h 10, il a détecté un nouveau dysfonctionnement du TCAS et des systèmes ATC 1 et 2. L'organisme de maintenance de Tarbes, au retour de l'avion au poste de stationnement, a suivi la même procédure d'identification de panne qui n'a rien révélé. Comme le précise la procédure en cas d'absence de détection de panne, il a été conclu au CRM qu'il s'agissait d'une panne intermittente.

Vers 23 h 30, le même équipage a repris le roulage de Tarbes et a de nouveau détecté les mêmes dysfonctionnements. L'organisme de maintenance de Tarbes a alors reporté la prise en compte du dysfonctionnement pour que l'avion puisse repartir le lendemain sous MEL.

1.6.1.2.3 Du 22 juillet au 5 août 2023

Deux vols ont été effectués le 22 juillet. Aucune mention particulière n'a été reportée au CRM. Le 23 juillet, la procédure du manuel d'isolation de panne en cas d'allumage du voyant ambre du panneau de contrôle ATC a été appliquée et a révélé un dysfonctionnement au niveau des deux transpondeurs. En l'absence de transpondeurs de rechange, l'avion a été autorisé à reprendre les vols sous MEL. Les câblages en interaction avec les transpondeurs ont également été contrôlés.

Cinq vols ont ensuite été effectués au cours de la journée. À l'issue du dernier vol, une vérification du fonctionnement des systèmes ATC 1 et 2 a permis de montrer que le système ATC 1 fonctionnait et que le système 2 était défaillant. Le 24 juillet, aucune mention spécifique aux systèmes ATC n'a été reportée au CRM pour les cinq vols réalisés. Les deux transpondeurs et le panneau de contrôle ATC ont été remplacés le 25 juillet. À l'issue et jusqu'au 27 juillet inclus, treize vols ont été effectués, sans aucune mention au CRM en lien avec les systèmes ATC de l'avion. À l'issue du premier vol le 28 juillet, vers 10 h 30, l'équipage a inscrit au CRM avoir vu le voyant ATC FAIL allumé après l'atterrissement, quel que soit le transpondeur sélectionné. L'avion a pu repartir ensuite pour deux vols sous MEL dans la journée. Avant les premiers vols du 29 juillet, l'antenne du système ATC située sur le haut du fuselage de l'avion a été remplacée. À l'issue du sixième vol de la journée, l'équipage a inscrit au CRM que le TCAS était défaillant, en précisant que les avis de trafic (TA) fonctionnaient correctement contrairement aux avis de résolution (RA). Un test au sol par un

organisme de maintenance n'a pas confirmé le défaut de fonctionnement. L'avion est reparti pour le dernier vol de la journée. Le TCAS a été remplacé le 5 août conformément à l'ordre de travail émis après la vérification du 29 juillet. Trente vols ont été effectués entre cette vérification et le 5 août, sans qu'aucune mention de dysfonctionnement du TCAS soit inscrite au CRM dans cette période.

1.6.1.3 Transpondeurs

Source : Component Maintenance Manual (CMM), ATA 34-54-01, établi par Honeywell (édition n° 5, du 19/11/2018)

1.6.1.3.1 Description

Les deux transpondeurs de type TRA-100B assurent la fonction de transpondeur mode S selon les spécifications européennes ETSO-C112d. L'installation de ces transpondeurs répond aux spécifications de certification CS-ACNS (voir § 1.17.1.2).

Le transpondeur TRA-100B se compose des modules principaux suivants :

- un châssis ;
- un processeur de données et des Entrées / Sorties (DPIO) ;
- un module pour les fonctions de réception et de transmission (RF) ;
- une alimentation en courant électrique alternatif (ACPS) ;
- une alimentation en courant continu (DCPS).

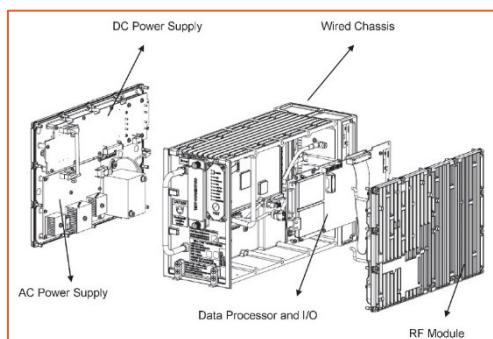


Figure 9 : modules du transpondeur (Source : Honeywell)

Le châssis met en œuvre toutes les fonctions mécaniques et les connexions électriques entre les modules. L'ACPS est alimenté via le châssis et génère une tension de 28 V transmise au DCPS qui alimente les autres modules.

Le transpondeur TRA-100B dispose également de deux connecteurs (voir Figure 10) :

- un connecteur principal sur la face arrière pour les données et le contrôle des Entrées / Sorties ;
- un connecteur de test sur la face avant pour des actions de maintenance du transpondeur.

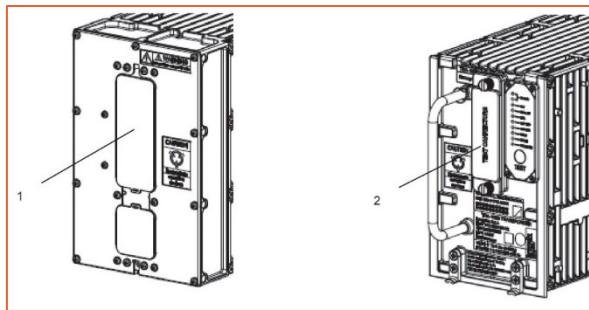


Figure 10 : connecteurs du transpondeur TRA-100B (source : Honeywell)

Un bus ARINC 429¹² permet au transpondeur par l'intermédiaire de son connecteur principal d'échanger des informations avec en particulier le TCAS. Deux broches du connecteur principal transmettent chacune un paramètre discret indiquant une défaillance du transpondeur au panneau de contrôle ATC pour allumer le voyant **ATC FAIL**.

Le CMM du transpondeur indique que le transpondeur peut assurer ses fonctions ATC, avec ou sans TCAS. Le manuel précise que le TCAS ne peut de son côté pas assurer ses fonctions sans le transpondeur.

1.6.1.3.2 Maintenance programmée du transpondeur

Le CMM du transpondeur indique qu'aucune action de maintenance programmée n'est requise. Le remplacement du transpondeur est envisagé en cas de panne ou de défaillance, après avoir suivi la procédure d'identification de panne.

1.6.1.3.3 Identification de panne

Le transpondeur TRA 100B dispose d'une fonction intégrée de test pour non seulement annoncer à l'équipage la défaillance d'un transpondeur, mais aussi identifier l'origine d'une défaillance au niveau du transpondeur ou au niveau du câblage du système sur l'avion. Cette fonction fournit des informations pour cibler les actions de maintenance ou de réparation à effectuer.

Les diagnostics de chaque segment de vol ou de tests au sol sont enregistrés dans une mémoire interne. Les défaillances internes au transpondeur et des défaillances détectées au niveau de sources extérieures sont enregistrées. Le transpondeur dispose également d'une série de LED (voir **Figure 11**) sur sa face avant qui donnent des informations sur l'état du transpondeur lui-même et sur le statut de ses interfaces.

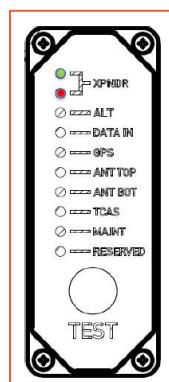


Figure 11 : série de LED en face avant du transpondeur (Source : Honeywell)

¹² Norme de transfert de données utilisée en avionique.

La procédure d'identification de panne « *ATC Transponder BITE Procedure* » consiste à appuyer sur le bouton TEST de la face avant du transpondeur dans le but de vérifier les circuits internes du transpondeur et les informations qui proviennent des systèmes en interaction avec ce transpondeur (antennes, GPS et TCAS par exemple). Si la vérification détecte un défaut, un voyant LED en lien avec ce défaut s'allume sur la face avant du transpondeur. L'allumage d'un voyant renvoie vers une procédure spécifique du manuel d'isolation de panne (FIM, *Fault Isolation Manual*).

1.6.1.3.4 Fiabilité

Selon les spécifications relatives à la version de transpondeur de type TRA 100B équipant les avions Boeing, l'objectif de temps moyen de fonctionnement entre défaillances (MTBF), hors arrêt volontaire ou programmé, qui ne prend en compte que les déposes d'équipements en cas de défaillance, devrait être supérieur à 36 000 heures de vol. L'objectif de temps moyen entre deux déposes non planifiées (MTBUR¹³), qui comprend toutes les déposes de l'équipement, avec défaillance détectée ou supposée, devrait être supérieur à 30 000 heures de vol.

Au 1^{er} juin 2023, et sur une période de 12 mois, les MTBF et MTBUR suivis par HONEYWELL pour les transpondeurs TRA 100B étaient inférieurs au MTBUR de 30 000 heures de vol établi lors de la conception, mais supérieurs aux 5 000 heures de vol exigées (exigence ACNS.D.ELS.045, voir § 1.17.1.2).

1.6.1.3.5 Examens

Les données par les deux transpondeurs équipant l'EC-NGC ont été exploitées. En l'absence de système centralisé de maintenance à bord du Boeing 737, ces données n'ont pu être corrélées ni avec les données enregistrées par les enregistreurs de vol ni avec les éléments du CRM de l'avion.

Des tests et examens ont également été effectués dans le but de déterminer l'origine du dysfonctionnement du transpondeur lors du vol de l'incident grave. Aucun défaut ou aucune anomalie n'ont été constatés pour le transpondeur 1.

Il ressort des données enregistrées par le transpondeur 2 (celui sélectionné par l'équipage lors du vol de l'incident grave) qu'entre le vol de l'incident grave le 21 juillet 2023 et le changement de transpondeurs le 25 juillet 2023, plusieurs messages de pannes ont été enregistrés. Ils montrent un défaut d'un composant électronique (un transistor) dans le circuit d'alimentation électrique en courant continu +50 V du transpondeur. Ce circuit électrique fournit en particulier l'énergie nécessaire aux transmissions de messages (interrogations et réponses). Ce défaut a ainsi eu pour conséquence une absence totale d'émissions d'interrogations et de réponses au format mode S de la part du transpondeur. Celui-ci pouvait cependant toujours recevoir les messages des stations au sol et des transpondeurs des autres aéronefs.

Les tests effectués sur le transpondeur 2 ont également confirmé la transmission d'un signal à l'ATC *Control Panel* pour déclencher l'allumage du voyant **ATC FAIL**.

¹³ *Mean Time Between Unscheduled Removal*. Le MTBUR constitue une mesure opérationnelle. Il est inférieur au MTBF en raison des déposes courantes ayant lieu en exploitation par les organismes de maintenance. Le MTBUR tend avec le temps à converger vers le MTBF à partir des évolutions apportées aux équipements.

1.6.1.3.6 Service bulletin

En 2022, Honeywell a été informé de certains dysfonctionnements des transpondeurs TRA 100B, au niveau du circuit d'alimentation électrique en courant continu +50V, avec les mêmes messages de panne que ceux identifiés lors des examens du transpondeur 2 de l'EC-NGC. Fin juin 2023, 44 % des retours de transpondeurs chez Honeywell étaient dus au problème de ce transistor, quand 34 % étaient liés à d'autres origines et 22 % à aucun défaut identifié.

L'analyse d'Honeywell a conclu que ces dysfonctionnements étaient dus au défaut de fonctionnement d'un transistor dans les conditions d'utilisation du transpondeur. Elle a également montré que les marges de conception relatives aux exigences de dissipation thermique au niveau du transistor étaient insuffisantes.

À partir de cette analyse, Honeywell a développé une solution technique qui a fait l'objet d'un Service bulletin¹⁴ émis le 23 août 2023. Une des principales modifications a été le remplacement de certains composants sur le sous-ensemble de l'alimentation en courant continu. Depuis cette date, Honeywell n'a pas reçu de nouvelles notifications de dysfonctionnements de l'alimentation électrique des transpondeurs.

1.6.1.4 Équipement TCAS

Conformément à la réglementation en vigueur¹⁵, l'avion était équipé d'un TCAS II version 7.1 de marque Honeywell.

Lorsque le TCAS est en panne ou ne peut fonctionner, un message ambre TCAS FAIL est affiché à gauche de l'écran de navigation (ND¹⁶).

1.6.1.5 Dispositifs pour attirer l'attention de l'équipage

Le manuel d'utilisation du Boeing 737-809 (*Flight Crew Operating Manual*, FCOM) indique que deux voyants ambre MASTER CAUTION, associés à des boutons-poussoirs, s'allument dans des conditions qui requièrent une certaine attention de l'équipage en dehors du champ de vision normal de l'équipage. Ces voyants restent allumés tant que les conditions persistent ou jusqu'à ce que l'équipage traite la situation ou appuie sur un des boutons-poussoirs. Le FCOM précise qu'un simple défaut dans certains systèmes redondants, n'allume pas le voyant MASTER CAUTION. C'est le cas par exemple en cas de panne d'un transpondeur.

1.6.1.6 Procédures d'utilisation

La panne d'un transpondeur n'est mentionnée que dans la procédure anormale **ADS-B Out Failure** (voir **Figure 12**) du FCOM en cas de dysfonctionnement d'ADS-B. Elle demande de sélectionner le second transpondeur.

¹⁴ Navigation – Modification (MOD 8) to TRA-100B, PN 066-01212-0301, replacement of the DC power supply due to the TR44 component field failure of the TRA-100B transponder.

¹⁵ Exigence AUR.ACAS.1005 du règlement consolidé (UE) n° 1332/2011 ([Version en vigueur le jour de l'incident grave](#)).

¹⁶ Navigation Display.

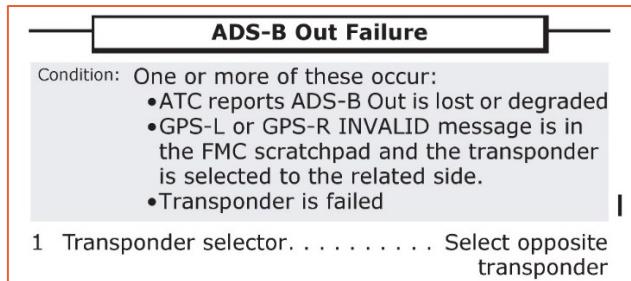


Figure 12 : ADS-B Out Failure – Procédure Boeing 737 FCOM QRH (Source: Boeing)

1.6.2 Carnet de route / de bord / CRM

Constructeur	Embraer
Type	ERJ 190-100 LR
Numéro de série	19000113
Immatriculation	F-HBLD
Mise en service	2007

Conformément aux exigences réglementaires¹⁷, l’Embraer 190 immatriculé F-HBLD était équipé d’un TCAS II version 7.1.

1.7 Renseignements météorologiques

Au FL 350, au moment et dans la région où la séparation a été minimale entre les deux avions, la visibilité est supérieure à 10 km.

1.8 Aides à la navigation

Sans objet.

1.9 Télécommunications - Communications, Navigation et Surveillance (CNS)

1.9.1 Système de surveillance et anticollision

1.9.1.1 Protocoles de communication

Les systèmes de surveillance utilisés par les services de la navigation aérienne reposent principalement (à la date de publication du rapport) sur les radars secondaires de surveillance (SSR) installés au sol. Le radar secondaire de surveillance (SSR) a été conçu pour fournir aux contrôleurs aériens des mesures de position et des informations complémentaires grâce aux réponses transmises par un transpondeur installé à bord des aéronefs.

Pour fournir des informations telles que la position, l’identification ou l’altitude des aéronefs, les SSR dépendent de l’acquisition d’informations transmises par les transpondeurs embarqués à bord des aéronefs.

17 Règlement (UE) 2016/583 de la Commission du 15 avril 2016 modifiant le règlement (UE) no 1332/2011 (Version en vigueur le jour de l’incident grave).

Différents protocoles de communication, appelés « modes », ont été standardisés pour les transpondeurs, dont trois pour l'aéronautique civile :

- en mode A (aussi appelé 3/A), le transpondeur transmet un code à quatre chiffres, préalablement attribué par un contrôleur à un pilote ou à un équipage, dès qu'il reçoit une interrogation d'un radar secondaire au sol ;
- en mode C, le transpondeur dispose en complément d'information sur l'altitude-pression de l'aéronef ;
- le mode S (S pour sélectif) pallie de nombreuses limites des modes A et C (brouillage par exemple) et améliore la capacité de communication. Le mode S permet également l'échange de nombreuses informations, en particulier pour le système anticollision en vol (ACAS¹⁸) et l'ADS-B¹⁹. Toutes les informations échangées en mode S sont nécessairement associées à une adresse fixe OACI assignée à chaque aéronef (combinaison unique de 24 bits).

1.9.1.2 Mode S

Le protocole de communication mode S gère différents types de formats de messages pour les interrogations (liaison montante) et les réponses (liaison descendante). Les interrogations sont transmises sur la fréquence 1 030 MHz et les réponses sur la fréquence 1 090 MHz. Par ailleurs, chaque message est défini par un numéro de format de liaison montante (UF) ou descendante (DF). Il existe différentes structures de blocs de données des messages en fonction du numéro UF/DF. Chaque message peut être court (codé sur 56 bits) ou long (codé sur 112 bits). Ils ont tous la même structure avec un en-tête qui définit le numéro de format (codé sur 5 bits), un champ de données puis un champ pour indiquer la fin du message.

Ainsi, certains paramètres de l'aéronef sont transmis sur demande (interrogation), d'autres peuvent être transmis automatiquement ce qui permet les échanges d'informations entre différents systèmes (voir **Figure 13**) :

- les radars secondaires qui ont transmis une interrogation ;
- les systèmes ACAS des aéronefs dont les transpondeurs ont émis une interrogation ;
- les récepteurs ADS-B.

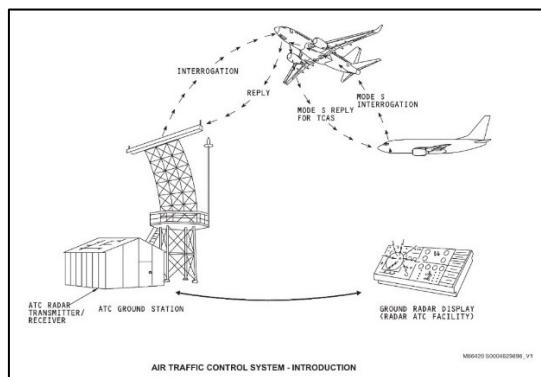


Figure 13 : surveillance et anticollision (Source : Boeing)

18 Voir § 1.9.1.4.

19 Automatic Dependent Surveillance-Broadcast. Système de surveillance par satellite permettant aux aéronefs de diffuser périodiquement des paramètres sans recevoir d'interrogations au préalable.

1.9.1.3 Transpondeurs

Les aéronefs qui entrent dans une zone de couverture d'un radar mode S sont d'abord détectés par des interrogations au format UF=11 de ces radars auxquelles les transpondeurs répondent lorsque l'aéronef n'est pas au sol par des réponses DF=11. Le radar acquiert ainsi la position et l'adresse OACI de l'aéronef qui sont ensuite utilisées pour interroger de manière sélective cet aéronef (différents messages au format UF, voir **Figure 15**) pendant le reste du vol à travers la couverture radar. Ces interrogations sélectives permettent de :

- mettre à jour la position horizontale de l'aéronef ;
- demander à l'aéronef de ne pas répondre aux interrogations non sélectives transmises par le radar ;
- demander des informations supplémentaires telles que l'altitude.

Par ailleurs, les transpondeurs mode S émettent également toutes les secondes environ, des transmissions spontanées (*squitters*) au format DF=11 qui incluent différentes informations, dont l'adresse de l'aéronef, pour permettre l'acquisition passive de ces messages par les systèmes de multilatération²⁰ (MLat) et les systèmes ACAS. Ces transmissions sont émises alternativement entre les antennes mode S installées sous et au-dessus (lorsque celle-ci est installée) du fuselage.

1.9.1.4 Système anticollision ACAS

L'ACAS est un concept qui a pour objectif de prévenir les collisions et les rapprochements en vol. Il existe trois types de systèmes ACAS :

- l'ACAS I ne peut émettre que des avis de trafic (TA). Les TA indiquent la position des aéronefs intrus qui pourraient constituer une menace et générer plus tard l'affichage d'avis de résolution (RA).
- l'ACAS II émet des TA et des RA. Ceux-ci fournissent des indications de manœuvres verticales à suivre par l'équipage pour augmenter ou maintenir l'espacement vertical existant et assurer la séparation avec les aéronefs qui représentent une menace. Les RA sont émis avec un délai de 15 à 35 secondes avant le point de rapprochement maximal (CPA²¹) entre les deux aéronefs.
- l'ACAS III fournit des TA et des RA dans les plans horizontaux et verticaux. Il n'est pas encore implanté.

Actuellement, le système le plus courant d'ACAS est le TCAS²² II version 7.1, installé à bord du LAV4651 et du AFR21YB. Cette version est obligatoire en transport commercial (CAT) depuis 2015.

	Autre trafic
	Trafic à proximité, à moins de 6 NM en espacement horizontal et moins de 1 200 ft en vertical
	TA, généralement activé 20 à 48 secondes avant le CPA
	RA, généralement activé 15 à 35 secondes avant le CPA

Figure 14: exemples de symbologie d'affichage des trafics

20 Systèmes qui utilisent la différence de temps d'arrivée des signaux émis par un transpondeur entre plusieurs récepteurs au sol pour déterminer la position de l'aéronef (ou d'un véhicule au sol).

21 Closest Point of Approach.

22 Traffic alert and Collision Avoidance System.

Un transpondeur mode S d'un aéronef doit être installé et opérationnel pour que le TCAS II de cet aéronef soit opérationnel. Les TCAS II ne peuvent émettre des TA et des RA qu'à l'encontre d'aéronefs dotés de transpondeurs modes A/C ou mode S signalant l'altitude. Les TCAS II ne peuvent pas suivre les aéronefs qui ne sont pas équipés de transpondeurs ou dont les transpondeurs ne sont pas utilisés ou en panne.

Les TCAS II évaluent quels sont les aéronefs qui représentent une menace de collision selon un processus en trois phases : détection, surveillance et coordination.

Détection :

- un TCAS II ne peut pas détecter un aéronef qui n'est pas équipé de transpondeur, dont le transpondeur n'a pas été mis en fonctionnement ou dont le transpondeur est en panne ;
- pour détecter les autres aéronefs équipés de transpondeurs mode S, le TCAS II capte passivement les « *squitters* » DF=11 émis par ces transpondeurs. La réception de ces transmissions permet au TCAS d'obtenir l'adresse OACI de l'aéronef pour la phase suivante de surveillance. Le TCAS II peut également capter les messages ADS-B transmis environ quatre fois par seconde par les transpondeurs des autres aéronefs au format DF=17, identiques aux *squitters* DF=11, mais avec un champ de message supplémentaire pouvant être utilisé pour transmettre certaines informations supplémentaires.

Surveillance :

- lorsqu'un TCAS II d'un aéronef détecte la présence d'un aéronef dans sa zone de détection (environ 30 NM), il émet un message court UF=0 pour poursuivre cet aéronef. Le transpondeur de cet aéronef répond avec un message DF=0 qui contient différentes informations telles que l'altitude ou la vitesse vraie maximale lorsque celle-ci est disponible ;
- le TCAS II émet également de manière périodique (par l'intermédiaire de ses antennes associées) des messages spécifiques de surveillance de liaison montante UF=16 à l'attention des aéronefs dans sa zone de surveillance. Ces messages d'interrogation à diffusion générale du TCAS²³ permettent à un aéronef d'annoncer sa présence à d'autres aéronefs équipés de TCAS à proximité. Ces interrogations sont envoyées toutes les huit à dix secondes par le TCAS ;
- les TCAS II traitent individuellement chaque réponse reçue et établissent des informations d'altitude, de portée, de relèvement et de rapprochement à partir des réponses reçues pour déterminer si l'aéronef constitue une menace.

Coordination

- la coordination entre TCAS II est assurée par des transmissions utilisant des interrogations et des réponses au format UF et DF=16. Les interrogations UF=16 utilisées pour la coordination comportent entre autres l'information²⁴ permettant d'assurer des manœuvres d'évitement complémentaires en limitant le choix des manœuvres disponibles pour le TCAS (message de résolution TCAS) ;
- une réponse de coordination au format DF=16 constitue un accusé de réception qui informe le TCAS ayant transmis le message de coordination que son interrogation a été reçue par le transpondeur mode S de l'autre aéronef ;
- les réponses aux interrogations UF=16 sont transmises au format DF=16 pour garantir une coordination entre TCAS assurant la compatibilité des avis de résolution émis par les deux aéronefs.

23 Il existe trois types de messages d'interrogation du TCAS. Les messages d'interrogation à diffusion générale constituent le 1er type et sont appelés TBIM (TCAS Broadcast Interrogation Messages).

24 Vertical Resolution Advisory Complement, VRC

Les TCAS disposent d'un logiciel de surveillance automatique qui contrôle en permanence et automatiquement son état et ses performances dès qu'il est mis sous tension²⁵. Ce logiciel doit permettre en particulier au TCAS de détecter une perte d'intégrité des données qu'il reçoit d'autres systèmes embarqués ou équipements. Le TCAS surveille et valide la liaison de données du transpondeur selon différents protocoles ARINC à partir des bus entre le transpondeur et le TCAS.

1.9.2 Suivi des performances des systèmes de surveillance

Dans le but d'améliorer la gestion du trafic aérien et les services de navigation aérienne en Europe, le « ciel unique européen » est établi à partir d'un ensemble de mesures pour optimiser l'espace aérien, d'objectifs de performance et de projets de développements de nouveaux systèmes.

Eurocontrol²⁶ est nommé gestionnaire du réseau (*Network Manager*) du trafic aérien pour le ciel unique européen et, dans ce cadre, est chargé des fonctions de conception et de gestion de ce réseau. Ces « fonctions de réseau »²⁷ concernent :

- la conception du réseau de routes européen (ERND) ;
- la gestion des courants de trafic aérien (ATFM) ;
- la coordination des radiofréquences à l'intérieur des bandes de fréquences aéronautiques réservées à la circulation aérienne générale et codes de transpondeur radar.

La mise en œuvre de ces fonctions de réseau exige d'Eurocontrol un certain nombre de tâches²⁸, dont la surveillance :

- des fréquences 1 030 et 1 090 MHz et l'interopérabilité des systèmes de surveillance ;
- des systèmes ACAS.

À cette fin, Eurocontrol utilise deux outils qui permettent de suivre l'activité des transpondeurs et de détecter des pertes de détection (identification erronée de l'aéronef, adresse erronée de l'aéronef, etc.) à partir d'un ensemble de 80 récepteurs 1 030 / 1 090 MHz déployés en Europe et de données de surveillance fournies par des systèmes de surveillance ou radar d'États européens.

Grâce à ces systèmes et aux comptes rendus des différents prestataires de services de la navigation aérienne (ANSP), les problèmes de transpondeurs sont analysés avec les exploitants, les ANSP et les équipementiers afin d'identifier l'origine de ces problèmes et d'envisager des mesures correctives (pannes de transpondeur touchant un seul aéronef, problèmes de conception, absence de conformité aux exigences réglementaires).

À partir des différents enregistrements disponibles, il a été possible de déterminer que le transpondeur du Boeing 737-809 avait émis différents *squitters* et réponses avant l'arrêt complet de transmissions sur la fréquence 1 090 MHz à partir de 8 h 30 min 35. Aucune réponse aux interrogations des radars au sol (format DF=11) ni aucune émission périodique ADS-B (format DF=17) n'ont par exemple été reçues par le système de surveillance d'Eurocontrol entre 8 h 30 min 35 et 8 h 54 min 39.

²⁵ Conformément aux dispositions de l'EUROCAE ED-143 – Minimum Operational Performance Standards for Traffic Alert and Collision Avoidance System II (TCAS II).

²⁶ Organisation pour la sécurité de la navigation aérienne en Europe.

²⁷ Règlement européen (UE) 2019/123 du 24 janvier 2019 établissant les modalités d'exécution des fonctions de réseau de la gestion du trafic aérien (Version en vigueur le jour de l'incident grave).

²⁸ Article 7 du règlement européen (UE) 2019/123.

Cependant, Eurocontrol a indiqué que pendant la période d'environ 25 minutes d'absence d'émissions du transpondeur, des émissions périodiques en liaison montante au format long 16 (UF=16) ont continué à être transmis par le TCAS 737-809. Ces émissions indiquent que ce TCAS a continué de fonctionner pendant l'interruption des transmissions du transpondeur. L'exploitation de ces messages indique que les échanges de messages sont restés en phase de surveillance et qu'à aucun moment il n'y a eu de phase de coordination (voir § 1.9.1.4). De même, le TCAS de l'Embraer 190 a également émis de manière régulière des messages en réponse aux messages émis par le TCAS du Boeing 737-809.

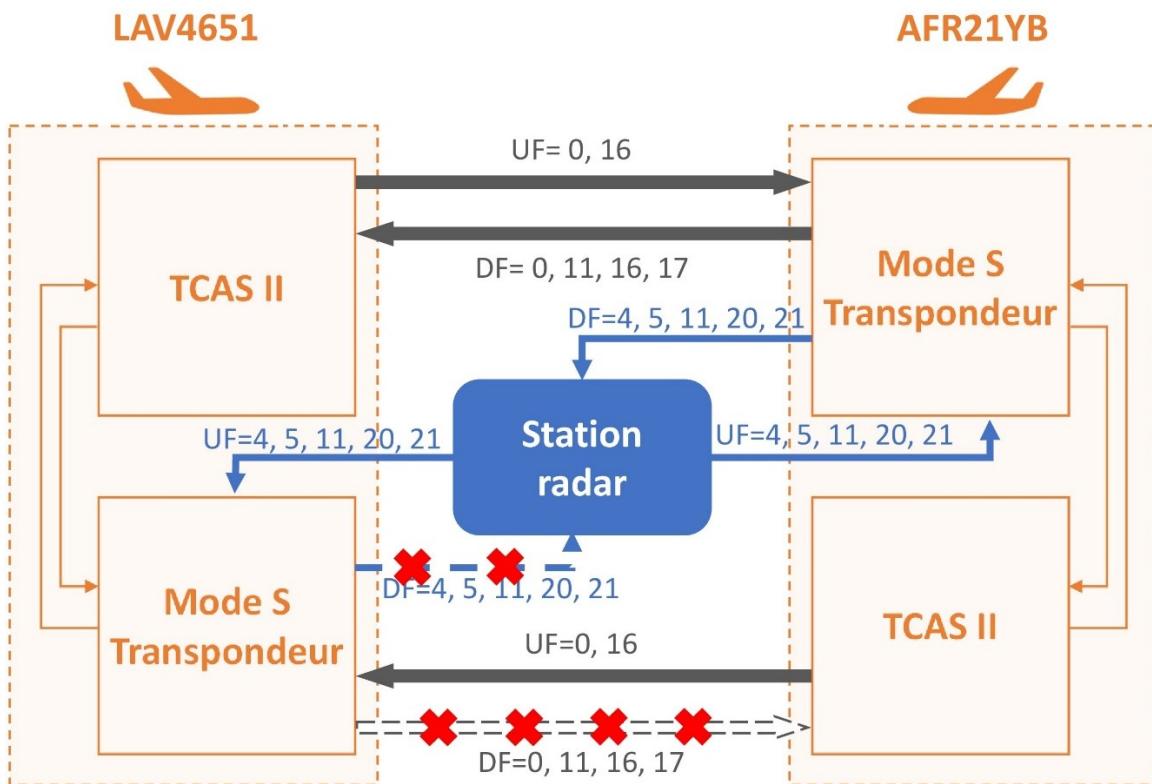


Figure 15 : communications TCAS (les croix rouges indiquent les fonctions perdues lors de l'incident grave)
(Source : adaptation de la figure B-1 du document EUROCAE ED143 sur les standards relatifs au TCAS II)

1.9.3 Simulation TCAS

Les données enregistrées par les QAR du Boeing 737 et de l'Embraer 190 ont été exploitées avec des simulateurs pour déterminer comment les TCAS de ces deux avions auraient fonctionné en l'absence de défaillance du transpondeur du 737.

Les simulateurs d'Eurocontrol exploitent ces données à partir de la logique des TCAS II et de fonctions de modélisations avancées. Ils ont permis de confirmer les éléments suivants :

- la perte de norme de séparation radar (5 NM) a lieu à 8 h 50 min 28 ;
- le rapprochement maximal entre les deux avions a eu lieu à 8 h 51 min 28 pour une distance de 2,6 NM ;
- l'absence de déclenchement de TA ou de RA, même en simulant l'absence de dysfonctionnement du transpondeur.

1.9.4 Influence sur le contrôle de la circulation aérienne d'un dysfonctionnement de transpondeur

Eurocontrol a publié en 2019 une étude de sécurité²⁹ sur l'influence d'un dysfonctionnement de transpondeur sur le contrôle de la circulation aérienne. Plusieurs situations sont prises en compte dans l'étude. Elle considère en particulier que la défaillance intervient lorsque le service de contrôle radar est rendu et qu'un contact radio est maintenu entre le contrôleur et l'équipage. Les différents scénarios liés à un dysfonctionnement de transpondeur, avec les effets associés, sont illustrés sur la Figure 16 ci-dessous.

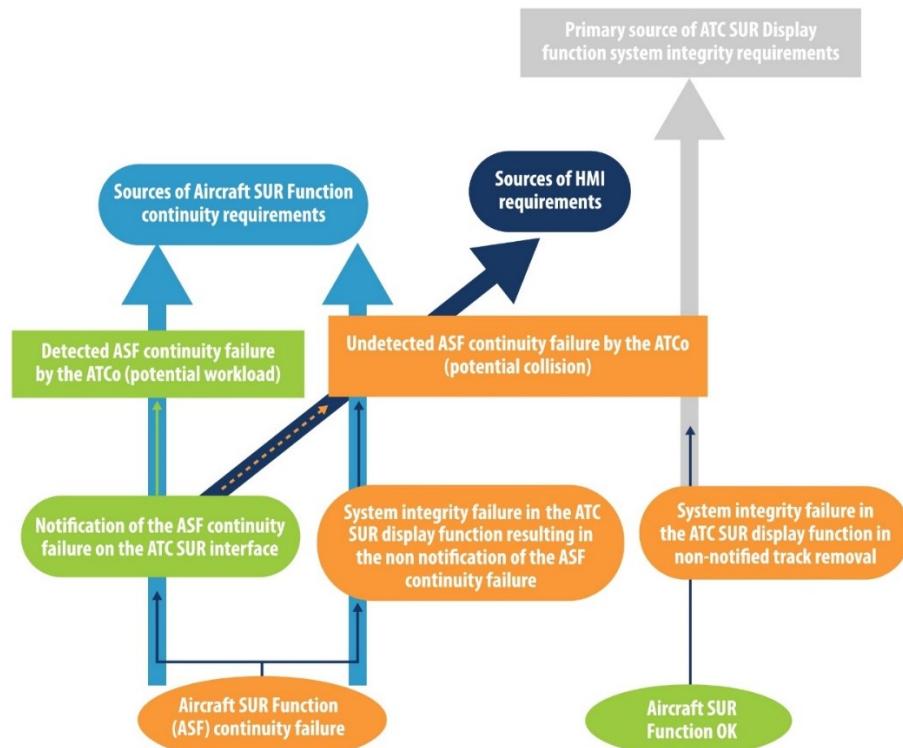


Figure 16 : scénarios et conséquences liés à un dysfonctionnement de transpondeur

La flèche bleu clair sur la gauche illustre le cas d'une défaillance des fonctions du transpondeur de l'aéronef, combinée à une notification du système au sol de cette défaillance détectée par le contrôleur aérien. La seconde flèche bleu clair montre le cas d'une défaillance des fonctions du transpondeur de l'aéronef combinée à une défaillance simultanée de la notification de l'affichage du système au sol. Dans ce cas, le dysfonctionnement du transpondeur de l'aéronef est supposé ne pas être détecté par le contrôleur aérien.

La flèche bleu foncé caractérise le risque d'absence de détection par un contrôleur aérien d'une perte d'une piste précédemment affichée et initialement identifiée par ce contrôleur aérien et malgré la présence d'alertes caractéristiques d'une perte de suivi de piste radar liée à un dysfonctionnement de transpondeur.

L'étude de sécurité indique que *si la piste est retirée de l'affichage et si elle n'est pas détectée par le contrôleur aérien, il y a un risque que seule la providence puisse empêcher une perte de séparation entre l'aéronef concerné par le dysfonctionnement du transpondeur et un autre transpondeur*³⁰.

²⁹ [Operational Safety Study on impact on ATC from a loss of aircraft transponder function](#).

³⁰ Traduction de courtoisie de l'anglais.

L'étude de sécurité précise qu'au-delà de l'amélioration d'aspects techniques relatifs au transpondeur, les éléments indispensables pour garantir la détection d'un dysfonctionnement de transpondeur par un contrôleur aérien ainsi que le traitement efficace et sans délai de ce type de dysfonctionnement, reposent sur des mécanismes tels que des procédures ou une ergonomie adaptée.

1.9.5 Risques liés au dysfonctionnement d'un transpondeur

Eurocontrol a publié une étude en octobre 2014 sur les risques liés à l'exploitation d'un aéronef sans transpondeur ou avec un transpondeur défaillant³¹. L'introduction de l'étude indique que l'exploitation d'aéronefs sans transpondeur ou avec un transpondeur défectueux constitue une menace qui à elle seule est susceptible de mettre en défaut l'ensemble des mesures de sécurité existantes.

L'étude décrit en particulier les moyens de détecter les défaillances des transpondeurs et d'atténuer les risques associés. Elle précise que dans la mesure où la défaillance d'un transpondeur provient d'un problème technique, la conception et les procédures de maintenance des transpondeurs constituent des moyens prépondérants dans la diminution du risque de défaillances.

Un des scénarios abordés dans l'étude est la perte totale de transpondeur, sans aucune transmission d'informations aux stations radar au sol. Le risque le plus grave est une perte de séparation entre aéronefs en raison de la perte de contact radar avec l'aéronef dont le transpondeur est défectueux.

D'après l'étude, les barrières les plus efficaces pour les scénarios associés à la perte totale du transpondeur sont les suivantes :

- la conception et la mise en place d'outils efficaces pour alerter les contrôleurs aériens en cas de perte de suivi de piste radar ;
- les comptes rendus de position par radio, particulièrement lors du transfert d'un secteur à un autre, à l'exception des transferts silencieux entre secteurs.

L'étude indique également que l'utilisation des radars de surveillance primaires (PSR) peut constituer une barrière efficace. L'étude précise que ces radars sont de moins en moins utilisés pour le contrôle en route et qu'une coopération accrue avec les autorités militaires pourrait permettre d'améliorer l'efficacité de détection d'un problème de transpondeur.

L'AESA évalue dans le cadre des questions de sécurité (« *safety issues* ») du plan de sécurité européen (EPAS) relatives à la navigation aérienne (*safety issue SI-2002 : Deconfliction with aircraft operating with a malfunctioning/non-operative transponder*³²) le risque de collision en vol ou avec le sol en raison d'un dysfonctionnement de transpondeur transmettant des informations erronées.

³¹ [Etude de sécurité d'Eurocontrol](#), édition 1.0 du 7 octobre 2014.

³² [EPAS Volume III 'Safety Risk Portfolios' 2025 Edition, page 72](#).

1.9.6 Enregistrement de l'environnement sonore des positions de contrôle

L'Annexe 11 de l'OACI relative aux services de la circulation aérienne recommande que les organismes de contrôle de la circulation aérienne soient équipés de dispositifs permettant d'enregistrer les communications en arrière-plan et l'ambiance sonore aux postes de travail des contrôleurs aériens³³. L'Annexe 11 précise que ces enregistrements devraient être conservés durant au moins les 24 dernières heures de fonctionnement.

Cette recommandation de l'OACI est reprise dans le règlement (UE) 2017/373³⁴, dit « IR ATM/ANS » qui introduit, sous certaines conditions, une exigence d'enregistrement de l'environnement sonore et des communications de fond (exigence ATS.OR.460) :

- « a) Sauf instruction contraire de l'autorité compétente, les organismes des services de la circulation aérienne sont équipés de dispositifs qui enregistrent les communications de fond et l'environnement sonore aux postes de travail du contrôleur de la circulation aérienne, de l'agent d'information de vol ou de l'agent AFIS, selon le cas, et sont capables de conserver les informations enregistrées pendant au moins les 24 dernières heures de fonctionnement.*
- b) Ces enregistrements ne sont utilisés qu'aux fins des enquêtes sur les accidents et les incidents qui font l'objet d'une déclaration obligatoire. »*

En France, un [arrêté daté du 9 juin 2020](#), modifié par un [arrêté du 8 février 2022](#), prévoit que « jusqu'au 31 janvier 2025, les prestataires de services de contrôle d'aérodrome, de contrôle d'approche et de contrôle en route rendant des services à la circulation aérienne générale ne sont pas tenus d'équiper leurs organismes » des dispositifs enregistrant les communications de fond et l'environnement sonore aux postes de travail des contrôleurs aériens. Cet arrêté a été modifié par arrêté du 29 janvier 2025 :

- jusqu'au 31 janvier 2026³⁵, la DSNA « n'est pas tenue d'équiper ses organismes de dispositifs d'enregistrement des communications de fond et de l'environnement sonore » ;
- avant le 1^{er} décembre 2025, la DSNA doit soumettre à l'approbation de la DSAC un programme d'installation de ces dispositifs d'enregistrement. La DSAC dispose de deux mois pour se prononcer sur ce programme.

1.10 Renseignements sur l'aérodrome

Sans objet.

1.11 Enregistreurs de bord

L'incident grave a été identifié quelques jours après sa survenue et les données CVR n'étaient plus disponibles pour l'EC-NGC et le F-HBLD.

Les données des enregistreurs non-protégés QAR (*Quick Access Recorder*) des deux avions, similaires aux données FDR, les données audio et radar des services de la navigation aérienne ont pu être récupérées et synchronisées sur la base de temps des données radars. À partir de ces données, il a été déterminé que la distance horizontale entre les deux aéronefs a atteint un minimum de 2,6 NM alors que ces deux avions se trouvaient au FL 350.

³³ Chapitre 3.3.3 - Fonctionnement du service du contrôle de la circulation aérienne.

³⁴ Règlement de la Commission du 1^{er} mars 2017 établissant des exigences communes relatives aux prestataires de services de gestion du trafic aérien et de services de navigation aérienne ainsi que des autres fonctions de réseau de la gestion du trafic aérien, et à leur supervision ([Version en vigueur le jour de l'incident grave](#)).

³⁵ 31 janvier 2030 pour les organismes à Saint-Barthélemy, à Saint-Pierre-et-Miquelon, dans les îles Wallis et Futuna, en Polynésie française, en Nouvelle-Calédonie et dans les Terres australes et antarctiques françaises.

Les trajectoires des deux avions avaient un gisement constant de 35° pendant les trois minutes qui ont précédé le point de séparation minimal.

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.

1.16 Essais et recherches

Sans objet.

1.17 Renseignements sur les organismes et la gestion

1.17.1 Spécifications de certification

1.17.1.1 Certification de type des avions Boeing 737-809

La base de certification de type des aéronefs est constituée, à quelques exceptions près, des spécifications de certification de navigabilité applicables à l'aéronef et en vigueur à la date de demande du certificat par le concepteur de cet aéronef.

Les avions de type Boeing étant conçus aux États-Unis, l'autorité de certification de ces avions est la FAA. La base de certification des avions Boeing 737-809, comme l'EC-NGC, répond ainsi aux exigences de certification des versions 1 (date d'entrée en vigueur le 7 juillet 1965) à 77 (date d'entrée en vigueur le 29 juillet 1992) de la Partie 25 du titre 14 du code des règlements fédéraux des États-Unis³⁶ (14 CFR Part 25 ou aussi connue sous le nom de FAR 25), établie par la FAA et applicable aux avions de transport. Certaines conditions spéciales et exemptions sont également prévues et indiquées dans le certificat de type de ces avions.

La base de certification équivalente en Europe pour les Boeing 737-809 est la version 14 du JAR25 du 27 mai 1994 avec des conditions spéciales et exemptions similaires.

Note : Les JAR (Joint Aviation Requirements) étaient émis par les autorités conjointes de l'aviation (JAA) et suivis par les autorités de l'aviation civile de chaque État membre de l'Union européenne avant la création de l'AESA en 2002 qui les a transposés en spécifications de certification, sous la forme de documents communément appelés « CS » (Certification Specifications). Le JAR 25 et ensuite le CS 25 s'appliquent aux avions de transport de masse maximale au décollage supérieure à 5 700 kg.

³⁶ Code of Federal regulations, CFR.

1.17.1.2 Exigences applicables aux transpondeurs

La FAA a mis à jour le 21 juillet 2017 une circulaire³⁷ pour guider les détenteurs de certificats de type lors du processus de certification des installations de TCAS II et de transpondeurs mode S à bord des aéronefs. Les dispositions décrites dans cette circulaire couvrent les aspects de conception, les caractéristiques des systèmes et des équipements, les tests à effectuer ainsi que la criticité en cas de défaillance des TCAS II et des transpondeurs associés. Ces dispositions correspondent à des moyens acceptables de conformité (AMC³⁸) pour obtenir ces approbations.

Il est à noter que la circulaire fait en particulier référence aux spécifications de certification de l'AESA sur les critères d'installation, de certification et d'approbation des transpondeurs ou de modifications de conception des aéronefs ([CS-ACNS](#)).

La circulaire de la FAA évoque l'enquête relative à la collision en vol survenue en 2006 au Brésil (voir § 1.18.5) qui a conduit au renforcement les exigences sur les dispositifs d'alerte des équipages en cas de défaillance du TCAS. La circulaire précise que pour les « *nouvelles installations* » de TCAS II et/ou de transpondeurs, la défaillance d'un transpondeur ou d'un TCAS devrait, pour respecter les exigences des dispositifs pour attirer l'attention des équipages (voir § 1.17.1.3), être annoncée en jaune/ambre dans le champ de vision principal des pilotes. La circulaire recommande également que ces alertes soient associées avec le système principal d'avertissement et d'alarme de l'aéronef. Cependant, la circulaire ajoute qu'une « *nouvelle installation* » correspond à :

1. l'installation d'un transpondeur mode S dans un aéronef qui n'en est pas encore équipé ;
2. l'installation d'un système TCAS II dans un aéronef qui n'en est pas encore équipé ; ou
3. un aéronef nouvellement conçu, c'est-à-dire un aéronef qui n'a pas encore reçu de certificat de type.

Ces recommandations ne concernent pas l'installation d'un nouveau type de transpondeur à bord d'un Boeing 737 tel que l'EC-NGC.

Au-delà de ces dispositions de navigabilité, les exploitants de transport commercial doivent également respecter certaines exigences opérationnelles pour évoluer dans l'espace aérien européen (CS-ACNS et exigences d'emport de transpondeurs³⁹). Ainsi, pour les exploitants d'avions dont la masse maximale au décollage est supérieure à 5 700 kg ou dont la vitesse vraie maximale de croisière est supérieure à 250 kt et dont le premier certificat de navigabilité individuel a été délivré le 7 juin 1995 ou après cette date, les transpondeurs doivent être en état de fonctionnement et répondre en particulier aux conditions suivantes :

- conformité aux normes techniques européennes ETSO-c112d (ou d'une norme équivalente conforme à l'Annexe 10 de l'OACI) qui exigent de répondre au minimum aux standards établis dans le document EUROCAE ED-73E⁴⁰.

³⁷ [Circulaire 20-151C](#)

³⁸ *Acceptable Means of Compliance*.

³⁹ Conformément aux exigences d'emport de transpondeurs du [règlement \(UE\) n° 1207/2011](#) qui devaient être satisfaites au plus tard le 7 juin 2023. Elles ont été reprises de manière similaire dans le [règlement d'exécution \(UE\) 2023/1770](#) de la Commission du 12 septembre 2023 qui a abrogé le règlement d'exécution (UE) n° 1207/2011.

⁴⁰ *Minimum Operational Performance Specification for Secondary Surveillance Radar Mode S Transponders* de mai 2011.

- compatibilité avec le système ACAS s'il y en a un embarqué ;
- indication de l'absence de fonctionnement ou la défaillance du transpondeur, sans délai et sans que l'équipage ait à intervenir (exigence CS ACNS.D.ELS.030) ;
- surveillance élémentaire en mode S (ELS) : transmissions par exemple du code transpondeur utilisé en vol et présenté aux contrôleurs, de l'altitude de l'aéronef, de la capacité de liaison de données du transpondeur ou du statut du vol (sol/vol) ;
- surveillance renforcée en mode S embarquée (EHS) : transmission par exemple de paramètres supplémentaires, lorsqu'ils sont disponibles, tels que l'altitude sélectionnée par l'équipage, la vitesse vraie de l'aéronef, sa vitesse sol ;
- capacités de surveillance dépendante automatique en mode diffusion «out» (ADS-B Out) utilisant le *Squitter* long 1 090 MHz (ES) : transmission par exemple à partir de sources approuvées de nombreux paramètres tels que l'immatriculation de l'aéronef, le code transpondeur de quatre chiffres, l'adresse OACI de l'aéronef, la position GNSS (latitude et longitude) de l'aéronef, l'altitude pression, sa vitesse verticale ou sa route ;
- continuité suffisante pour éviter de présenter un risque opérationnel.

En transport commercial, certaines capacités supplémentaires peuvent être exigées en fonction des routes empruntées.

Les [CS-ACNS](#) précisent qu'une défaillance des fonctions ELS et EHS est considérée comme une condition de panne mineure⁴¹ (exigences CS ACNS.D.ELS.040 et CS ACNS.D.EHS.020 - Intégrité).

Il est également prévu une probabilité de défaillance faible (exigence CS ACNS.D.ELS.045 Continuité), correspondant au temps moyen de fonctionnement entre défaillances (MTBF⁴²) supérieure ou égale à 5 000 heures de vol.

1.17.1.3 Dispositifs pour attirer l'attention des équipages

Les paragraphes 25.1322 des versions de la FAR25 et du JAR 25.1322⁴³ applicables aux Boeing 737-809 tels que l'EC-NGC, exigeaient que les voyants d'alarme, d'alerte ou d'information installés dans les postes de pilotage, doivent être :

- de couleur rouge pour les alarmes relatives à des dangers nécessitant des actions immédiates ;
- de couleur ambre pour les alertes nécessitant une éventuelle action ;

Pour répondre aux exigences précédentes, des informations complémentaires à ces exigences précisaien que :

- les voyants lumineux pour matérialiser les alarmes et les alertes devraient être placés dans le champ de vision normal de chaque membre d'équipage et être visibles dans toutes les conditions d'éclairage ;
- l'association de signaux sonores à des alarmes⁴⁴, en rouge, et des alertes⁴⁵, en ambre, est optionnelle sauf si l'autorité l'exige.

⁴¹ Condition qui ne réduit pas de manière significative la sécurité du vol et qui nécessite une action de l'équipage.

⁴² Mean Time Between Failure.

⁴³ « Warning, caution, and advisory lights ».

⁴⁴ Une reconnaissance immédiate et une action corrective de la part de l'équipage sont nécessaires.

⁴⁵ Une prise de conscience immédiate de l'équipage est nécessaire et des mesures devront être prises par l'équipage.

À partir de 2011, dans le cadre d'un travail d'harmonisation entre la FAA et l'AESA, les paragraphes 25.1322 des CS25 et des FAR25 (versions postérieures à la base de certification applicable aux Boeing 737-809 tels que l'EC-NGC) ont été largement modifiés. Les conventions de couleur décrites dans le paragraphe 25.1322 de la version 14 du JAR 25 restent les mêmes.

Cependant, il est exigé que les dispositifs pour attirer l'attention des équipages :

1. fournissent à l'équipage de conduite les informations nécessaires pour :
 - i. identifier un fonctionnement anormal, et
 - ii. déterminer les actions appropriées, le cas échéant ;
2. soient facilement détectables et intelligibles par l'équipage de conduite dans toutes les conditions d'exploitation prévisibles, y compris lorsque plusieurs alertes sont émises ;
3. soient supprimées lorsque la condition d'alerte n'existe plus.

Il est également demandé que ces dispositifs fournissent des éléments permettant d'attirer l'attention par l'intermédiaire d'au moins deux sens différents, en combinant des alertes sonores, visuelles ou tactiles.

Des AMC sont décrits pour démontrer le respect des exigences relatives aux dispositifs pour attirer l'attention. Il ressort en particulier :

- qu'il peut être difficile pour les avions disposant déjà de dispositifs pour attirer l'attention des équipages de se conformer aux spécifications actuelles de certification en cas d'évolutions ou d'installations de nouveaux équipements ou systèmes embarqués ;
- que l'objectif est de fournir un emplacement intuitif et cohérent pour attirer l'attention des équipages ;
- que les informations visuelles d'alerte devraient être placées de manière à ce que les deux pilotes puissent facilement identifier l'état d'alerte. Elles devraient ainsi être situées dans le champ de vision principal (voir **Figure 17**) de chaque pilote.

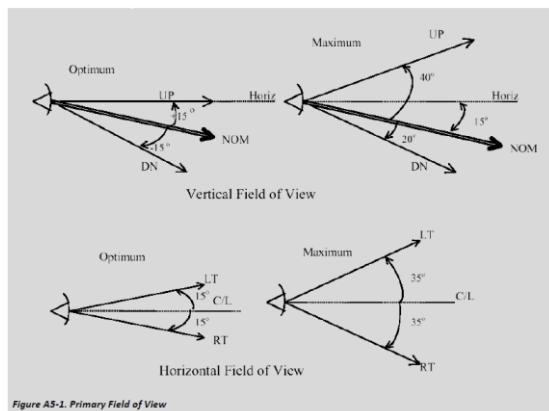


Figure 17 : champ de vision principal (Source : CS25)

1.17.2 Renseignements sur la DSNA

1.17.2.1 Organisation

La Direction des services de la navigation aérienne (DSNA) est le prestataire de service de navigation aérienne (PSNA) désigné en France. Elle fait partie des trois directions qui composent la Direction générale de l'aviation civile (DGAC), avec la Direction du transport aérien (DTA) et la Direction de la sécurité de l'aviation civile (DSAC).

LA DSNA comprend quatre directions :

- la Direction de la sécurité (DSEC), chargée en particulier de :
 - développer et maintenir le système de gestion de la sécurité,
 - proposer la stratégie et les objectifs de la DSNA en matière de sécurité,
 - émettre des recommandations nécessaires ou utiles pour atteindre les objectifs sécurité de la DSNA,
 - étudier, développer et promouvoir des méthodes d'analyse des changements, de traitement des événements de sécurité et de pilotage de la sécurité, et les besoins de formation associés ;
- la Direction de la stratégie et des ressources (DSR) chargée en particulier de gérer les ressources humaines et financières de la DSNA ;
- la Direction de la technique et de l'innovation (DTI), chargée d'assurer le fonctionnement des matériels et systèmes de la DSNA et de développer, au besoin en partenariat avec des industriels, des programmes de modernisation technique ;
- la Direction des opérations (DO) qui rassemble l'ensemble des activités de contrôle aérien et assure la coordination entre les cinq centres de contrôle en route (CRNA, voir **Figure 18**). La DO dirige également les services de la navigation aérienne (SNA) qui regroupent par grandes régions les services de contrôle d'approche et les tours de contrôle. Elle comprend aussi le centre d'exploitation des systèmes de la navigation aérienne centraux (CESNAC), qui gère les systèmes informatiques et de communications communs, et le service de l'informatique aéronautique (SIA), qui est responsable de l'élaboration et de la diffusion de l'information aéronautique.

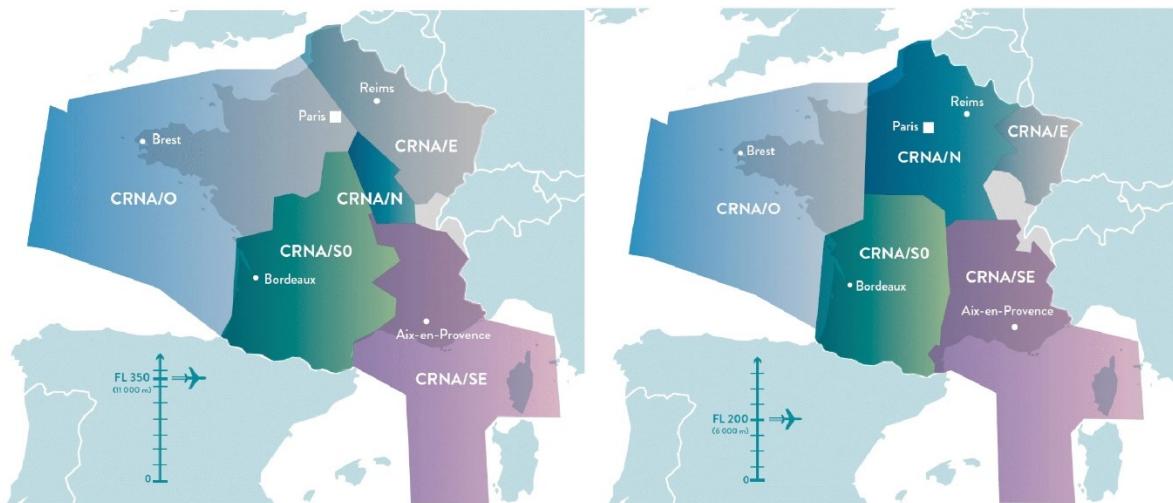


Figure 18 : espaces aériens supérieur et inférieur supervisés par les 5 CRNA en France métropolitaine
(Source : DSNA)

1.17.2.2 Systèmes ATM/ANS

Le système CAUTRA (Coordinateur Automatique du Contrôle Aérien) est le système de contrôle aérien développé et utilisé en France depuis de nombreuses années. Pour aider les contrôleurs aériens dans leurs missions, CAUTRA comprend plusieurs sous-systèmes, dont :

- le système de traitement des plans de vol (STPV) qui achemine des informations sur les plans de vol et leurs modifications ;
- le système de traitement des informations radar (STR) qui inclut le système de traitement radar européen ARTAS⁴⁶ fourni par Eurocontrol et utilisé au niveau européen ;

⁴⁶ Air traffic management surveillance tracker and server.

- un système de visualisation ;
- le système d'impression de « strips », bandelettes de papier fournissant un certain nombre d'informations sur chaque vol géré (indicatif du vol, type d'appareil, destination, route, altitude prévue) et permettant de s'approprier les vols à gérer (trafics) et d'effectuer les actions associées.

La DSNA a mis en œuvre dans les CRNA Ouest (en décembre 2015) et Sud-Ouest (en décembre 2016) la version électronique ERATO du CAUTRA (voir § 1.17.3). CAUTRA est amené à être remplacé dans tous les CRNA par le système 4-FLIGHT pour des raisons de modernisation du système de contrôle aérien français. 4-FLIGHT (voir § 1.17.4) est conçu par Thales Air Systems, dans le cadre d'un contrat-cadre en partenariat avec la DTI. 4-FLIGHT est actuellement en service aux CRNA Est (site-pilote du programme de développement), Sud-Est et Nord. Il devrait être mis en œuvre aux CRNA Ouest et Sud-Ouest à partir de 2026.

1.17.2.3 Coopération / partage des tâches entre contrôleurs d'une position de contrôle

Les contrôleurs d'un CRNA travaillent sur une position de contrôle qui leur permet de gérer un secteur ou un regroupement de secteurs de l'espace aérien. Les tâches à réaliser sont réparties en deux fonctions principales : une fonction organique et une fonction radar. Chacune de ces fonctions est attribuée à un contrôleur portant le nom générique de la fonction dont il est responsable (premier contrôleur radariste, PCR, et premier contrôleur organique, PCO).

Ces activités de coopération et partage des tâches entre les PCR et PCO ont été définies au niveau national par une procédure générale de partage des tâches datant de décembre 1987. Le périmètre des rôles des PCR et PCO n'a pas été changé avec la mise en place de l'environnement électronique. Il est décliné et établi localement par chaque organisme de contrôle pour les contrôleurs aériens concernés.

1.17.3 Environnement Électronique ERATO (EEE)

1.17.3.1 Description générale

L'environnement électronique ERATO comprend un ensemble de fonctions et outils intégrés qui n'a pas modifié les rôles et responsabilités des contrôleurs en ce qui concerne les services rendus. Le principal changement est le retrait du tableau de strips papiers qui a conduit à la mise en place d'une nouvelle interface et d'un certain nombre d'outils et de fonctions électroniques ainsi qu'à l'évolution de certaines méthodes de travail. La mise en place du concept opérationnel d'environnement électronique ERATO s'est cependant appuyée sur le maintien du partage des tâches sur la position de contrôle, des tâches fondamentales de contrôle aérien et de l'organisation et des contraintes de l'espace aérien.

ERATO est alimenté par le traitement radar et le traitement des plans de vol du CAUTRA et sera remplacé à terme par 4-FLIGHT dans les CRNA Ouest et Sud-Ouest.

ERATO s'appuie sur une modélisation des trajectoires (prévision de l'évolution de ces trajectoires), à partir de différents éléments :

- des paramètres spécifiques associés aux pratiques opérationnelles sur le secteur et des données du plan de vol ;
- des performances des aéronefs ;
- des instructions transmises et saisies sur l'interface par les contrôleurs ;
- des positions réelles des avions.

La prévision de l'évolution des trajectoires est continuellement actualisée. L'observation des positions réelles permet de détecter des écarts par rapport aux trajectoires modélisées par ERATO et de générer des alarmes sur la position. Ces alarmes signalent à la fois un écart par rapport à la prévision de comportement et une dégradation du service fourni par ERATO.

1.17.3.2 Positions de contrôle en environnement électronique ERATO

Une position de contrôle est constituée de deux (ou trois dans le cas d'instruction sur position) modules de contrôle (voir **Figure 19**).



Figure 19 : module de contrôle (Source : CRNA Ouest)

Le dialogue entre chaque contrôleur et le système de contrôle aérien se fait par l'intermédiaire d'un système de visualisation (*Operational Display System*, ODS) qui fournit au contrôleur une représentation graphique dynamique du trafic aérien dans le ou les secteurs dont il a la charge et des moyens d'interactions avec cette représentation. Cette représentation visuelle est établie à partir des informations issues :

- du Système de Traitement Radar (STR) ;
- du Système de Traitement Plan de Vol (STPV) ;
- du serveur ERATO ;
- des informations cartographiques sur l'espace contrôlé du type : fonds de cartes secteur, statiques, dynamiques (état de la situation d'activation) et routes aériennes.

1.17.3.3 Organisation de l'écran principal d'une position de contrôle

L'interface principale d'ODS en environnement électronique ERATO est constituée d'un seul écran de 43" au format 16/9. Les principaux éléments de l'interface sont les suivants (voir **Figure 20**) :

- une image radar principale permanente munie d'un bandeau de commandes vertical placé à gauche ;
- un tableau de DYPs (*DYnamic Presentation*) placé sur la droite et en bas de l'écran. Un DYP est une vue partielle présentant des informations d'un vol, plus ou moins importantes en fonction du format, et affichées sous forme de texte ;
- une zone d'alarmes système placée au-dessus du tableau de DYP, qui permet d'informer le contrôleur en cas d'erreur du système ;

- une zone DYP info placée au-dessus de la zone d'alarme système. Le DYP info permet d'afficher tous les éléments d'un plan de vol en particulier ;
- des listes de vols qui dépendent de la situation aérienne et de l'état de chaque vol dans le système. Par exemple :
 - les listes de vols en entrée, qui contiennent les vols attendus en fréquence sur la position,
 - la liste FREQ, qui contient les vols en communication radio,
 - la liste des vols sans pistes, qui contient les vols avec un plan de vol activé non corrélé.

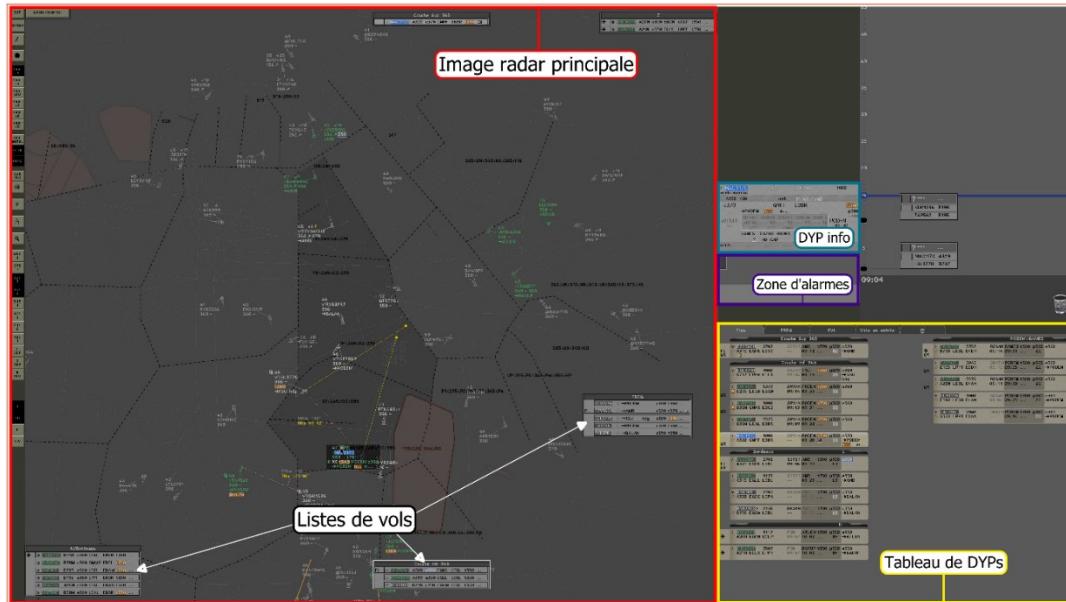


Figure 20 : écran principal d'ODS (Source : DSNA)

1.17.3.4 Description des pistes et étiquettes radars à l'image radar principale

Chaque vol est représenté sur l'image radar au travers d'une piste et d'une étiquette (voir Figure 21).

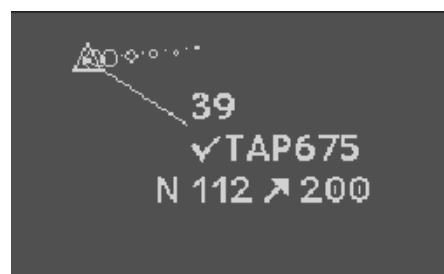


Figure 21 : exemple de piste et d'étiquette radar
(source DSNA)

La piste est la représentation graphique d'un vol. Cette piste représente la synthèse de plusieurs informations :

- un symbole représentant la dernière position de la piste (symbole tête de chaîne) ;
- un éventuel vecteur vitesse. La taille représente la distance que parcourrait l'aéronef à vitesse constante en un temps donné. L'orientation du vecteur vitesse représente le cap du vol (information issue de la poursuite STR) ;
- des positions passées du vol. Les positions passées sont représentées par des cercles de taille décroissante.

Le symbole tête de chaîne est relié à l'étiquette radar par un guideur de taille fixe. Cette étiquette radar regroupe un certain nombre d'informations du vol. Elle peut comporter des informations issues du STR, du STPV, ou gérées par ODS. Son format est défini par paramétrage et peut varier suivant l'état du vol ou lorsque le pointeur de la souris est sur l'étiquette (survol souris).

1.17.3.5 Mécanisme de vieillissement de piste sous ODS

Dès que la datation des dernières informations piste est trop ancienne, un mécanisme de vieillissement est activé (voir **Figure 22**). Il se traduit par :

- la perte progressive des positions passées ;
- le changement de symbole tête de piste au fur et à mesure de la détection des différents manques.

Le nombre de manques est paramétrable et est inférieur au nombre maximum de positions passées. Une position du symbole tête de piste extrapolée se traduit par un changement de la représentation de ce symbole.

À l'issue du processus de vieillissement, la piste peut être remplacée par un marqueur piste.

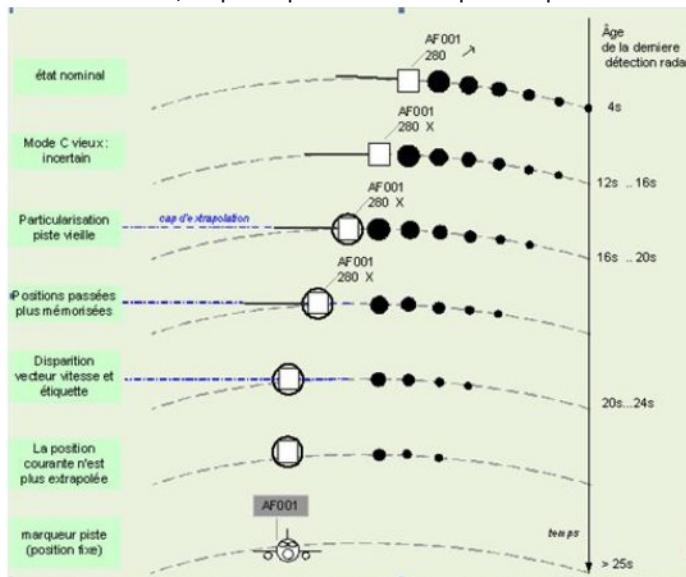


Figure 22 : mécanisme de vieillissement de pistes sur ODS
(Source : DSNA)

1.17.3.6 Dispositifs pour alerter les contrôleurs aériens⁴⁷

Note : Les informations présentées sont principalement issues du Manuel UTILisateur Visu Principal ODS EEE (MUT ODS), version 7.7V1R0_V21R0.

Sur ODS, il existe de nombreux dispositifs visuels régis par des règles de priorité. Ils permettent d'attirer l'attention du contrôleur sur des mises à jour d'informations estimées importantes.

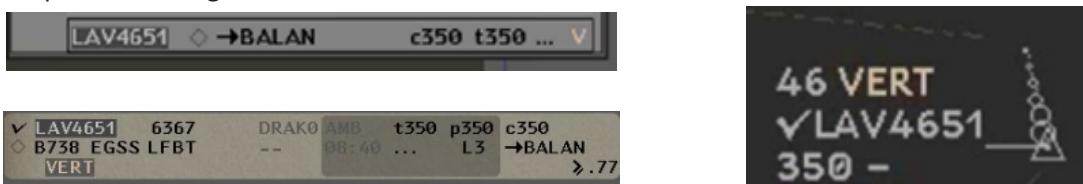
⁴⁷ La DSNA utilise le terme stimulus dans les dossiers de sécurité pour évoquer et décrire l'ensemble des dispositifs destinés à attirer l'attention des contrôleurs aériens.

Une partie de ces dispositifs, en lien avec la perte de visualisation de piste, est présentée ci-dessous.

VERT

VERT est une alarme du service ERATO qui s'affiche sur la première ligne de l'étiquette, sur les listes de vol (alarme **V**) et sur le DYP associé. Cette alarme apparaît pour un vol pris en compte lorsqu'un écart de trajectoire par rapport à sa modélisation prévue dans le plan vertical est observé par le système. En particulier, cette alarme s'affiche pendant les cinq secondes qui précèdent la disparition d'une piste. Lorsque cette alarme apparaît, il est attendu du contrôleur qu'il vérifie la concordance entre le niveau de vol réel de l'avion, celui transmis lors de la dernière instruction et celui de sortie de secteur.

Exemples d'affichage :



F

F est une alarme du service ERATO qui s'affiche sur la première ligne de l'étiquette, sur les listes de vol (alarme **F**) et sur le DYP associé. Cette alarme apparaît lorsque certains services ERATO ne sont plus disponibles pour un vol donné. Pour le contrôleur, une attention particulière doit être portée à un tel vol au moment de son intégration et pendant toute son évolution dans le secteur pour éviter tout conflit avec un autre aéronef.

Exemples d'affichage :



SFL absent

L'alerte SFL⁴⁸ absent s'affiche en première ligne de l'étiquette lorsque le niveau de vol sélectionné n'est pas reçu. Elle permet d'informer le contrôleur que les paramètres avion descendant via le mode S ne sont plus disponibles.

Exemple d'affichage :



⁴⁸ Selected Flight Level, correspond au niveau de vol sélectionné par le pilote.

Liste des vols sans piste

La liste des vols sans piste permet de mettre en évidence les vols ayant un plan de vol activé pour lesquels aucune information de piste n'est associée. La liste des vols sans piste est affichée si elle n'est pas vide. Cette fenêtre comporte cinq champs :

- l'indicatif de vol ;
- les symboles « vol sans piste » contenant :
 - le symbole  si le vol est associé à un marqueur piste,
 - le symbole  sinon ;
- le code mode A ;
- l'indicateur Présence Annotation qui permet de distinguer toute annotation ajoutée par les contrôleurs pour noter des informations spécifiques pour un vol ;
- l'alarme ERATO.

Lorsque cette fenêtre apparaît, il est attendu du contrôleur qu'il recherche la piste non corrélée en question.

La fenêtre Liste des vols sans piste disparaît automatiquement des écrans à partir d'un certain moment, lorsque le vol est censé avoir quitté les limites du dernier secteur de la position d'après ses estimées plan de vol.

Exemple d'affichage :

sans piste			
AF34MS		SSR 5006	E
AF90MED		PRC 1111 ...	E
BA78ME		SSR 5003	E
BA12MP		PRC 5005	E
AF78MSA		SSR 5010	

Marqueurs piste

Les marqueurs pistes servent à « *représenter un vol important pour le contrôle et non reporté par le système radar* ». Les marqueurs pistes sont créés automatiquement par ODS. Les marqueurs pistes sont forcés automatiquement en visualisation. Ils sont représentés par un symbole avion (vue de face) indiquant la dernière position connue de la piste. Le marqueur piste est effaçable indépendamment sur l'écran ODS du PCO et du PCR par un clic droit.

Exemple d'affichage :



Le mécanisme de visualisation et la matérialisation de certains flux aux contrôleurs peuvent faire apparaître des marqueurs piste dont certains ne concernent pas la position. Il existe ainsi plusieurs types de marqueurs piste, ayant des criticités différentes :

- ceux qui sont générés à l'issue d'une « mort de piste » et qui ne disposent pas d'un objet plan de vol valide sur cette position. Ils ne sont pas associés à un symbole dans la liste des vols sans piste. Il s'agit par exemple de vols militaires ou civils qui ne concernent pas le secteur ou le CRNA ;
- ceux qui font partie du contexte de la position du contrôleur. Ils sont accompagnés d'un symbole dans la liste des vols sans piste.

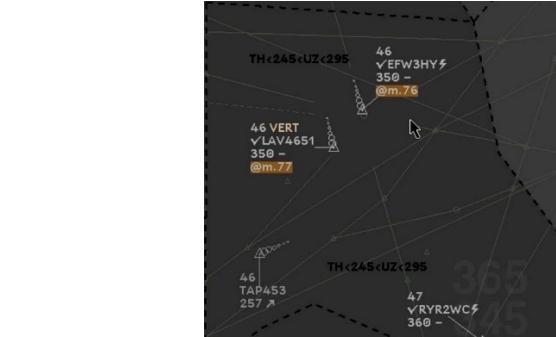
Il est attendu du contrôleur qu'il vérifie si l'affichage d'un marqueur piste correspond à une perte de visualisation d'un vol de son secteur.

1.17.3.7 Principales alertes affichées aux écrans des contrôleurs lors de l'incident

Les informations qui suivent proviennent des enregistrements vidéo des écrans des contrôleurs PCR et PCO du secteur QXI du CRNA Ouest et du secteur RL3 du CRNA Sud-Ouest. Seuls les éléments les plus significatifs sont indiqués.

Note : Le Boeing 737 (vol LAV4651) et l'Embraer 190 (vol AFR21YB) étaient équipés de l'application communications contrôleur-pilote par liaison de données (CPDLC). Cette fonction était disponible dans les espaces aériens du CRNA Ouest et Sud-Ouest. Aucun des deux avions ne communiquait en utilisant cette fonction dans ces espaces aériens.

Heure	Position Secteur	Affichage
8 h 22 min 40	PCR et PCO QXI	<p>Le transfert par liaison CPDLC du vol IBS3722 par le PCR du secteur QXI vers un autre secteur n'a pas fonctionné, ce qui a conduit à l'affichage du symbole  sur le côté droit de l'étiquette du vol.</p>  <p>Secteur QXI </p> <p>Limite du secteur QXI </p> <p>Une fenêtre « vols particuliers » s'est affichée en même temps que le symbole  :</p>  <p>Cette fenêtre et le symbole restent affichés pendant 4 min 20 avant de disparaître sans aucune action de la part du PCR ou du PCO.</p>

8 h 30 min 47	PCR et PCO QXI	Apparition du message VERT sur l'étiquette du LAV4651.
8 h 30 min 48	PCR et PCO QXI	<p>Perte des paramètres descendants et de la barre de tendance sur l'étiquette de LAV4651.</p> <ul style="list-style-type: none"> message VERT affiché sur l'étiquette symbole  sur l'étiquette message V sur la boîte FREQ message VERT sur le DYP   
8 h 30 min 53	PCR et PCO QXI	Apparition d'un cercle autour de la piste radar de LAV4651.

8 h 30 min 58	PCR et PCO QXI	La piste du vol LAV4651 est remplacée par un marqueur piste et son étiquette est également modifiée. Une fenêtre vols sans piste apparaît dans le même temps à droite du marqueur piste.
		
8 h 30 min 59	PCR et PCO QXI	Le message F remplace VERT dans les fenêtres FREQ et vols sans piste ainsi que sur le DYP du vol LAV4651.
		
8 h 31 min 21	PCR QXI	Action à la souris qui était restée immobile depuis 8 h 27 min 04.
		 <i>Position de la souris par rapport à l'étiquette du LAV4651 au moment de l'action du PCR</i>
8 h 33 min 19	PCR QXI	Déplacement sur la droite de l'écran de la fenêtre Vols sans piste.
8 h 33 min 48	PCR QXI	Effacement du marqueur piste par un clic droit sur la souris. Le vol LAV4651 reste affiché dans la fenêtre FREQ et l'alerte F lui est associée.
		
8 h 44 min 20	PCR RL3	Déplacement de la fenêtre vols sans piste qui s'est affichée quelques secondes plus tôt sur les écrans des deux contrôleurs du secteur avec comme unique vol celui du LAV4651.
		 L'alarme d'indisponibilité de filtrage F apparaît environ trois minutes plus tard.
		

1.17.4 Environnement 4-FLIGHT

4-FLIGHT (voir § 1.17.2.2) intègre les fonctionnalités suivantes :

- ARTAS ;
- un système de traitement automatique des plans de vol de nouvelle génération (Coflight) ;
- une interface homme-machine entièrement électronique (« *stripless* ») fournie par Thales ;
- de nombreux périphériques à l'attention des contrôleurs aériens.

En cas de perte ou d'absence de corrélation radar, une étiquette encadrée de bleu associée à un plot, appelée FPASD⁴⁹ (voir **Figure 23**) permet de visualiser la position théorique selon le plan de vol d'un avion. Il ne s'agit pas d'une piste radar. Cette étiquette s'affiche sur l'écran du contrôleur pour un plan de vol non corrélé à une piste dans le système. Semblable à une piste, elle progresse également géographiquement, mais uniquement sur la base d'une estimation des données du plan de vol et non radar. L'apparition d'un FPASD permet de détecter une perte de corrélation, voire une absence ou perte de piste radar (cas de perte de détection radar ou de panne de la poursuite ou mauvais code transpondeur ou couverture radar).

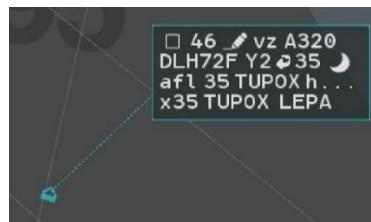


Figure 23 : FPASD (Source : manuel d'utilisation 4-FLIGHT de la DSNA)

Une liste, appelée *Lost List* (voir **Figure 24**), indique au contrôleur qu'il y a eu une perte de corrélation sur un vol précédemment corrélé. Cette fenêtre s'ouvre automatiquement dès qu'il y a une perte de corrélation sur un vol et contient différentes informations concernant le vol. L'affichage de cette fenêtre est normalement associé à l'apparition d'un FPASD jusqu'à ce que la piste soit à nouveau acquise, corrélée.

Indicatif	Position géo au moment de la perte	Acquittement
Lost List : 1 : -LOST TIME c/s assr pos lostack		
DLH72F 0603 445734N0054804E 1005	Code transpondeur assigné (ASSR) Heure de dernière mise à jour radar	

Figure 24 : Lost List (Source : manuel d'utilisation 4-FLIGHT de la DSNA)

Lorsqu'il n'y a plus de détection radar d'un vol (perte de piste radar), un marqueur apparaît à l'écran en lieu et place de la dernière position connue de la piste.

- si la piste était déjà corrélée, un marqueur LKP (*Last Known Position*) de couleur ambre (voir **Figure 25**) apparaît. Il est accompagné de l'apparition, à proximité, d'un FPASD.
- si la piste n'était pas corrélée, un marqueur LT (*Lost Track*) de couleur grise (voir **Figure 25**) apparaît.

⁴⁹ Flight Plan Air Situation Display.



Figure 25 : marqueurs LKP (à gauche) et LT (à droite)

Ces marqueurs permettent de détecter la disparition d'une piste (dans le cas d'un problème de détection radar), et de bénéficier d'une information sur sa dernière position connue.

Dans certaines situations, les LKP peuvent s'afficher pour des pistes qui ne concernent pas nécessairement le secteur. Ces LKP peuvent par exemple être la conséquence de paramétrages locaux dans chaque CRNA. La gestion de ces LKP peut alors être similaire à celle des marqueurs piste sous ERATO.

1.17.5 Renseignements sur le CRNA Ouest

1.17.5.1 Manuel d'exploitation à l'attention des contrôleurs aériens

Le manuel d'exploitation destiné aux contrôleurs aériens comprend un chapitre sur les transpondeurs. Après une description générale sur ce type d'équipement, les pannes de transpondeur sont abordées dans une partie spécifique qui ne précise que des cas de défaillance détectée par l'équipage ou les contrôleurs.

1.17.5.2 Méthodes de travail sous environnement électronique ERATO

Les méthodes de travail sous environnement électronique ERATO, rédigées par le CRNA Ouest à l'attention des contrôleurs aériens, décrivent les procédures et les méthodes d'utilisation des fonctionnalités associées. La version en vigueur au moment de l'incident grave datait de mai 2021. Elle précise que le travail en environnement électronique repose sur les principes de base suivants :

- « *Le contrôleur alimente le système :*
 - *Chaque action/instruction de contrôle fait l'objet d'une prise en compte dans le système afin que celui-ci rende le meilleur service possible, en particulier aux fins de coordinations (CO/CR, secteurs adjacents...);*
 - *le système doit être renseigné au fur et à mesure des actions (instructions de contrôle, communications radio, coordinations...).*
- *En retour, le système aide le contrôleur :*
 - *De manière automatique : le contrôleur doit tenir compte des informations renvoyées par le système, réagir aux stimuli et les traiter dès que possible ;*
 - *Sur sollicitation du contrôleur (filtrage par exemple).*
- *Les contrôleurs se coordonnent : la verbalisation et le cross-check restent fondamentaux. »*

Partage des tâches

Le partage des tâches entre le PCR et le PCO décrit dans le document reprend les éléments de l'instruction de décembre 1987 (voir § 1.17.2.31.17.5.2) en prenant en compte les particularités de l'environnement électronique ERATO (intégration des DYP par exemple). Les tâches décrites concernent ainsi la gestion de chaque position de contrôle par chacun des contrôleurs et sont présentées ci-dessous.

Tour de secteur

Le document indique que le tour de secteur comprend les éléments suivants :

- « *Le tour de secteur doit être exhaustif et cyclique.* »
- Tour de secteur du PCR :
 - « *Tour des vols en fréquence*
 - *Prise en compte de l'agenda*
 - *Balayage des listes de vols en entrée et intégration.* »
- Tour de secteur du PCO :
 - *Tour des listes de vols en entrée (intégration, détection, matérialisation des conflits et sortantes), corrélation avec les étiquettes radar ;*
 - *Suivi de l'agenda et verbalisation des conflits non pris en compte par le PCR ;*
 - *Tour des vols en fréquence recommandé.* »
- « *Afin d'effectuer un tour de secteur exhaustif, il est recommandé de garder actifs les listes et onglets permettant de visualiser les DYPs de tous les vols sans avoir à changer d'onglet.* ».

Coordinations entre secteurs adjacents

Une procédure de « *transfert radar silencieux* » peut être appliquée lorsque les séparations sont assurées à partir du radar. Elle ne prévoit aucune coordination téléphonique entre les contrôleurs de secteurs d'organismes différents dans les conditions suivantes :

- les deux aéronefs sont stables ;
- les aéronefs suivent le même itinéraire ;
- les aéronefs sont correctement corrélés ;
- les DYP correspondants sont correctement renseignés ;
- il n'y a pas de rattrapage entre les aéronefs et la distance entre les aéronefs est supérieure ou égale à 10 NM ou 15 NM en fonction de l'organisme recevant durant la période de transfert.

Réaction aux dispositifs d'alerte⁵⁰

D'une manière générale, il est attendu en environnement électronique que chaque dispositif d'alerte fasse l'objet d'une analyse et d'un traitement approprié, qui peut être une suppression du dispositif par une action du contrôleur aérien. Il est ainsi attendu que les contrôleurs aériens suivent le déroulement des vols à l'intérieur du secteur à gérer et traiter les défauts de visualisation. Pour les marqueurs piste et les fenêtres vols sans piste, le document indique qu'ils correspondent à une perte/absence de visualisation radar pour un vol. Les différents cas d'affichage des marqueurs piste ne sont pas précisés. Il est demandé en cas d'affichage de marqueurs piste et de fenêtres de vols sans piste :

- de « *Vérifier s'il s'agit d'une perte de visualisation d'un vol du secteur, et, si c'est le cas,*
- *de suivre la fiche réflexe appropriée⁵¹.* ».

Panne de transpondeur totale

En cas de panne de transpondeur, le document indique de se référer à la procédure associée dans laquelle il est indiqué de ne pas effacer le marqueur piste (voir **Figure 26**).

⁵⁰ Voir § 1.17.3.6 pour plus d'informations sur chaque dispositif d'alerte.

⁵¹ Le titre de la fiche réflexe n'était pas mentionné. Il s'agissait de la fiche « Panne de transpondeur totale ».



Figure 26 : checklist du CRNA Ouest relative à une panne totale de transpondeur (Source : CRNA Ouest)

1.17.5.3 Secteurs XI et QI

Les secteurs QI et XI du CRNA Ouest étaient regroupés sur la position occupée par les PCR et PCO et formaient ainsi le secteur appelé QXI (voir Figure 27). Les caractéristiques (niveaux de vol et coordonnées) de ces secteurs sont disponibles dans l'AIP⁵². La plage verticale de ces deux secteurs est comprise entre les FL 345 et FL 365.

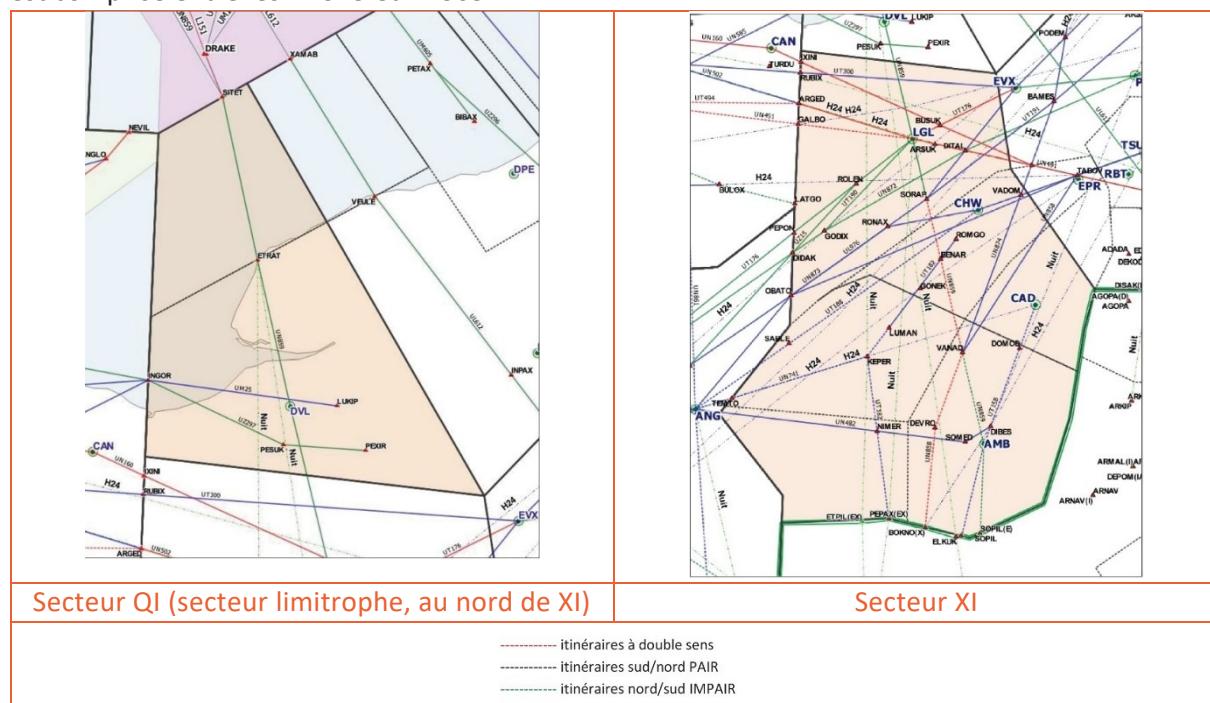


Figure 27 : cartes des secteurs QI et XI (Source : CRNA ouset)

⁵² ENR 2.2 AUTRE ESPACE RÉGLEMENTÉ.

1.17.5.4 Taux d'occupation de la fréquence et charge de trafic de la position de contrôle

Le taux d'occupation de la fréquence du secteur QXI était de 28 % (79 messages) sur la période de présence des deux contrôleurs sur cette position de contrôle.

La charge de trafic du secteur QXI est faible lors des vingt minutes avant l'arrêt des transmissions aux réponses aux interrogations des stations radar au sol par le transpondeur à 8 h 30 min 35. Elle est restée raisonnable (inférieure au seuil de charge pour lequel un dégrouement de la position de contrôle doit être évalué) entre 8 h 30 et 8 h 50 au moment de la relève du PCR et du PCO.

La charge de travail sur la position de travail est une fonction de la charge de trafic et de la complexité à gérer ce trafic. À partir des éléments précédents, la charge de travail a ainsi été faible avant l'arrêt des transmissions par le transpondeur puis raisonnable ensuite en raison du trafic à gérer.

1.17.5.5 Formation des contrôleurs aériens

La formation des contrôleurs aériens est établie au niveau de chaque centre de contrôle. Le CRNA Ouest dispose d'un Plan de Formation en Unité (PFU), révisé tous les trois ans, qui prend en compte les mesures contenues dans le règlement dit ATCO⁵³. Le PFU a pour objectif de faire acquérir les mentions d'unité (MU) sur l'ensemble des positions de contrôle du CRNA Ouest lorsque de nouveaux arrivants prennent leurs fonctions en tant que stagiaires.

Lorsque les contrôleurs sont qualifiés, un Programme de Compétences en Unité (PCU) qui prend en compte les mesures contenues dans le règlement ATCO décrit :

- les éléments nécessaires pour les prorogations des mentions d'unité des contrôleurs aériens déjà qualifiés au CRNA Ouest : formations de maintien de compétences, d'adaptation au changement, de transformation ;
- les conditions minimales d'exercice et d'enregistrement des heures d'exercice des titulaires de licence de contrôle de la circulation aérienne ;
- les conditions de prorogation des mentions d'unité, d'instructeur et d'examinateur ;
- les dispositions relatives à l'incapacité temporaire.

Le PCU est révisé tous les trois ans par la subdivision instruction du CRNA Ouest et soumis à l'approbation de la DSAC en tant qu'autorité de surveillance.

Dans le cadre de la procédure de la prorogation de la MU, les contrôleurs aériens doivent suivre un ensemble de formations inscrites au PCU. Cet ensemble, d'une durée minimale de six journées sur trois ans, doit porter sur les sujets suivants:

- au moins 1,5 jours de Pratiques et Procédures Standards (PPS) ;
- deux jours de formations sur les Facteurs humains ;
- une demi-journée par an de Formations aux Situations Anormales et d'Urgence (FSAU) au cours desquelles les retours d'expérience locaux et/ou nationaux peuvent servir de supports ;
- au moins une demi-journée de formation continue parmi celles proposées dans le cadre du programme hivernal.

⁵³ Règlement (UE) 2015/340 de la commission du 20 février 2015 déterminant les exigences techniques et les procédures administratives applicables aux licences et certificats de contrôleur de la circulation aérienne ([Version en vigueur le jour de l'incident grave](#)).

Les FSAU ont pour objectif de permettre aux contrôleurs de mieux appréhender, analyser et maîtriser des cas de situations anormales et d'urgence. Une session FSAU comprend :

- une partie théorique sur certains des sujets suivants : rappel des différentes fiches réflexes, des actions à mener en cas de situations inhabituelles, révision des termes anglais associés aux urgences ou retours d'expérience locaux et/ou nationaux ;
- des exercices sur simulateur avec des PCO et des PCR avec débriefing à l'issue.

La FSAU de la période 2022-2023 comprenait une partie théorique sur la panne de transpondeur. Celle-ci rappelait le contenu de la fiche réflexe « Panne de transpondeur » qui presuppose que la panne de transpondeur a été identifiée par au moins un des deux contrôleurs de la position et qui demande en particulier au PCR de ne pas effacer le marqueur piste. La formation comprenait également un exercice sur simulateur de panne de transpondeur d'un avion avec affichage d'un marqueur piste.

Le PCR avait suivi la FSAU le 10 mars 2023, le PCO le 25 novembre 2022. Le PCO a indiqué dans son témoignage qu'il avait effacé le marqueur piste par réflexe lors de l'exercice de la FSAU.

1.17.6 Renseignements sur le CRNA Sud-Ouest

1.17.6.1 Manuel d'exploitation

Le manuel d'exploitation du CRNA Sud-Ouest à l'attention des contrôleurs aériens, version du 4 juillet 2023, contient, comme les manuels du CRNA Ouest différentes parties dont celles relatives au partage des tâches, aux relèves, aux différentes fonctionnalités offertes par l'environnement électronique et aux méthodes de travail associées. Il comporte globalement le même contenu que le manuel d'exploitation du CRNA Ouest. Il est cependant à noter que la partie sur la fenêtre vols sans piste⁵⁴ apporte les éléments complémentaires suivants:

- « *Elle est placée par défaut en haut à droite de l'image radar.*
- *Un clic gauche sur le symbole marqueur piste de la liste acquitte le symbole.*
- *Un clic droit sur le mini-dyp acquitté supprime le mini-dyp et le marqueur piste.*
- *Attention : Ne pas effectuer de manipulation sur le mini-DYP et sur le marqueur piste avant d'avoir levé le doute. »*

1.17.6.2 Secteurs R3 et L3

Les secteurs R3 et L3 du CRNA Sud-Ouest étaient regroupés entre les FL 345 et FL 365 et formaient le secteur appelé RL3 (voir **Figure 28**). Les caractéristiques (niveaux de vol et coordonnées) de ces secteurs sont disponibles dans l'AIP⁵⁵.

⁵⁴ Il n'y a pas eu sur les écrans de la position du secteur RL3 d'affichage de marqueur piste relatif à la perte de suivi de piste radar du vol LAV4651. Seule la fenêtre vols sans piste a été affichée.

⁵⁵ ENR 2.2 AUTRE ESPACE RÉGLEMENTÉ

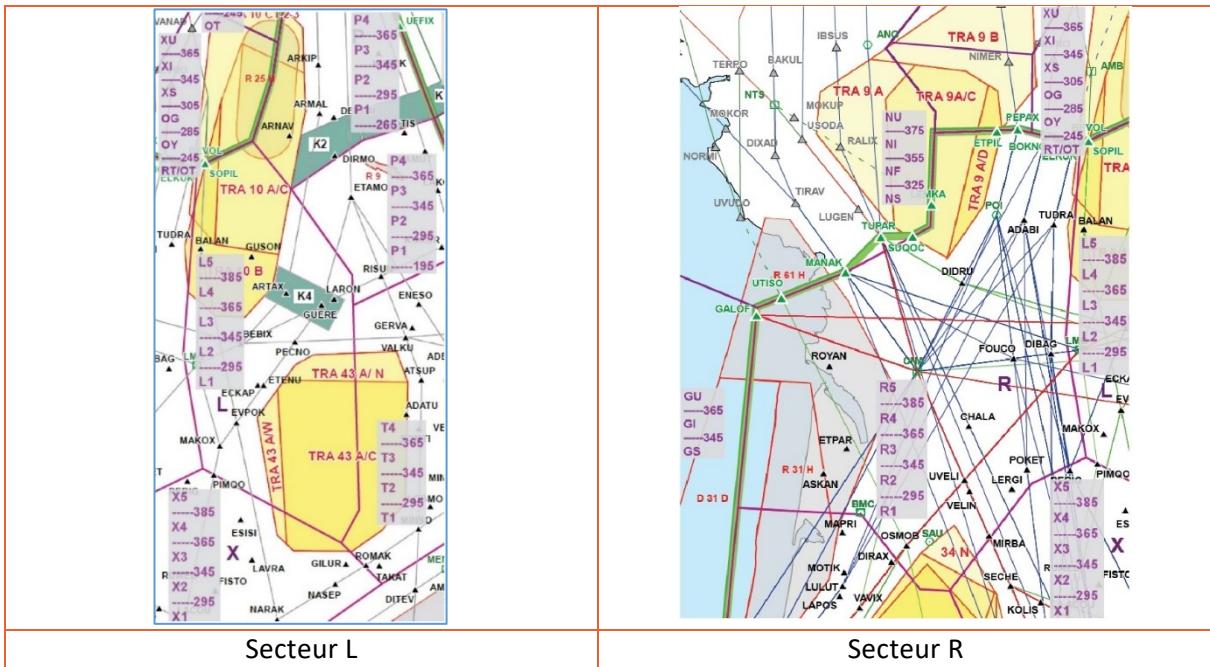


Figure 28 : cartes des secteurs L et R (Source : CRNA Sud-Ouest)

1.17.7 Centre de détection et de contrôle (CDC) de Cinq-Mars-la Pile

1.17.7.1 Organisation

Confiée au Commandement de la Défense Aérienne et des Opérations Aériennes (CDAOA), la posture permanente de sûreté-Air (PPS-A) est une mission prioritaire et permanente de l'Armée de l'Air et de l'Espace (AAE). C'est un dispositif actif 24 h/24 et 7 J/7 qui assure la souveraineté de l'espace aérien français au travers de trois missions : détecter, identifier, intervenir. Trois CDC militaires répartis sur le territoire ont notamment pour mission :

- la surveillance permanente de l'espace aérien qui comprend la détection et l'identification des aéronefs, avec les anomalies potentielles ;
 - la recherche et le sauvetage des équipages d'aéronefs en détresse, aussi bien civils que militaires ;
 - le contrôle des aéronefs militaires, qui n'utilisent pas pour raison opérationnelle les services civils de la navigation aérienne, dans des espaces aériens spécifiques gérés par la Défense (zones TRA et R) ou pendant le guidage radar des vols d'interception.

Le CDC Cinq-Mars-la-Pile (indicatif radio RAKI) couvre un grand quart nord-ouest de la France.

En cas de doute ou de menace avérée, le Centre National des Opérations Aériennes (CNOA) est contacté pour éventuellement enclencher les mesures qui permettent de rechercher l'identité d'un aéronef, d'observer son comportement, de lui porter assistance ou de lui faire appliquer une obligation, une restriction ou une interdiction, de l'avertir par un tir de semonce, voire de le détruire si l'aéronef est classifié « hostile ».

1.17.7.2 Détection de la perte de contact radar

Un des contrôleurs du CDC Cinq-Mars-la Pile a détecté au radar primaire l'absence de code transpondeur du Boeing 737-809 immatriculé EC-NGC, vol LAV4651, lorsque celui-ci s'approchait de la Zone réservée temporaire (ZRT) TRA 10. Les zones TRA sont réservées à des usagers spécifiques pendant une durée déterminée, et au travers duquel d'autres aéronefs peuvent être autorisés à transiter avec une clairance. La zone TRA 10 (voir **Figure 28**) comprend plusieurs parties (A, B et C) dont le plancher est au FL 195. Son plafond est supérieur au FL 265 en fonction de la partie de la zone TRA 10.

1.17.8 Système de Gestion de la Sécurité (SGS) de la DSNA

1.17.8.1 Cadre réglementaire et principes généraux

Au niveau international, l'Annexe 19 de l'OACI prévoit que tout prestataire de services, dont les ANSP, met en place un SGS. Ce dernier consiste en une « *approche systématique de la gestion de la sécurité, comprenant les structures organisationnelles, l'obligation de rendre compte, les responsabilités, les politiques et les procédures nécessaires* ».

Au niveau européen, lors de la mise en service de l'environnement électronique ERATO, les exigences relatives au SGS des ANSP étaient définies dans le règlement (UE) n° 1035/2011 sur la fourniture de services de navigation aérienne. Il a été abrogé par le règlement IR ATM/ANS⁵⁶, applicable dans sa quasi-intégralité depuis janvier 2020 et applicable lors de la mise en service de 4-Flight.

Le SGS d'un ANSP est fondé sur quatre composantes dont :

- la gestion des risques pour la sécurité : le prestataire identifie les dangers associés à ses services et assure une évaluation et un contrôle des risques liés aux dangers identifiés ;
- l'assurance de la sécurité : il s'agit en particulier des moyens mis en œuvre pour suivre et mesurer l'efficacité de l'ensemble des mesures de contrôle des risques.

Les deux autres composantes sont la politique de sécurité et la promotion de la sécurité.

Le SGS de la DSNA est intégré à un « Système de Management Intégré » (SMI) comportant quatre domaines (sécurité, sûreté, environnement et qualité). Il s'appuie sur des processus décrits dans un « Manuel SMI » et complétés par des procédures et documents méthodologiques.

1.17.8.2 Cartographie des risques

La DSNA a établi en 2010 une cartographie des risques de son organisation qui n'a pas été alimentée ni mise à jour depuis sa création. Elle ne définissait pas de barrières de sécurité ou de mesures de prévention visant à prévenir la survenue des événements indésirables identifiés. Ce constat a été relevé dans le rapport d'enquête du BEA sur la quasi-collision avec le sol à l'approche de Paris-Charles de Gaulle en mai 2022⁵⁷ qui mentionne l'absence de processus global de gestion des risques par la DSNA. En particulier, comme indiqué dans le rapport, la DSNA n'a pas mis en place de modèle de représentation des risques avec la définition de barrières de sécurité, puis d'évaluation et vérification de la fiabilité et de l'efficacité de ces dernières. La DSNA a indiqué au cours de l'enquête avoir accéléré la mise en place d'un tel processus. Lors de l'enquête relative à l'incident grave du 21 juillet 2023, la DSNA a indiqué au BEA qu'un nouveau modèle était en phase d'expérimentation, sans donner davantage de précisions.

⁵⁶ Op. cit., § 1.9.6.

⁵⁷ [Incident grave de l'Airbus A320 immatriculé 9H-EMU exploité par AirHub le lundi 23 mai 2022 à l'approche de l'aéroport Paris-Charles de Gaulle \(95\).](#)

1.17.8.3 Gestion des changements apportés aux systèmes fonctionnels

Pour tout changement apporté au système fonctionnel de gestion du trafic aérien, la réglementation (voir § 1.17.8.1) prévoit que les ANSP veillent à ce qu'une identification des dangers ainsi qu'une évaluation et une atténuation des risques soient systématiquement effectuées.

La DSNA a développé une procédure et une méthodologie spécifiques. Elles explicitent le processus de réalisation des « études de sécurité » visant à s'assurer que le niveau de sécurité atteint, associé au changement, est au moins égal au niveau de sécurité acceptable défini pour la DSNA. Pour les changements d'ampleur, l'étude de sécurité conduite est formalisée au travers d'un « dossier de sécurité ».

1.17.8.3.1 Dossier de sécurité EEE

Comme prévu par les procédures citées ci-dessous, le dossier de sécurité (dernière mise à jour en octobre 2015) élaboré par la DSNA en vue de la mise en œuvre de l'environnement électronique ERATO comporte trois phases (voir **Figure 29**) :

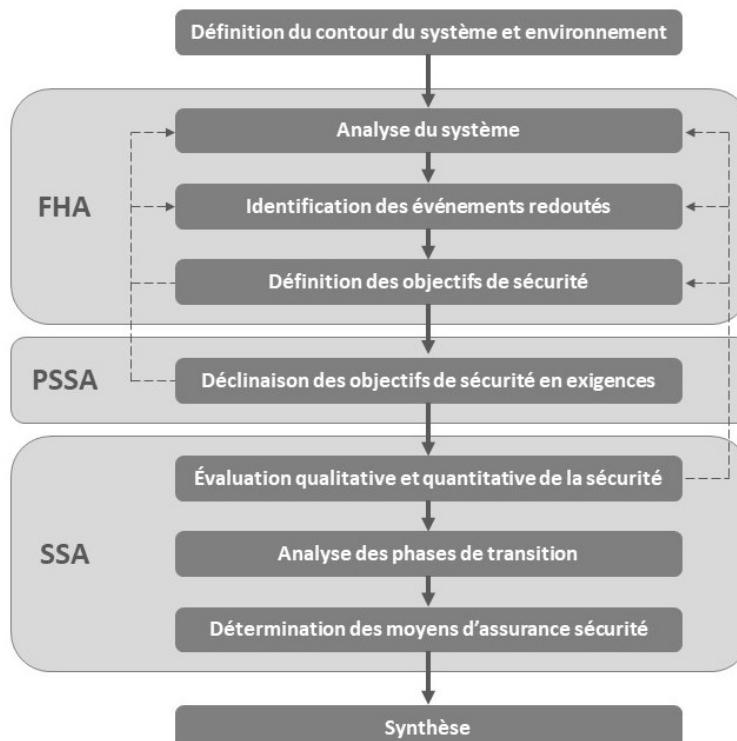


Figure 29 : phases de l'étude de sécurité EEE (Source : DNSA)

Au cours de l'analyse fonctionnelle de sécurité (FHA⁵⁸), des Moyens en Réduction de Risques (MRR) sont définis pour chaque événement redouté (ER).

Le dossier de sécurité est par ailleurs scindé en deux volets complémentaires et interdépendants, chacun contenant l'intégralité des étapes de l'étude de sécurité (FHA / PSSA / SSA) :

- un volet « technique » centré sur les défaillances et modes de défaillance du système ;
- un volet « opérationnel » qui s'appuie sur l'ensemble des activités mises en œuvre par les contrôleurs aériens pour répondre aux objectifs opérationnels.

⁵⁸ Functional Hazard Assessment.

Volet technique

Trois ER principaux sont en lien avec l'incident grave :

- non-connaissance de la modification d'un vol qui concerne la position
 - cet ER survient lorsque le contrôleur n'a pas conscience qu'un vol qu'il a précédemment intégré, a été modifié,
 - une des causes possibles mentionnées est l'absence de perception d'une alerte annonçant la modification du vol;
- disparition du vol de la représentation mentale du contrôleur
 - cet ER survient lorsque le contrôleur n'a plus conscience de l'existence d'un vol qu'il a précédemment intégré,
 - une des causes possibles mentionnées est l'oubli par le contrôleur du vol après la disparition de la piste du vol (erreur ou défaillance de la méthode de travail);
- disparition de la piste
 - la disparition de la piste couvre les cas de disparition de la représentation du vol (symbole de position présente) sur l'image radar,
 - une des causes possibles est la panne de transpondeur.

Le volet technique fournit plusieurs MRR en lien avec l'incident grave et les ER présentés ci-dessus :

- la consultation du « DYP info » : elle permet au contrôleur de percevoir l'ensemble des informations plan de vol du nouveau vol ou l'ensemble des informations plan de vol qui ont été modifiées ;
- le tour de secteur : il est destiné à détecter toute anomalie, erreur ou oubli dans la gestion du trafic en compte. La FHA précise que ce moyen en réduction de risque est estimé efficace pour éviter l'oubli ou l'absence de connaissance d'un vol par le contrôleur ;
- la coopération du binôme PCR/PCO : elle doit permettre de détecter, par lever d'incohérence notamment, une large gamme d'ER ;
- le contrôle de trajectoire : il doit permettre de détecter que le comportement réel du vol n'est pas conforme au comportement attendu et à prévenir le contrôleur par l'intermédiaire des alarmes **VERT** et **HORIZ** ;
- la liste des vols sans piste : elle permet de mettre en évidence pour le contrôleur un vol pour lequel un plan de vol a été reçu sans qu'aucune piste lui soit associée ;
- les alertes « vol sans piste » affichées dans les DYP : valables pour les vols de la position qui ne sont pas éliminés par le filtrage, elles affichent une information pour les vols non détectés par le radar ou sans mode C ;
- les marqueurs piste : ils affichent la dernière position connue pour les vols ;
- une action de survol de l'indicatif d'un vol avec la souris : elle permet de mettre en évidence toutes les occurrences du vol pour que le contrôleur puisse récupérer rapidement et sans ambiguïté l'ensemble des informations relatives au vol, sur les différents supports (image radar, listes de vols, agenda) ;
- des alarmes ERATO : elles avertissent le contrôleur quand un vol ne bénéficie pas des services ERATO (absence de service filtrage (F) par exemple, voir § 1.17.3.6).

Il est précisé (voir **Figure 30**) que les causes d'absence de détection des marqueurs piste et de la liste des vols sans piste n'ont pas été influencées par le changement apporté par la mise en œuvre de l'environnement électronique ERATO dans la mesure où ces marqueurs piste existaient déjà avec le système fonctionnel précédent, en environnement papier.

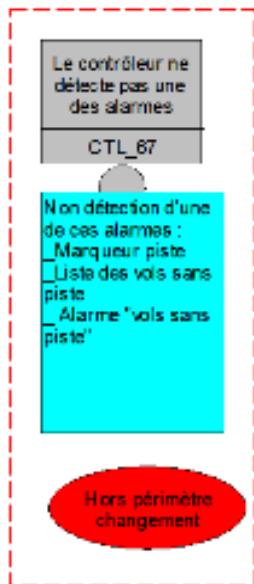


Figure 30 : non-détection d'alarmes hors du périmètre de changement
(Source : DSNA)

Volet opérationnel

Les principales situations à risque⁵⁹ établies dans le volet opérationnel et en lien avec l'incident grave sont les suivantes :

- absence de détection et de prise en compte d'une non-conformité sur le comportement d'un vol ;
- absence de détection et de prise en compte des alertes concernant les prochaines actions à effectuer ;
- absence de perception et de prise en compte des alarmes ERATO (**E**, **F**, **NQ**) sur un ou plusieurs vols.

Les différents MRR associés sont fonctionnels ou axés sur les méthodes de travail :

- MRR « Fonctionnels » :
 - duplication des informations essentielles sur différents supports,
 - affichage des alarmes monitoring de trajectoire (**VERT**, **HORIZ** et **H+V**),
 - affichage des alarmes ERATO (**F**, **E**, **NQ**),
 - fonction de mise en évidence de vols,
 - codage couleur spécifique,
 - fonction particularisation ;
- MRR « Méthodes de travail » :
 - surveillance pour détecter des anomalies secteur et les oubli/erreurs, en particulier au moyen du codage couleur des alarmes **VERT**, **HORIZ**, **H+V** et **F** : le contrôleur doit avoir suivi une formation spécifique sur cette méthode de travail et les points importants sur ces alarmes,

⁵⁹ Appelées « problématiques de sécurité » dans le dossier de sécurité EEE.

- surveillance pour identifier les prochaines actions à effectuer : il est attendu que le contrôleur s'appuie sur sa mémoire, sur le balayage des différentes listes (notamment la liste des vols en fréquence FREQ) et sur les informations disponibles pour identifier les actions à effectuer. Il est précisé que la liste FREQ garde la trace des vols dont le marqueur piste aurait été effacé trop rapidement (comme cela s'est produit avec le LAV4651). Le contrôleur doit avoir suivi une formation sur cette méthode de travail et sur l'intérêt du balayage des différentes listes.

Les évaluations opérationnelles réalisées ont montré, pour les situations à risque présentées ci-dessus, que :

- les alarmes **HORIZ**, **VERT**, **E** et **F** étaient bien détectées par les contrôleurs, ce qui a permis de conclure que la situation à risque était traitée ;
- la liste des vols en fréquence a permis aux contrôleurs de mettre facilement à jour leur représentation de la situation de trafic, leur permettant ainsi de repérer les actions à faire.

Il est à noter que le volet opérationnel prévoit une exigence de sécurité spécifique au circuit visuel, considéré comme un MRR « méthode de travail ».

Le volet opérationnel comprend également une partie sur la gestion du trafic aérien par les contrôleurs en cas de situations opérationnelles dégradées dues à des défaillances techniques de l'environnement électronique ERATO. Les autres situations dégradées (due à des défaillances d'équipements à bord des aéronefs, par exemple) ne sont pas étudiées.

La FHA opérationnelle relative aux situations dégradées (en cas de défaillances de l'environnement électronique ERATO) décrit les influences apportées par la mise en œuvre de cet environnement sur l'activité des contrôleurs :

- « *Le tableau de strips apparaît plus efficace que l'écran tête basse ou les listes de vols EEE car les outils électroniques (TDS, listes et marqueurs piste) gèrent automatiquement le placement des DYPS sur des critères indépendants de la position réelle des aéronefs.* »
- « *L'interface EEE apparaît moins efficace que le strip pour soutenir la mémoire en notant des éléments géographiques relative à la position des aéronefs.* »
- « *La fenêtre "vols sans piste" affiche sur l'écran la liste des indicatifs des vols sans piste ainsi qu'un symbole représentant ce vol, le marqueur piste. Utile lors du fonctionnement nominal du système pour détecter un vol sans piste, cette interface peut permettre d'effacer rapidement un marqueur piste, ce qui peut impacter ensuite la gestion de ce vol.* »

Il est également précisé que, dans le cas d'une perte d'image radar principale et secours, l'effacement d'un marqueur piste par un clic gauche sur l'indicatif d'un vol peut conduire également à faire disparaître le vol de la mémoire du contrôleur. Cette situation n'a pas fait l'objet de MRR spécifique. L'effacement réflexe ou par erreur de clic d'un marqueur piste n'est pas mentionné dans les autres documents de l'étude de sécurité et en particulier lors du fonctionnement normal du système fonctionnel.

1.17.8.3.2 Dossier de sécurité 4-FLIGHT⁶⁰

Pour satisfaire aux exigences du règlement européen IR ATM/ANS, la structure des études de sécurité et des dossiers de sécurité associés a été mise à jour par la DSNA. Le dossier de sécurité 4-FLIGHT est organisé selon deux volets distincts : un volet opérationnel et un volet technique.

⁶⁰ Version du 28 juin 2021 utilisée lors de l'enquête.

Dans le volet opérationnel, deux situations problématiques sont en lien direct avec l'incident grave du 21 juillet 2023 :

1. Non-détection et/ou traitement erroné d'une perte de corrélation ou d'une perte de piste
Plusieurs événements peuvent être précurseurs de cette situation problématique opérationnelle.

En particulier, l'origine peut être :

- une perte de piste radar,
- une perte de corrélation d'un vol,
- la présence de vols non corrélés / décorrélés ou sans piste.

Cette situation peut avoir pour conséquences une absence de détection de l'anomalie de corrélation (conséquence sur la tâche) ou une conscience de la situation erronée (conséquence sur le travail mental).

2. Perte ou absence de conscience d'un vol concernant le secteur

Cette situation peut survenir en contexte normal et en contexte de relève. Un des précurseurs de cette situation est la présence de vols non corrélés / décorrélés ou sans piste. Cette situation peut avoir pour conséquences une absence de connaissance d'un vol ou une conscience de la situation erronée.

L'ensemble des MRR pour réduire le niveau de gravité des situations problématiques identifiées sont répartis en trois catégories : fonctionnels, connaissances, méthodes de travail. Ceux pertinents pour l'incident grave du 21 juillet 2023 sont les suivants :

- MRR « fonctionnels »
 - affichage d'une étiquette FPASD pour un vol non corrélé,
 - affichage de la dernière position connue par l'intermédiaire de marqueur LKP et/ou LT ;
- MRR « connaissances »
 - connaître les spécificités et les limites des pistes non corrélées,
 - comprendre ce que représente le FPASD, connaître les actions correctives à mettre en œuvre et connaître ses limites d'utilisation afin de bien gérer une problématique de corrélation,
 - comprendre ce que représente les LKP et LT, savoir que la *Lost List* contient les PLN des vols décorrélés et connaître les actions correctives car ils correspondent par construction à un vol concernant la position ;
- MRR « méthode de travail »
 - « *Recorrérer le vol avant d'acquitter le symbole LKP, car l'acquittement supprime le marqueur piste et donc la seule représentation du vol sur l'IR. Si le symbole est acquitté avant, en cas d'interruption la recorrelation peut être oubliée* ». Il est précisé que « *le LKP est le seul marqueur permettant de matérialiser le dernier endroit où la piste a disparue donc nécessaire en cas de recherche, si acquitter de manière accidentelle il faut⁶¹ pour le ré afficher* »,
 - traitement après la détection d'une absence ou perte de corrélation.

1.17.8.3.3 Suivi du changement après sa mise en service

La procédure d'évaluation et d'atténuation des risques des changements apportés au système fonctionnel de la DSNA prévoit qu'un bilan de sécurité soit réalisé à l'issue d'une période définie après la mise en service. Pendant cette période, les hypothèses et l'efficacité des MRR sont évaluées sur la base des événements de sécurité remontés par les agents opérationnels. Le bilan consiste à présenter les résultats constatés.

⁶¹ Aucun mot n'est écrit entre « faut » et « pour » dans cette phrase.

Le bilan sécurité du de l'environnement électronique ERATO a été réalisé six mois après la mise en service. Il n'a pas été prévu dans cette période de faire le suivi des MRR ou des ER cités au § 1.17.8.3.1. Aucun résultat n'est donc associé dans le bilan.

1.17.8.4 Analyse et suivi des événements de sécurité par la DSNA

1.17.8.4.1 Principes généraux

Le SMI de la DSNA comporte une procédure spécifique pour le traitement des constats et des actions, complétée par une méthodologie de traitement des événements de sécurité.

L'analyse des événements de sécurité par la DSNA est une démarche basée sur la notification d'événements par les agents opérationnels (par le biais d'une FNE, Fiche de Notification d'Événement), comme prévu au règlement (UE) N° 376/2014⁶², distinguant les événements dont le report est obligatoire et ceux dont le report est volontaire.

Au titre de ce règlement, les événements liés à des risques de collision en vol sont à reporter obligatoirement. L'évaluation du risque avant la notification est laissée à l'appréciation du contrôleur. Parmi ces événements figurent les pertes de séparation (SMI, *Separation Minimum Infringement*). Les mesures de gestion des risques sont issues de l'analyse des événements reportés.

Au niveau local, les entités QS (Qualité de Service) sont chargées du traitement des événements. L'analyse des événements s'attache à identifier les causes et facteurs contributifs et à prendre éventuellement des mesures correctives et préventives. Selon la pertinence ou la gravité, certains événements sont examinés dans des instances de suivi spécifiques comme le Groupe de Suivi sécurité (GSE) ou la Commission Locale de Sécurité (CLS). Des mesures peuvent être décidées et puis suivies localement ou proposées d'être remontées au niveau national.

Au niveau national, l'Instance DSNA de Traitement des Événements de Sécurité (ITES) a pour objectif de permettre un traitement national d'événements ou de thématiques pour lequel le dysfonctionnement navigation aérienne est estimé comme très important. Elle élabore et propose des pistes d'action de niveau local – en complément de celles déjà prises – ou de niveau national, propres à éviter une récurrence de survenue de ce type d'événements. L'ITES complète l'analyse locale par un éclairage sur le ou les événements considérés, avec les experts concernés des centres ou des échelons centraux de la DSNA, ainsi qu'avec les experts ITES. Un Comité de pilotage dédié, le COPIL ITES, se réunit deux fois par an pour décider des actions à entreprendre et en assurer ensuite le suivi. Ces actions sont attribuées à des entités locales ou nationales.

La DSNA a indiqué que l'ITES permet d'évaluer l'efficacité et de remettre en question les MRR identifiés dans les dossiers de sécurité.

1.17.8.4.2 Cas particuliers du traitement des « Expressions de Besoins »

À la suite de l'analyse d'un événement de sécurité⁶³, une demande d'évolution technique peut être formulée par une entité locale ou nationale de la DSNA à la DTI (voir § 1.17.2.1). Cette demande est transmise directement par l'entité à la DTI sous la forme d'une « Expression de Besoins » via un logiciel dédié.

⁶² [Règlement du 3 avril 2014 concernant les comptes rendus, l'analyse et le suivi d'événements dans l'aviation civile](#).

⁶³ Les événements de sécurité ne sont pas la seule origine des EB.

1.17.8.4.3 Analyses relatives à des traitements erronés d'une perte de suivi de piste radar

Dans le cadre de l'enquête, la DSNA a transmis trois occurrences significatives survenues dans des espaces aériens gérés par un CRNA disposant d'environnements électroniques (deux occurrences avec environnement électronique ERATO au CRNA Ouest et une avec 4-FLIGHT au CRNA Sud-Est). Ces occurrences ont fait l'objet d'une notification de la part des contrôleurs aériens concernés puis d'une analyse de la part de la DSNA.

Lors de ces occurrences, toutes liées à des pertes de suivi de piste radar en raison de pannes de transpondeur :

- les alertes correspondant à des modifications et non-conformités du vol n'ont pas été perçues et prises en compte par les contrôleurs ;
- le marqueur piste (EEE) ou le LKP (4-FLIGHT) a été effacé.

Occurrences en environnement électronique ERATO

Les deux événements sont survenus en mai 2017 et juin 2023. Pour les deux occurrences, les différentes alertes étaient affichées une quinzaine de secondes maximum et selon une séquence similaire à celle de l'incident grave du 21 juillet 2023 (voir **Figure 31**). Dans les deux cas, les marqueurs piste ont été effacés quelques secondes après leur apparition et malgré la présence de fenêtres vols sans piste. Les autres alertes n'ont pas été perçues.

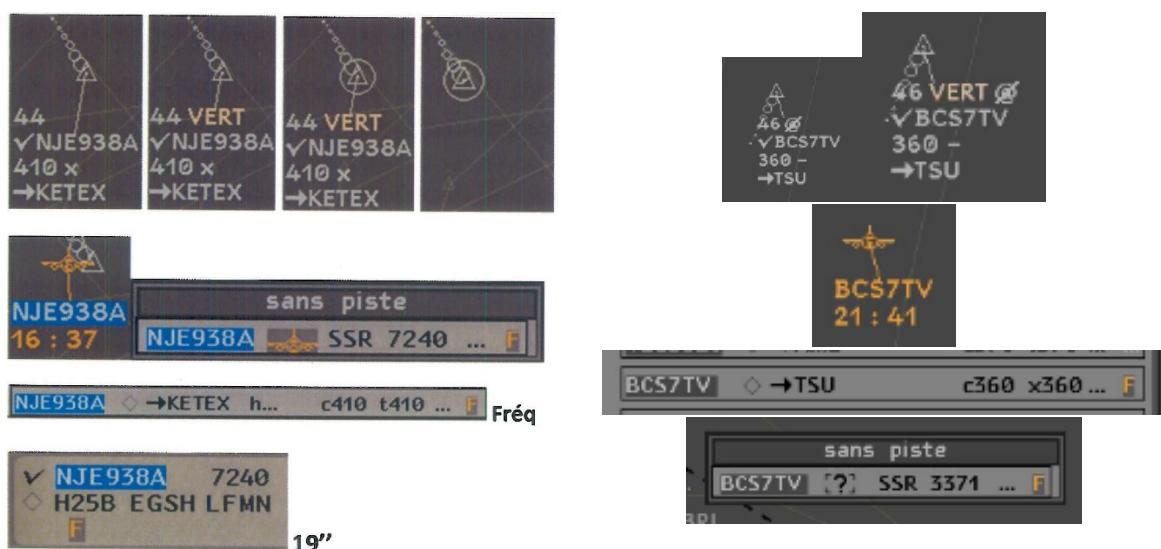


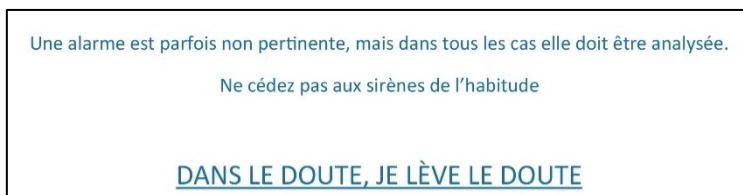
Figure 31 : séquence d'affichage des alertes (Source : DSNA)

En mai 2017, la disparition de la piste radar a perduré pendant 27 minutes, jusqu'à ce que l'équipage contacte le PCR du secteur concerné. La situation a été récupérée cinq minutes après ce contact radio, après trois transferts de fréquence radio et un recyclage de transpondeur par l'équipage.

- Traitements / analyse DSNA : après l'analyse de l'événement, la QS du CRNA Ouest a diffusé un REX interne auprès des contrôleurs sur les signes d'une disparition de piste et sur le besoin d'être attentif aux alertes en vérifiant la présence d'un DYP en cas de marqueur piste et en demandant à l'équipage de recycler le transpondeur au besoin. La QSS a également publié une consigne opérationnelle rappelant le principe de la fenêtre vols sans piste.

En juin 2023, le PCR a été relevé environ deux minutes après l'apparition de la fenêtre vols sans piste (le marqueur piste avait déjà été effacé). Trois minutes après la relève, les enregistrements vidéo des écrans des contrôleurs montrent une activité de la souris du PCR pendant environ cinq secondes sur l'indicatif du vol qui a subi la panne de transpondeur dans la fenêtre vols sans piste. Le PCR a ensuite rapproché la fenêtre vols sans piste vers la fenêtre FREQ (treize vols sont affichés dans cette fenêtre à cet instant, caractéristique d'une charge de travail conséquente). Près de huit minutes plus tard, le PCR a placé sa souris sur le DYP du vol dans la fenêtre FREQ puis a contacté l'équipage du vol en lui demandant sa position. L'étiquette du vol est à nouveau apparue à l'écran après la sélection du second transpondeur par l'équipage. Entre l'apparition des premières alertes et la récupération de la situation, il s'est passé dix-sept minutes.

- Traitements / analyse DSNA : Après analyse de l'événement, la QS du CRNA Ouest a transmis un REX interne à l'attention des contrôleurs⁶⁴ (voir **Figure 32**) rappelant que toutes les alertes devaient faire l'objet d'une analyse, même si certaines pouvaient être non pertinentes. Il a aussi été décidé qu'un rappel sur les alertes vol sans piste et l'effacement des alertes soient réalisés en briefing hebdomadaire.



*Figure 32 : retour d'expérience transmis aux contrôleurs du CRNA Ouest en juin 2023
(Source : CRNA Ouest)*

Occurrence en environnement 4-FLIGHT

En août 2023, environ dix minutes après le premier contact entre un équipage et le PCR du secteur concerné, une défaillance du transpondeur de l'avion a entraîné l'affichage à l'écran, d'un LKP puis d'un FPASD, et du vol dans la LT. Le PCR, qui avait « oublié » le vol (perte de conscience que le vol concernait le secteur), a acquitté le LKP quelques instants plus tard. Environ quinze minutes après l'apparition du FPASD, l'équipage a appelé le PCR pour demander la fréquence suivante. Le PCR lui a demandé d'activer le second transpondeur et la piste est réapparue à l'écran.

- Traitements / analyse DSNA : l'analyse faite par la QS du CRNA Sud-Est indique que le LKP et le FPASD ont fonctionné correctement, que la couleur du FPASD n'a pas été prise en compte, possiblement en raison de « l'influence de nombreuses FPASD par le passé ». Des rappels ont été effectués en « GT sécurité » et un REX interne a été diffusé auprès des contrôleurs sur le rôle et le traitement des FPASD et de la *Lost List*. Ce REX fait par ailleurs référence à un événement du mois de juillet 2023, avec disparition d'une piste radar pendant vingt minutes après que le pilote s'est trompé de code transpondeur, malgré l'affichage d'un FPASD et l'affichage du vol dans la LT. Ce REX évoque aussi les nombreuses situations différentes entraînant l'apparition d'un FPASD (par exemple : avion au décollage, avion en retard). Il indique qu'il y a « trop de vols qui apparaissent inutilement en *Lost list* et trop de FPASD polluants », et propose quelques principes méthodologiques pour les éviter.

⁶⁴ Les PCR et PCO chargés du secteur QXI lors de l'incident grave du 21 juillet avaient connaissance de ce REX interne.

Des modifications techniques ont été apportées dans les versions ultérieures du système 4-FLIGHT. Leur application se fait progressivement dans les autres CRNA équipés de 4-FLIGHT en fonction de la date de première mise en service de 4-FLIGHT.

1.17.8.4.4 Traitement et analyse de l'incident grave du 21 juillet 2023 par la DSNA

Analyse locale du CRNA Ouest

L'événement a d'abord été analysé en CLS le 29 août 2023. Le compte rendu de la CLS, établi le 12 septembre 2023, illustre les discussions autour de la gestion opérationnelle de l'événement avec les contrôleurs concernés, et mentionne les « causes et des facteurs contributifs entérinés lors du GSE » qui s'est tenu le 8 septembre 2023. Les contrôleurs ont évoqué, entre autres, l'affichage fréquent de marqueurs piste non pertinents entraînant une mauvaise habitude d'acquittement systématique, sans analyse approfondie. Le compte rendu précise que l'affichage d'un marqueur piste ne peut être considéré comme une barrière de sécurité « éprouvée » et qu'il est nécessaire de vérifier la pertinence de cette alerte par une vérification (tour de secteur, examen de la liste des vols en fréquence). Au sujet de la fenêtre « vols sans piste », le compte rendu indique que leur fréquence d'affichage importante sur les secteurs océaniques du CRNA Ouest contribue à ne pas la relier à une urgence. Le compte rendu mentionne également qu'en cas de charge de trafic faible, les différents outils disponibles en environnement électronique ne sont pas systématiquement utilisés.

Le compte rendu de la CLS mentionne également qu'une demande d'évolution technique de l'environnement électronique ERATO visant à dissocier les marqueurs pistes valides / pertinents des marqueurs piste non pertinents avait été faite lors d'une réunion à échelle nationale. La DSNA, en l'absence de traçabilité, considère que cette demande n'a pas été faite.

Les causes suivantes ont été identifiées en GSE :

- « *exploitation inadaptée des informations : Les informations fournies au contrôleur sont ignorées ou mal exploitées (DYPS, coordinations, messages pilotes, marqueur-piste effacé sans vérification alors que le vol est assumé sur le secteur ; Fenêtre “vol sans piste” ignorée alors que le vol est présent dans la boîte FREQ) ;*
- *facteurs humains : biais d'habitude, marqueurs piste effacés machinalement car proportion de marqueurs piste non pertinents trop importante ;*
- *charge de travail ressentie faible, situation qui peut générer de l'hypovigilance ;*
- *représentation mentale erronée (il manque un vol dans le schéma mental des contrôleurs) ;*
- *facteurs humains : non-respect de la procédure, involontaire (pas de lever de doute, alertes non exploitées, pas de tour de secteur comme préconisé dans la méthode de travail) ».*

La QS locale a édité un REX interne après l'incident grave (voir **Figure 33**), rappelant les différents cas d'affichage de marqueurs piste et précisant l'origine de leur affichage. Le REX indique également qu'« *un marqueur piste ne correspond pas forcément à l'absence d'un vol à l'écran* ». Il est précisé que les marqueurs piste les plus courants correspondent à des vols d'aéronefs dont le transpondeur ne transmet pas l'indicatif en mode S (vols militaires par exemple) et qui ne sont en général pas pris en compte dans le secteur de contrôle. Il conclut en déclarant que « *tout marqueur piste doit être analysé* ».

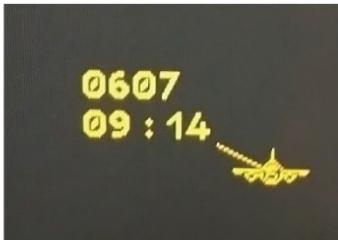
	<p><u>Le plus courant des marqueurs-piste</u></p> <p>Il apparaît pour un vol n'envoyant pas son Aircraft ID en Mode S. Typiquement un vol militaire.</p> <p>Même si une analyse reste souhaitable, il est peu probable qu'il ait été en compte dans le secteur.</p>
	<p><u>Hors STPV Brest mais émettant son @AID</u></p> <p>Concerne un vol non connu du STPV Brest mais émettant son @AID.</p> <p>Il peut apparaître dans l'onglet « flux » en cas de recherche d'un vol (Dyp CRE) ou dans la fenêtre « VOIR » en cas de montrer d'un centre adjacent.</p>
	<p><u>Le marqueur piste le plus critique</u></p> <p>Il concerne un vol qui a été, est ou sera en compte dans le centre.</p> <p>Il peut être associé à une fenêtre « sans piste » (secteur servi et considéré dans les limites secteur par le STPV).</p> <p>En boîte « FREQ » et dans l'onglet « flux », l'alarme « filtrage » F apparaît sur le dyp.</p>
<p>Un marqueur piste ne correspond pas forcément à l'absence de visualisation d'un vol à l'écran.</p> <p>Cependant, ça peut être le cas. Cela peut entraîner une perte de maîtrise totale du trafic.</p> <p>Tout marqueur piste doit être analysé, que ce soit en situation de relève ou non.</p> <p style="text-align: center;">DANS LE DOUTE, JE LÈVE LE DOUTE</p>	

Figure 33 : retour d'expérience transmis aux contrôleurs du CRNA Ouest en juillet 2023
 (Source : CRNA Ouest)

De plus, les méthodes de travail sous environnement électronique ERATO rédigées par le CRNA Ouest à l'attention des contrôleurs aériens (voir § 1.17.5.2) ont été mises à jour en octobre 2023 en fournissant des informations complémentaires sur les conditions d'affichage des fenêtres vols sans piste et des marqueurs piste, ainsi que sur les actions attendues associées.

La formation FSAU (voir § 1.17.5.5) pour la période 2023-2024 a aussi été mise à jour. Avant d'aborder les actions en cas de détection de panne de transpondeur, la partie théorique de la FSAU fait un point sur les différents marqueurs piste qui peuvent être affichés. Le niveau de criticité de ces marqueurs piste est précisé et reprend les indications du REX de juillet 2023 :

1. le plus courant des marqueurs piste concerne les vols des aéronefs dont le transpondeur ne transmet pas l'indicatif de l'aéronef en mode S (vols militaires par exemple) et qui n'ont probablement pas été pris en compte dans le secteur de contrôle ;
2. « Les marqueurs piste les plus critiques » concernent « un vol qui a été, est, ou sera pris en compte » par le CRNA Ouest et qui peuvent être associés à une fenêtre vols sans piste.

Le support de formation de la FSAU 2023-2024 conclut sur le sujet des marqueurs piste que « *tout marqueur piste doit être analysé* ». La FSAU pour la période 2023-2024 reprend ensuite les actions à entreprendre en cas de panne de transpondeur. Le support insiste sur le fait de ne pas effacer le marqueur piste.

Analyse du CRNA Sud-Ouest

Les mesures suivantes de modifications du système ont été évoquées en GSE local :

- apparition de la fenêtre vols sans piste à l'endroit où le vol est attendu ;
- survisualisation de la fenêtre vols sans piste, lorsqu'on passe la souris sur le DYP dans les vols en entrée (comme pour les étiquettes au radar).

Le CRNA Sud-Ouest a indiqué que ces actions n'ont pas été jugées pertinentes compte tenu de la décision de la DSNA de ne plus investir dans l'environnement électronique ERATO avec son remplacement à venir par 4-FLIGHT.

Les mesures suivantes ont été proposées au niveau local :

- Diffusion d'un REX interne à l'ensemble des contrôleurs ;
- Organisation d'une réunion avec les correspondants sécurité de chaque équipe de contrôleurs et le service afin de détailler le déroulement de l'événement et expliciter les conclusions prises lors de la CLS.

La DSNA a indiqué que la CLS a été commune aux CRNA Ouest et Sud-Ouest. Le compte rendu de la CLS (voir paragraphe précédent) ne mentionne toutefois pas les participants, et le CRNA Sud-Ouest ne compte pas parmi les destinataires du compte rendu.

Analyse nationale

Une ITES s'est tenue le 6 février 2024 et un COPIL ITES le 13 février. Les comptes rendus ont été diffusés en juillet 2024. D'après le compte rendu de l'ITES, « *les évolutions proposées durant la conversation se sont heurtées au fait que ce système [ERATO] n'a plus que quelques années à vivre et qu'aucune énergie ne sera plus consacrée à son développement/amélioration* ».

Il est en particulier mentionné dans les comptes rendus :

- la nécessité d'une étude sur le nombre de pertes de pistes affichées à un contrôleur ainsi que leur taux de pertinence. Le CRNA Sud-Ouest indique qu'il travaille à l'ajout dans un outil développé localement⁶⁵ et non validé au niveau national d'une alarme sonore en cas de perte de piste pertinente pour la position. Il a ensuite été décidé en COPIL ITES de « d'analyser (quantitativement et qualitativement) la validité de l'étude » ;
- un travail à mener sur la maîtrise de la fenêtre vols sans piste par les contrôleurs aériens, ainsi que la connaissance et l'application des méthodes de travail qui y sont relatives. Plus généralement s'est posée la question de connaître l'évolution de l'application des méthodes de travail, et donc d'une méthode d'étude/observation afin de détecter et différencier, sur certains points, les dérives des bonnes pratiques. La méthode OSP (Observation sur Position) a été évoquée. Au COPIL ITES, la DSNA s'est engagée à identifier les méthodes de travail en environnement électronique ERATO dont elle souhaite observer l'application ;
- la formation des contrôleurs (théorie, temps opérationnel sur secteur, volume d'heures sur simulateur) concernant les outils et alertes sollicités par l'événement. Il a été décidé de fournir un rapport sur le volume horaire de formation suivi par les ATCO en 2023, ventilé par service, thématique et différenciant les heures de « théorie » des heures de simulation.

⁶⁵ Outil appelé Boucle de Rattrapage (BDR).

Par ailleurs, le compte rendu de l'ITES indique :

- qu'il est « *aujourd'hui difficile de faire le lien entre les études sécurité et les événements* » ;
- qu'il « *faudrait parvenir à faire le lien entre les scénarios initialement imaginés (et les barrières mises en place), et ce qui se produit dans la réalité* ».

Cette réflexion n'a pas donné lieu à des actions.

À noter que le compte rendu ne mentionne pas les événements de mai 2017 et juin 2023.

Le COPIL ITES suivant s'est déroulé en décembre 2024. Les différentes actions sont référencées « en cours » et leur état d'avancement n'est pour autant pas précisé.

1.17.8.5 Évaluation du risque de traitement erroné d'une perte de suivi de piste radar

1.17.8.5.1 Dénombrément des cas

La DSNA a indiqué ne pas être en mesure de quantifier le nombre d'événements relatifs à des pertes de suivi de piste radar sans analyse préalable du marqueur piste ou du LKP par le contrôleur aérien. En effet, seul le report d'événements (voir § 1.17.8.4.1) par les agents opérationnels permet de les recenser. Cette méthode ne semble pas être une source fiable et suffisante, en particulier lorsque les conséquences sont atténuées par la détection et la récupération de la situation.

Plus généralement, la DSNA indique ne pas disposer de moyens pour connaître la manière dont sont traités les marqueurs piste et les fenêtres vols sans piste au regard des méthodes de travail prévues.

À noter, qu'une seule expression de besoin (EB) a été retrouvée dans la base de données de la DSNA sur la problématique des marqueurs piste et fenêtre vols sans piste. La demande provenait du CRNA Ouest pour une différenciation des marqueurs pistes pertinents. L'échelon central de la DSNA a proposé et expliqué via l'outil informatique le rejet de cette demande (aucune évolution technique envisagée de l'environnement électronique ERATO). En l'absence de réponse du CRNA Ouest, l'EB n'a pas été formellement clôturée.

1.17.8.5.2 Observation sur position (OSP)

À ce jour, la DSNA n'a pas mis en place de moyens ou de méthodes, à l'instar de l'OSP, pour permettre non seulement de mieux appréhender les signaux faibles, les menaces, les erreurs et les événements indésirables qui peuvent avoir une influence sur la sécurité dans un contexte opérationnel donné, mais aussi d'identifier les bonnes pratiques pour maintenir la sécurité. Comme mentionné lors de l'ITES du 6 février 2024, l'OSP pourrait permettre d'identifier des dérives dans l'application des méthodes de travail relatives à l'utilisation des marqueurs piste et de la fenêtre vols sans piste, et ainsi envisager des mesures sans attendre la survenue d'un événement de sécurité comme la perte de séparation en vol.

Ce constat a fait l'objet d'une recommandation du BEA en 2024, émise dans le rapport d'enquête relatif la quasi-collision avec le sol à l'approche de Paris-Charles de Gaulle⁶⁶ :

- *Le BEA recommande que la DSNA mette en place des méthodes ou outils d'évaluation objective du travail sur position des contrôleurs aériens à des fins d'amélioration du système de gestion de la sécurité [Recommandation FRAN-2024-011].*

⁶⁶ Op.cit., § 1.17.8.2.

Ce rapport d'enquête précisait toutefois que dans le cadre d'un changement impliquant la transformation de méthodes de travail, la DSNA avait mis en place dans le passé des OSP afin de mesurer si les méthodes de travail prescrites en amont du changement étaient réalisées comme attendu. À titre d'exemple, la mise en œuvre de 4-FLIGHT a fait l'objet d'OSP.

LA DSNA a répondu le 16 décembre 2024 que la DSEC était mandatée pour « établir un projet dont l'objectif sera de permettre la mise en place de moyens complémentaires à l'analyse des événements de sécurité, à des fins d'intégration de la gestion des risques dans son Système de Gestion de la Sécurité. Le mandat devra définir :

- *les besoins et objectifs de l'évaluation du travail réel sur position des contrôleurs ;*
- *les méthodes et moyens pour y parvenir ;*
- *les ressources et l'organisation devant permettre à la DSNA de les mettre en œuvre de façon pérenne dans le cadre du SGS ».*

La DSNA a indiqué qu'une expérimentation d'OSP avait été menée en octobre 2024 au CRNA Est, et que les résultats ont permis, entre autres, d'évaluer l'appropriation de 4-FLIGHT, de mettre en lumière des méthodes non applicables devant être amendées et des méthodes de travail non appliquées. La méthode a été jugée pertinente et a été validée par le groupe de travail dédié.

La DSNA prévoit d'inscrire cette méthodologie dans une organisation plus large qui sera définie courant 2025 et permettra de prendre en compte l'impact RH de ces observations. Dans l'attente, il a été décidé de poursuivre l'expérimentation en parallèle aux CRNA Sud-Est et CRNA Est, afin d'appréhender plus précisément comment utiliser ces observations dans un suivi de sécurité national et de réfléchir à la mise en place d'une formation des observateurs pérenne.

1.18 Renseignements supplémentaires

1.18.1 Points significatifs et comptes rendus de position

Un point significatif (« WAYPOINT ») correspond à un emplacement géographique utilisé pour définir une route permettant d'assurer les services de la circulation aérienne, la trajectoire d'un aéronef, ainsi que pour répondre aux besoins des services de la circulation aérienne. Ils sont identifiés au moyen d'un indicatif. Ces points significatifs sont établis par les PSNA. Ils doivent être publiés sur les cartes aéronautiques et ils figurent également dans la description des routes dans la section ENR 3 de l'AIP.

La partie FPD du règlement européen IR ATM/ANS⁶⁷, relative aux prestataires de services de conception de procédures de vol, précise que les points significatifs sont utilisés comme des points de compte rendu dans le but d'assurer une coordination entre les services de la navigation aérienne et les équipages. Les points de compte rendu de position peuvent être obligatoires ou à la demande. Les points de compte rendu obligatoires sont utilisés pour la fourniture régulière d'informations aux services de la navigation aérienne sur la progression des aéronefs en vol, et leur nombre devrait être limité non seulement pour ne pas augmenter la charge de travail des contrôleurs aériens et des équipages, mais aussi pour ne pas saturer les fréquences radio utilisées en vol.

⁶⁷ Op. cit., §§ 1.9.6 et 1.17.8.1.

Un point de compte rendu obligatoire est matérialisé sur une carte par un triangle plein. Un point de compte rendu à la demande est caractérisé par un triangle vide.



L'exigence SERA.8025 du [règlement européen \(UE\) n° 923/2012 \(dit SERA\)](#) concerne les comptes rendus de position. Il prévoit que les équipages de vol signalent à l'organisme des services de la circulation aérienne, dès que possible, l'heure et le niveau de vol au moment du passage de chaque point de compte rendu obligatoire désigné, ainsi que tout autre renseignement nécessaire. De même, des comptes rendus de position peuvent être faits par rapport à des points supplémentaires lorsque l'organisme des services de la circulation aérienne le demande.

Le manuel d'exploitation d'Albastar (Partie A paragraphe 12.1.a.4) reprend cette exigence. Il est également précisé que, « en cas de contrôle radar, les contrôleurs peuvent demander aux équipages d'omettre les comptes rendus de position sur les points de compte rendu obligatoires ».

La symbologie utilisée pour afficher les points de compte rendu sur les écrans de navigation des avions soumis aux spécifications de certification CS25 ne reprend généralement pas celle prévue par la réglementation. Il n'existe pas de spécification de certification relative à cette symbologie pour les avions.

Une dizaine de pilotes de ligne français a été sollicitée pour connaître les pratiques relatives aux points de compte rendu obligatoire de position. Il s'avère que, sans demande expresse de la part des contrôleurs, les pilotes ne les contactent pas au passage de ces points qui nécessitent une vérification sur un autre moyen que les écrans de navigation. Par ailleurs, les pilotes interrogés précisent que le contact à ces points de compte rendu obligatoire, sans demande des contrôleurs, augmenterait considérablement le taux d'occupation de la fréquence.

1.18.2 Règles de séparation

L'exigence ATS.TR.210 du règlement [IR ATM/ANS](#) et le moyen de conformité associé AMC1 ATS.TR.210(c)(2) fournissent les règles de séparation entre aéronefs. La norme de séparation horizontale en contrôle radar en route à appliquer entre aéronefs non séparés verticalement est de 5 NM. Cette norme sous-entend, outre le bon fonctionnement de l'ensemble de traitement radar, que les aéronefs soient identifiés.

1.18.3 Dispositifs pour attirer l'attention des contrôleurs aériens

De nombreux documents, études ou articles ont été publiés sur les dispositifs pour attirer l'attention des contrôleurs aériens par les systèmes fonctionnels.

La FAA a publié en novembre 2007 une analyse⁶⁸ sur ces dispositifs à partir de nombreux articles de recherche et d'un document du NTSB publié en 2006 sur la base de onze enquêtes de sécurité concernant des collisions avec le sol (sans perte de contrôle) ou en vol, survenues entre 2002 et 2006. Le NTSB concluait dans ce document que soit les contrôleurs aériens n'avaient pas perçu les alertes visuelles, soit ils n'avaient pas réagi de manière appropriée. Ces conclusions ont amené le NTSB à recommander à la FAA de revoir la conception des alertes des systèmes pour améliorer leur détection par les contrôleurs aériens.

68 Human Factors Analysis of Safety Alerts in Air Traffic Control, rapport no DOT/FAA/TC-07/22 de novembre 2007

L'analyse de la FAA rappelle que les systèmes fonctionnels déclenchent des alertes pour attirer l'attention des contrôleurs aériens et les amener à agir de manière appropriée. Elle précise que la manière dont les contrôleurs aériens réagissent à ces alertes est influencée par de nombreux éléments tels que :

- les activités de gestion du trafic ;
- les caractéristiques des alertes ;
- les processus de gestion de l'activité humaine (maintien de la conscience de la situation et la gestion de la charge de travail par exemple) qui dépendent à la fois de chaque personne et du contexte de travail.

L'analyse indique également que le risque d'erreur augmente lorsque des dispositifs d'alerte identiques sont utilisés pour des situations présentant des niveaux différents de criticité. Il est précisé qu'une alerte peut être supprimée sans analyse de la situation lorsque les contrôleurs aériens sont habitués à traiter la majorité de ces mêmes alertes s'affichant dans des situations peu critiques ou de faible priorité.

Dans un article intitulé « Coûts attentionnels et défaillances dans les notifications de contrôle du trafic aérien [traduction BEA] »⁶⁹ et publié en 2014, cinq modèles différents d'alertes ont été évalués en fonction de leur capacité à capter l'attention pendant une tâche de contrôle aérien en cours et de leur influence cette tâche principale. Il est rappelé qu'un équilibre doit être trouvé entre la capacité à attirer l'attention et l'importance de l'activité en cours. L'article explique également que les écrans radar exploitent la vision périphérique pour fournir des informations tout en minimisant la perturbation de la tâche principale. Il précise qu'en raison des limites de la vision périphérique, il est nécessaire de prendre en compte les paramètres tels que la couleur, le mouvement, la luminance, l'opacité ou la taille lors de la conception des dispositifs d'alerte. Les cinq dispositifs d'alerte étudiés étaient les suivants :

- a. affichage statique d'un mot de couleur orange/rouge dans l'étiquette associée de l'aéronef, généralement utilisé pour caractériser des alertes de faible criticité (voir **Figure 34**). Cet affichage correspond à celui des alertes caractéristiques d'un vieillissement de piste radar ;
- b. affichage clignotant d'un mot de couleur orange/rouge dans l'étiquette associée de l'aéronef, utilisé pour caractériser des alertes de criticité supérieure ;
- c. affichage animé (translation) de quatre chevrons de couleur jaune autour de l'étiquette de l'aéronef et affichage statique d'un mot de couleur orange/rouge dans l'étiquette (voir **Figure 35**) ;
- d. affichage animé qui utilise l'opacité de l'arrière-plan de l'écran radar pour différencier l'aéronef (les autres s'effacent pendant 300 ms). À la fin de l'animation, l'étiquette vibre pour attirer l'attention. La durée totale de l'animation est de 2,56 s et l'écran reste plus sombre pendant 20 s ;
- e. animation dynamique qui permet de détourner le regard et l'attention de la tâche principale vers la zone mise en évidence par des cercles de focalisation (« Halo »).

⁶⁹ Jean-Paul Imbert, Helen M. Hodgetts, Robert Parise, François Vachon, Frédéric Dehais & Sébastien Tremblay (2014) Attentional costs and failures in air traffic control notifications, *Ergonomics*, 57:12, pp. 1817-1832, DOI: 10.1080/00140139.2014.952680



Figure 34: affichage statique



Figure 35 : chevrons et affichage statique

(Source : DSNA)

Il ressort de l'étude que trois alertes animées (**c**, **d** et **e**) ont été perçues rapidement et sans erreur. A contrario, la couleur, même animée (**a** et **b**), est moins efficace et certaines notifications passent parfois inaperçues. Les alertes **d** et **e** conduisent cependant à des interruptions de la tâche principale, ce qui peut également créer des difficultés dans certains cas.

1.18.4 Règles détaillées relatives aux systèmes ATM/ANS

Le cadre réglementaire relatif à la certification et à la déclaration des systèmes ATM/ANS est établi en Europe depuis juillet 2023⁷⁰. À la date de publication du rapport, aucun organisme de production ou de conception et aucun système de gestion du trafic aérien (dont 4-FLIGHT) n'avaient été certifiés par l'AESA selon ce nouveau cadre.

En octobre 2023⁷¹, l'AESA a publié des *spécifications détaillées* (DS, *Detailed Specifications*) à partir de normes, spécifications techniques ou de pratiques courantes pour servir de base de certification des systèmes ATM/ANS, à l'instar des spécifications de certification pour les aéronefs (CS).

En ce qui concerne l'interface homme-machine (spécification DS GE.GEN.005), et donc en particulier les dispositifs pour attirer l'attention des contrôleurs aériens, il est demandé que des dispositifs visuel et/ou oral fournissent des indications à la réception de messages destinés à être affichés ou utilisés par personnes concernées, ou en cas de dysfonctionnement du système ATM/ANS. Des moyens doivent également permettre aux personnes concernées de voir les informations, créer des informations, les archiver, les éditer ou les supprimer. Aucune norme ou spécification n'est précisée pour la conception des dispositifs pour attirer l'attention des contrôleurs aériens. À titre de comparaison, pour les systèmes A-SMGCS⁷² (système de surveillance dans l'enceinte de l'aérodrome et en approche des mouvements d'aéronefs et de véhicules), de nombreuses normes et spécifications d'Eurocontrol, EUROCAE ou ETSI sont citées pour servir de base de certification de ces systèmes.

⁷⁰ [Règlement délégué \(UE\) 2023/1768 de la Commission du 14 juillet 2023](#) établissant des règles détaillées relatives à la certification et à la déclaration des systèmes de gestion du trafic aérien et de services de navigation aérienne ainsi que des composants de gestion du trafic aérien et de services de navigation aérienne

⁷¹ <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/agency-decisions/ed-decision-2023015r>

⁷² Advanced surface movement guidance and control system.

À partir de stratégies définies dans le plan de sécurité aérienne pour les États membres de l'AESA (EPAS⁷³) ainsi que des principaux risques identifiés pouvant affecter le système aérien, l'AESA a mis en place un certain nombre d'actions nécessaires pour atténuer ces risques et améliorer la sécurité aérienne. Une de ces actions concerne la mise à jour régulière des spécifications détaillées pour les systèmes ATM/ANS ([RMT.0744](#)).

Cette action, débutée en 2024, implique différents organismes tels que des ANSP, des organismes de conception et de production de systèmes ATM/ANS et l'AESA.

1.18.5 Exemples d'occurrence en lien avec l'incident grave du 21 juillet 2023

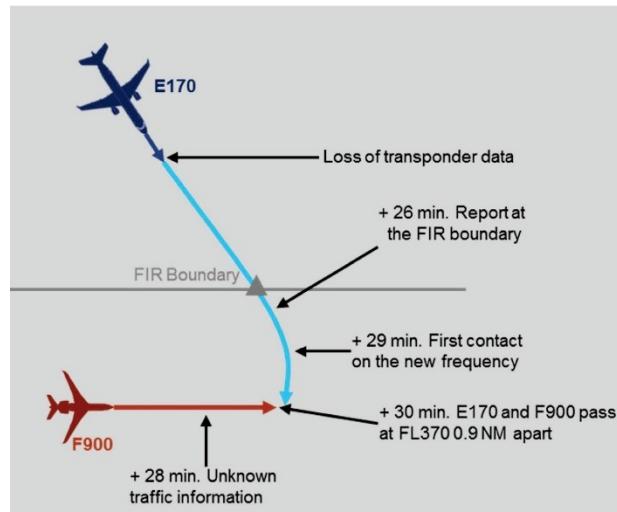
Le 29 septembre 2006, un Boeing 737-809 au FL 370 est entré en collision avec un Embraer Legacy au même niveau de vol⁷⁴. L'équipage du Boeing 737 a perdu le contrôle de l'avion qui est entré en collision, tuant les 154 personnes à bord. L'équipage de l'Embraer Legacy a pu se dérouter vers un aéroport proche et atterrir malgré les dommages subis par l'avion. L'enquête, menée par l'autorité d'enquête brésilienne (CENIPA), a révélé que l'équipage de l'Embraer Legacy n'avait pas reçu d'instruction de descente vers le FL 360 comme le prévoyait le plan de vol initialement déposé. Elle a également montré que cet équipage a peu après arrêté le transpondeur de l'avion par inadvertance. Cette mise en veille du transpondeur associée à l'absence de conscience de la part de l'équipage que le transpondeur ne fonctionnait plus a eu pour conséquence de mettre en veille le TCAS de l'Embraer et de le rendre indétectable par le TCAS du Boeing (comme de tous les autres aéronefs alentours). Les contrôleurs aériens ont détecté la perte de contact radar et ont considéré que l'équipage avait changé de niveau de vol. Malgré plusieurs tentatives de contacts radio infructueux entre les contrôleurs aériens et l'équipage du Legacy, celui-ci a poursuivi sa route jusqu'à entrer en collision avec le 737.

Le 30 juin 2015, un Embraer 170 était en croisière au FL 370 lorsque son transpondeur est tombé en panne⁷⁵. L'équipage ne s'en est pas aperçu et le contrôleur aérien n'a pas perçu la perte de contact radar. Peu après, le contrôleur aérien a été relevé et celui qui a pris la relève a supposé que l'Embraer 170 avait déjà quitté le secteur. Il n'a donc pris aucune mesure pour établir un contact radio avec l'équipage. L'équipage a ensuite fait un compte rendu de position en limite de FIR et le contrôleur aérien lui a transmis une instruction de changement de fréquence, sans chercher à identifier l'avion au radar. Au même moment, dans la FIR adjacente, un contrôleur aérien qui avait détecté au radar primaire un trafic inconnu a transmis à l'équipage d'un Dassault Falcon 900 en palier au FL 370 une information de trafic concernant ce trafic inconnu. Moins d'une minute plus tard, l'équipage de l'Embraer 170 a émis un appel sur la nouvelle fréquence. Le contrôleur n'était pas au courant de ce trafic entrant dans son secteur et, au cours d'échanges radio prolongés, a tenté de vérifier l'indicatif, la position, le niveau de vol de ce trafic. Moins de deux minutes après l'information de trafic, l'équipage du Falcon 900 a signalé qu'il avait croisé un autre avion à proximité et précisé avoir été surpris de ne pas l'avoir vu sur l'écran du TCAS. Une minute plus tard, le contrôleur a demandé à l'équipage de l'Embraer 170 de vérifier son transpondeur. L'équipage a changé de transpondeur et le contact radar a été rétabli, 31 min après la panne du transpondeur. L'enquête menée par l'autorité d'enquête bulgare (NTIB) a montré que la séparation horizontale entre les deux avions avait été de 0,9 NM (voir [Figure 36](#)). Le transpondeur de l'Embraer 170 ne fonctionnant pas, aucune alerte TCAS n'a été générée sur l'un ou l'autre des avions.

⁷³ European Plan for Aviation Safety.

⁷⁴ [Rapport Final de l'autorité d'enquête du Brésil \(CENIPA\) - version anglaise](#)

⁷⁵ [Rapport d'enquête de l'autorité d'enquête bulgare \(AAIU\) - version anglaise](#)



1: Event 1: Loss of transponder

2: Event 2: RA due to self-tracking

3: Event 3: Incorrect altitude

4: Event 4: Testing on the ground

*Figure 36 : perte de séparation en juin 2015
(Source : ACAS II Bulletin n° 23 de juin 2018, publié par Eurocontrol)*

1.19 Techniques d'enquête utiles ou efficaces

Sans objet.

2 ANALYSE

2.1 Introduction

Dans un espace aérien où l'utilisation du transpondeur est obligatoire, l'évolution d'un aéronef progressant sans contact radar en raison d'une panne totale ou partielle du transpondeur actif a une incidence non seulement sur le niveau de sécurité (augmentation du risque de pertes de séparation entre aéronefs et par conséquent de collisions en vol), mais aussi sur la sûreté.

En cas de défaut de fonctionnement, le transpondeur peut détecter l'anomalie lui-même et activer le dispositif d'alerte afin de prévenir l'équipage du dysfonctionnement. La surveillance par les stations radar au sol permet également en cas de dysfonctionnement d'un transpondeur de générer des alertes à l'attention des contrôleurs aériens. Selon l'équipage du Boeing 737 exploité par Albastar, le voyant **ATC FAIL** situé entre les sièges des deux pilotes ne s'est pas allumé pour signaler la défaillance du transpondeur. De leur côté, les deux contrôleurs aériens chargés du secteur d'évolution du Boeing 737-809 n'ont pas perçu les alertes successives qui se sont affichées sur une période d'environ dix secondes et caractéristiques d'un mécanisme de vieillissement de la piste radar. Ils ont ensuite effacé le marqueur piste environ trois minutes après son apparition qui, à partir des autres informations disponibles sur leurs interfaces, permettait de déterminer qu'il y avait eu une perte de suivi de piste radar, et donc probablement une panne de transpondeur du Boeing 737-809.

L'équipage a ainsi poursuivi sa route selon celle prévue au plan de vol sans avoir conscience de la panne de transpondeur. Les contrôleurs aériens du secteur du CRNA Ouest ont, quant à eux, oublié qu'ils avaient ce vol à gérer dans leur secteur et n'ont jamais identifié qu'un vol avait disparu de leur secteur après avoir effacé le marqueur piste. Il est à noter que le TCAS du Boeing 737 exploité par Albastar aurait pu émettre si besoin des avis de trafic et de résolution à l'équipage en fonction des rapprochements avec les aéronefs à proximité disposant d'un transpondeur en fonctionnement, en particulier avec l'Embraer 190 exploité par HOP!. La distance minimale entre les deux avions, alors au même niveau de vol, a été de 2,6 NM, pour une séparation minimale réglementaire de 5 NM. La panne partielle du transpondeur du Boeing 737 ne permettait pas la détection et la poursuite de cet avion par le TCAS de l'Embraer 190 et l'émission d'un avis de résolution par le TCAS du Boeing 737 n'aurait ainsi pas été coordonnée avec le TCAS de l'Embraer 190.

La détection par les contrôleurs militaires du CDC de Cinq-Mars-la-Pile et le message d'information de l'équipage de l'Embraer 190 exploité par HOP! qui a vu passer le Boeing 737 exploité par Albastar devant lui ont, après de multiples coordinations entre les différents centres de contrôle, permis de récupérer le contact radio et radar avec l'équipage du Boeing 737. Celui-ci a pu poursuivre son vol.

L'analyse qui suit porte ainsi sur les éléments suivants :

- l'origine de la panne de transpondeur ;
- les dispositifs pour attirer l'attention des équipages en cas de panne de transpondeur ;
- la gestion de la perte de suivi de piste radar par le binôme de contrôleurs ;
- l'ergonomie et spécifications de certification pour la navigation aérienne ;
- le SGS de la DSNA ;
- les comptes rendus obligatoires de position.

2.2 Origine de la panne de transpondeur et mesures prises

La panne du transpondeur sélectionné par l'équipage lors du vol de l'incident grave provient d'un défaut de fonctionnement d'un composant (transistor) utilisé dans le circuit d'alimentation électrique en courant continu +50 V qui fournit l'énergie nécessaire aux transmissions de messages (messages automatiques *squitters* et réponses) du transpondeur. L'origine de ce défaut est une prise en compte insuffisante de marges relatives à la dissipation thermique du composant choisi lors de la conception du transpondeur (voir §§ 1.6.1.3.5 et 1.6.1.3.6). Ce défaut a eu pour conséquence une absence totale d'émission de la part du transpondeur de *squitters* et de réponses aux interrogations au format mode S. Le transpondeur a cependant continué de fonctionner de manière partielle lors du vol en recevant les messages des stations au sol et des transpondeurs des aéronefs à proximité.

La transmission par le TCAS du Boeing 737 de messages périodiques en liaison montante au format long (voir § 1.9.2), mais aussi les témoignages de l'équipage de cet avion qui a vu des informations de trafic sur les écrans de navigation ND, montre que le logiciel de surveillance automatique du TCAS du Boeing 737 a considéré que son niveau de fonctionnement et de performances n'était pas altéré par le dysfonctionnement du transpondeur qui continuait de lui envoyer les messages Mode S qu'il recevait des aéronefs à proximité. En d'autres termes, malgré sa panne partielle, le transpondeur avait la possibilité en cas de nécessité d'émettre des RA ainsi que des TA sans coordination avec les TCAS des autres avions pour l'établissement de manœuvres d'évitement complémentaires. Les simulations faites par Eurocontrol à partir des trajectoires du Boeing 737 et de l'Embraer 190 ont confirmé les affichages vus au TCAS par l'équipage d'Albastar ainsi que l'absence de nécessité de déclencher un TA ou un RA.

En revanche, les TCAS des aéronefs à proximité du Boeing 737 étaient quant à eux dans l'incapacité de détecter sa présence en raison du défaut d'émission de messages mode S (*squitters* et réponses) par son transpondeur, équivalent à une absence de fonctionnement du transpondeur pour ces aéronefs. C'est pourquoi l'équipage de HOP! a été surpris de voir le Boeing 737 passer devant lui et aussi proche sans qu'il soit affiché au TCAS.

Des pannes similaires de transpondeurs avaient été reportées à Honeywell par plusieurs exploitants ce qui a conduit à la publication d'un service bulletin demandant à changer un composant électronique interne. La publication du service bulletin a eu lieu en août 2023, un mois après l'incident grave, indépendamment de celui-ci (voir § 1.6.1.3.6). À la date de publication de ce rapport, aucun autre retour en service similaire n'a été rapporté à Honeywell.

Le défaut de conception identifié par Honeywell confirme que les démonstrations visant à répondre aux spécifications pour la certification et l'homologation des équipements sont basées sur un certain nombre d'hypothèses acceptées telles que les prévisions des modes de défaillance (effets et probabilités d'occurrence) ou les fiabilités des composants de ces équipements (comme cela a été le cas pour le transistor). Les limites de ces hypothèses ne permettent pas d'établir l'ensemble des risques associés avant la mise en service des équipements et sont souvent identifiées par l'expérience. Pour les transpondeurs, les notifications auprès des équipementiers des exploitants, par l'intermédiaire des équipages et des contrôleurs aériens, mais aussi la surveillance en Europe des fréquences 1 030 et 1 090 MHz par Eurocontrol en tant que gestionnaire de réseau (voir § 1.9.2), facilitent la mise en œuvre rapide et efficace de mesures correctives pour garantir un niveau de sécurité conforme aux exigences de certification applicables.

2.3 Dispositifs pour attirer l'attention des équipages en cas de panne de transpondeur

Dispositifs pour attirer l'attention des équipages en cas de panne de transpondeur

Les examens des transpondeurs du Boeing 737 réalisés en cours d'enquête ont montré que la panne partielle du transpondeur a été détectée par la fonction de surveillance interne du transpondeur qui génère le signal permettant d'allumer le voyant **ATC FAIL** de l'*ATC Control Panel* situé entre les deux sièges de l'équipage. Le fait que les transpondeurs ont été prélevés de l'avion plusieurs vols après celui de l'incident grave et que l'équipage a indiqué ne pas avoir vu le voyant **ATC FAIL** allumé, ne permet cependant pas d'affirmer que ce voyant a bien été allumé lors du vol de l'incident grave.

Que ce voyant ait été allumé ou pas, l'équipage (comme d'autres avant lui, voir §§ 1.17.8.4.3 et 1.18.5) n'a pas eu conscience de la panne partielle du transpondeur. Si la panne du transpondeur avait été totale, le TCAS de l'avion l'aurait également détectée par sa fonction de surveillance interne. Le voyant **ATC FAIL** aurait été allumé et le message TCAS FAIL aurait été affiché au ND, avec une perte d'affichage des trafics à proximité de l'avion. La combinaison de ces dispositifs d'alerte aurait augmenté la probabilité de détection et de gestion de la situation anormale par l'équipage. Dans le cas de l'incident grave de l'EC-NGC, la défaillance partielle du transpondeur n'a possiblement été matérialisée que par l'allumage du voyant **ATC FAIL**.

Par ailleurs, avant d'être transféré vers un autre secteur après la récupération du contact radar, l'équipage du vol LAV4651 a été informé qu'il y avait eu une perte de contact radar pendant assez longtemps. Il n'a pas compris les échanges en français entre le PCR du secteur du CRNA Sud-Ouest et l'équipage du vol AFR21YB à propos de la perte de séparation et de la perte de contact radar du Boeing 737. L'équipage a ensuite poursuivi sa route jusqu'à destination. L'équipage n'a pas reporté au CRM la panne de transpondeur à l'issue du vol. Cette absence peut s'expliquer par le fait que l'équipage n'a pas vu si le voyant **ATC FAIL** avait été allumé en vol et que les vérifications au sol du TCAS et du transpondeur associé avant le vol suivant (le transpondeur 1 et non celui utilisé lors du vol de l'incident grave) n'ont rien révélé. La fourniture limitée transmise par le PCR à l'équipage du vol LAV4651 sur l'ampleur de la situation passée a également pu limiter la conscience du risque et des conséquences associés à la panne de transpondeur lors du vol.

Les spécifications actuelles de certification relatives aux dispositifs pour attirer l'attention des équipages (CS 25.1322, voir § 1.17.1.3) demandent de fournir des éléments d'alerte par l'intermédiaire d'au moins deux sens différents, en combinant des alertes sonores, visuelles ou tactiles. Les éléments visuels pour attirer l'attention devraient en particulier se trouver dans le champ de vision principal des pilotes. À partir de ces spécifications et si l'on considère que le voyant **ATC FAIL** s'est allumé lors du vol, l'absence de détection de la panne partielle du transpondeur peut s'expliquer par :

- l'emplacement de ce voyant, entre les sièges des deux pilotes, et donc hors du champ de vision principal des deux pilotes, qui nécessite un mouvement de tête et une action volontaire pour envisager une détection du voyant **ATC FAIL** ;
- l'absence d'association du voyant d'alerte **ATC FAIL** à un autre signal.

L'installation du transpondeur TRA 100B dans les Boeing 737 n'a pas été considérée comme une modification majeure nécessitant une évolution de la base de certification de ces avions avec une prise en compte des nouvelles exigences telles que celles relatives aux dispositifs pour alerter les équipages. La circulaire de la FAA (autorité responsable de la certification des avions Boeing) dont le but est de guider les détenteurs de certificats de type lors du processus de certification des

installations de TCAS II et de transpondeurs mode S à bord des aéronefs (voir § 1.17.1.2), recommande en particulier que les alertes en cas de défaillance de transpondeur soient dans le champ de vision principal des pilotes (voir § 1.17.1.3) et associées avec le système principal d'avertissement et d'alarme de l'aéronef. Ces dispositions correspondent à des AMC et ne concernent que les « nouvelles installations », pour les aéronefs qui ne sont pas déjà équipés de transpondeurs mode S ou de TCAS II ou nouvellement conçus.

À la date de publication du rapport, l'installation d'un nouveau type de transpondeur ne constitue pas une modification faisant l'objet d'un respect des exigences de certification applicables à la date de la demande de cette modification ou celles entrées en vigueur ultérieurement si l'organisme de conception le souhaite (voir § 1.17.1.2, en particulier celles relatives aux dispositifs pour attirer l'attention des équipages (CS 25.1322, voir § 1.17.1.3). La circulaire de la FAA indique aussi que la conformité à de nouvelles exigences lors de l'installation de nouveaux types de transpondeurs, en particulier celles relatives aux dispositifs pour attirer l'attention des équipages, peut être complexe du fait des limitations des dispositifs d'alerte déjà implantés dans les aéronefs, d'éventuelles fonctions à ajouter ainsi que de considérations économiques.

Les spécifications européennes de certification relatives à l'installation et à la certification des transpondeurs (CS-ACNS, voir § 1.17.1.2) sont applicables aux nouveaux aéronefs et à ceux qui font l'objet de modifications qui exigent d'appliquer ces spécifications. Elles ne sont pas applicables en cas d'installation de nouveau type de transpondeur. Elles exigent que l'absence de fonctionnement ou la défaillance d'un transpondeur soient indiquées, sans délai et sans que l'équipage ait à intervenir. Il n'existe aucune autre précision sur la manière d'avertir un équipage en cas d'absence de fonctionnement ou de défaillance d'un transpondeur.

L'incident grave survenu le 21 juillet 2023, comme d'autres (voir §§ 1.17.8.4.3 et 1.18.5), témoigne du risque de collision en vol ou avec le sol en raison d'un dysfonctionnement de transpondeur transmettant des informations erronées. Ce risque est en cours d'évaluation par l'AESA dans le cadre des questions de sécurité du plan de sécurité européen (EPAS) relatives à la navigation aérienne (voir § 1.9.5).

Les exigences relatives aux dispositifs pour attirer l'attention des équipages en cas de panne de transpondeur font l'objet d'une recommandation de sécurité (voir § 5.1).

2.4 Gestion de la perte de suivi de piste radar par les contrôleurs aériens

2.4.1 Le contexte au moment de la perte de suivi de piste radar

Plusieurs messages et symboles, relatifs à des mises à jour d'informations de la piste radar du vol LAV4651 (voir § 1.17.3.7) et censés attirer l'attention des contrôleurs aériens, ont été affichés sur l'étiquette de ce vol en raison de l'absence de réponses du transpondeur de l'avion aux interrogations émises par les stations radar au sol.

Ces alertes n'ont pas été perçues par le binôme de contrôleurs chargé du secteur d'évolution de l'avion. De même, le marqueur piste et la fenêtre vols sans piste, caractéristiques d'une perte de suivi de piste radar (voir §§ 1.17.3.6 et 1.17.3.7), n'ont pas été perçus dans un premier temps. L'ensemble de ces alertes est apparu sur les écrans du binôme de contrôleurs au cours d'une période comprise entre quatre et cinq minutes durant laquelle aucun message n'a été transmis sur la fréquence radio et aucun mouvement de souris des positions de contrôle du binôme n'a été enregistré.

Cette absence de message et de mouvement de souris est caractéristique d'une charge de travail faible, confirmée par les deux contrôleurs aériens du secteur ainsi que par la charge de trafic du secteur. Cette période de faible charge de travail est intervenue après plusieurs séquences denses pour le PCR depuis sa prise de service à 4 h 30.

La période de faible charge de travail a probablement eu pour effet de réduire le niveau de vigilance du binôme et de dégrader leur tâche de surveillance, dont le tour de secteur. Les deux contrôleurs l'ont confirmé et ont précisé avoir discuté pendant cette période de faible charge de travail. Cependant, en l'absence d'enregistrement du fond sonore aux postes de travail des contrôleurs aériens, il n'a pas été possible d'évaluer précisément l'activité du binôme pendant cette période de faible charge de travail. Cette absence d'enregistrement n'a également pas permis d'identifier d'éventuels indicateurs de comportements pouvant affecter l'activité humaine comme la fatigue par exemple : le PCR s'était levé tôt après environ 4 heures 30 à 5 heures de sommeil, terminant une période de six jours de repos (situation qui peut faciliter les endormissements tardifs et rendre difficile le réveil matinal). Il avait en outre commencé sa vacation avec des séquences chargées en trafic.

La DGAC a mis à jour un arrêté (voir § 1.9.6) qui prévoit que la DSNA équipe ses organismes de dispositifs d'enregistrement des communications de fond et de l'environnement sonore à partir de février 2026, en application de l'exigence ATS.OR.460 du règlement (UE) 2017/373.

2.4.2 Prise en compte des alertes relatives au vol LAV4651

Lorsque le PCR a reçu un message d'un équipage après la période sans activité de plus de quatre minutes, aucun des deux contrôleurs de la position n'avait détecté le mécanisme de vieillissement de la piste du LAV4651 ni la perte de piste qui a suivi. Le marqueur piste associé au LAV4651 a cependant été immédiatement effacé de manière réflexe d'un simple clic de souris par le PCR dès qu'il a eu des actions de gestion du secteur à faire. Le PCR a indiqué qu'il avait oublié la présence du vol LAV4651, caractéristique de l'événement redouté « disparition du vol de la représentation mentale des contrôleurs » identifié dans le dossier de sécurité de l'environnement électronique ERATO (et de manière similaire à la situation problématique « perte de conscience d'un vol concernant le secteur » du dossier de sécurité de 4-FLIGHT). Le PCO a également effacé le marqueur piste quelques instants plus tard. Le PCR a ensuite levé la contrainte de Mach transmise au vol EFW3HY (voir § 1.1.2) qui avait été établie au préalable pour le séparer du vol LAV4651 dans le plan horizontal. Cette action tend à confirmer que le PCR avait oublié le LAV4651 dans une période de faible charge de travail avec un niveau de vigilance réduit. Cette action constituait pour le PCR un moyen supplémentaire de détecter la perte de contact radar du vol LAV4651, en l'amenant à s'interroger sur les raisons de la contrainte de Mach affichée ainsi que sur la particularisation sur l'étiquette sur le vol concerné.

Aucun des deux contrôleurs n'a cherché à analyser ni vérifier à partir des informations disponibles à l'écran si le marqueur piste était associé à un vol en fréquence. De même, chacun des contrôleurs a effacé le marqueur piste sans coordination préalable. La fenêtre vols sans piste a été vue par le PCR qui l'a immédiatement déplacée sur un côté de l'écran, sans prendre en compte les informations sur le LAV4651 qu'elle contenait. Cette fenêtre, affichée également quinze minutes après la panne du transpondeur sur les écrans du binôme de contrôleurs du secteur RL3 du CRNA Sud-Ouest, a également été déplacée par ces contrôleurs. Le PCO de ce secteur a considéré que le vol était en retard et ni le PCR ni le PCO n'ont cherché à se coordonner avec le secteur QXI du CRNA Ouest pour en savoir plus.

2.5 Ergonomie et spécifications de certification pour la navigation aérienne

L'incident grave, les événements similaires de pannes de transpondeur (voir § 1.17.8.4.3) ou les études d'Eurocontrol (voir §§ 1.9.4 et 1.9.5) témoignent du risque d'absence de perception ou de prise en compte par les contrôleurs aériens des dispositifs d'alerte relatifs aux vieillissements de piste. Ce risque a été identifié dans les analyses de sécurité établies lors de la mise en œuvre des environnements électroniques à la DSNA (EEE et 4-FLIGHT). Il est également à noter que le binôme de contrôleurs du secteur QXI du CRNA Ouest n'a pas détecté ou réagi à l'affichage pendant plus de quatre minutes du symbole relatif au problème de transfert par liaison CPDLC et à celui de la fenêtre « vols particuliers » (voir § 1.17.3.7).

L'affichage de marqueurs piste pour des vols qui ne concernent pas le secteur ou pour des raisons qui ne présentent pas de réelles menaces résulte principalement du mécanisme de visualisation de l'environnement électronique ERATO, de la matérialisation de certains flux ainsi que des fonctionnalités de zoom sur les positions de contrôle. La fréquence de ces affichages de marqueurs piste explique l'absence de lever de doute et de mise en œuvre d'un circuit visuel comme prévu par les méthodes de travail pour interpréter les informations présentées aux contrôleurs aériens.

Le fait d'associer systématiquement l'affichage d'un marqueur piste à une situation connue et sans réelle menace tend à altérer le sens et à réduire la pertinence des tâches censées être mises en œuvre. En d'autres termes, la reconnaissance globale de situations fréquentes et connues peut générer certaines habitudes et dérives qui conduisent à des réponses ou des actions différentes des attentes établies (méthodes de travail par exemple) et de ce qui est enseigné en formation. De manière générale, les habitudes d'effacement des marqueurs piste sans prise en compte des autres informations à disposition renvoient à l'interprétation erronée possible d'alertes qui, en raison de leur apparition fréquente, sont perçues comme des alertes de nuisance ou des fausses alertes. Ces habitudes mettent aussi en évidence un risque latent de normalisation des écarts de traitement des alertes. Ainsi, la gestion d'une situation plus rare et plus critique, mais pour laquelle l'affichage est le même (affichage de marqueur piste en raison d'une panne de transpondeur), peut être plus difficile. Les effacements de marqueurs piste sont par ailleurs favorisés par la simplicité requise pour le faire (un simple clic de souris), sans avoir à confirmer l'effacement ou se coordonner avec son binôme.

Les contrôleurs avaient cependant reçu une formation théorique et pratique sur les pannes de transpondeur quelques mois avant l'incident grave (voir §§ 1.5.3 et 1.17.5.5). La formation théorique rappelait les actions à entreprendre en cas de panne de transpondeur, presupposant que la panne avait été identifiée au préalable. La faible fréquence d'exposition à ces formations ainsi que celle des REX, tels que celui transmis aux contrôleurs aériens du CRNA Ouest après l'événement similaire survenu en juin 2023 (voir § 1.17.8.4.3), tendent à montrer les limites de leur efficacité.

Les dispositifs pour attirer l'attention des contrôleurs aériens font l'objet d'une recommandation de sécurité (voir § 5.2).

2.6 Le SGS de la DSNA

2.6.1 Identification et évaluation du risque

Dans le cadre de la mise en place de son SGS, la DSNA a établi des procédures visant à identifier les risques de sécurité en lien avec ses activités, telles que la réalisation d'études de sécurité pour les changements apportés aux systèmes fonctionnels ou l'analyse des événements de sécurité.

L'absence de détection, de perception ou de prise en compte par un contrôleur aérien d'un dispositif d'alerte lié à la non-conformité d'un vol est un risque qui a en particulier été listé lors de l'étude de sécurité avant la mise en service de l'environnement électronique ERATO. Comme le mentionne cette étude, l'effacement d'un marqueur piste à l'écran peut faire disparaître un vol de la mémoire du contrôleur. Ce risque est par ailleurs confirmé au travers de l'analyse des trois événements de sécurité rapportés par la DSNA (voir § 1.17.8.4.3).

La DSNA n'a pas mis en place de moyens suffisants lui permettant d'évaluer les risques de manière exhaustive et fiable. En particulier, la connaissance limitée et insuffisante de la fréquence de situations à risque, telles que l'effacement de marqueurs piste par un binôme de contrôleurs sans analyse préalable de la situation, sans prise en compte des informations à leur disposition et sans coordination entre le PCR et le PCO, ne permet pas à la DSNA, dans le cadre de son SGS, d'évaluer de manière proactive les risques associés et de proposer des stratégies de réponses appropriées.

Cette évaluation repose principalement sur la notification d'événements par les agents opérationnels. Cette notification, ou report, est obligatoire pour les événements de sécurité listés dans la règlementation européenne (voir § 1.17.8.4.1). Toutefois, l'obligation dépend parfois de l'appréciation du contrôleur aérien du niveau de risque. De manière générale, l'utilisation seule de la méthode de report n'est pas suffisante pour détecter d'éventuelles dérives ou écarts dans l'application des méthodes de travail ou des procédures opérationnelles. Par exemple, elle ne permet pas de quantifier l'ensemble des cas de traitement erroné ou d'absence de détection des dispositifs d'alerte, tels que les marqueurs piste et les fenêtres vols sans piste, dans l'utilisation quotidienne de l'environnement électronique ERATO. On note que les trois événements de sécurité reportés par la DSNA ont eu pour conséquence une perte de piste radar pendant plus de quinze minutes.

Différentes méthodes et activités autres que le report d'événements peuvent être mis en place pour faciliter l'identification et l'évaluation des risques. Aussi, la DSNA s'est engagée, en particulier à partir d'une recommandation de sécurité du BEA en 2024 (voir § 1.17.8.5.2), à identifier les besoins et objectifs de l'évaluation du travail réel sur position des contrôleurs et à définir les ressources et l'organisation devant permettre à la DSNA une mise en œuvre de façon pérenne dans le cadre du SGS.

2.6.2 Atténuation et réduction du risque, évaluation de l'efficacité

Lors des études de sécurité qu'elle conduit pour les changements apportés au système fonctionnel, la DSNA définit des Moyens en Réductions de Risques (MRR) pour les situations à risque identifiées. Les procédures de la DSNA prévoient que l'efficacité des MRR est évaluée lors d'une phase postérieure à la mise en service du changement, souvent de l'ordre de 6 à 12 mois. Des points de vigilance (ou critères de suivi, voir § 1.17.8.3.3) sont définis et surveillés sur la base des reports d'événements par les agents opérationnels. Ces points de vigilance ne semblent pas couvrir systématiquement l'ensemble des MRR identifiés, comme le montre ceux identifiés par la DSNA dans l'étude de sécurité EEE.

En ce qui concerne les événements de sécurité qui ont été reportés, leur analyse est tout d'abord réalisée par les services locaux de la DSNA. Ces analyses peuvent aboutir à des mesures locales. Ne font l'objet d'une analyse au niveau national de la DSNA que les événements dont les éventuelles conséquences (« *dysfonctionnement navigation aérienne* ») sont considérées comme graves (« *très important* ») (voir § 1.17.8.4). Ces événements sont examinés lors d'une instance nationale pouvant se tenir plusieurs mois après l'événement. Des actions attribuées à des entités locales ou nationales de la DSNA sont ensuite décidées puis suivies lors d'une instance de pilotage (COPIL ITES) se réunissant deux fois par an. Ce mode de fonctionnement ne semble pas garantir un avancement et un suivi efficaces et continus des mesures prises par la DSNA, aussi bien celles issues des analyses des événements que les MRR définis dans les études de sécurité. La DSNA a d'ailleurs décidé en juin 2025 de mettre en place un comité de pilotage chargé du suivi des différentes actions d'amélioration de la sécurité de la DSNA.

Par ailleurs, sous réserve que la DSNA ait décidé d'effectuer une analyse nationale de l'événement, la DSNA indique que l'ITES est une instance prévue notamment pour évaluer l'efficacité des MRR existants. Cependant, les comptes rendus n'établissent pas de lien explicite avec ces MRR. Comme la DSNA l'a souligné dans un de ces comptes rendus, il semble « difficile de faire le lien entre les études de sécurité et les événements », « entre les scénarios initialement imaginés et ce qui se produit dans la réalité ».

Les événements de sécurité ayant fait l'objet d'un traitement inadapté des marqueurs piste et de la fenêtre vols sans piste, connus par la DSNA, et les mesures de sécurité qui en ont découlé, ne sont pas mentionnés dans le compte rendu de l'ITES, ce qui questionne la prise en compte globale des risques. En l'absence de moyens permettant de recenser la fréquence des cas de traitement erroné ou d'absence de détection des dispositifs d'alerte (voir § 2.6.1) et considérant que la DSNA n'envisage plus d'évolutions de l'environnement électronique ERATO qui a vocation à être remplacé, la prise en compte des risques associés restreint davantage les mesures prises à des retours d'expérience ou des formations sur l'application des méthodes de travail. L'efficacité de ces mesures ne semble par ailleurs pas questionnée.

2.6.3 Cartographie des risques

La DSNA n'a pas développé de modèle national de représentation des risques sur lequel pourrait s'appuyer un processus global de gestion des risques. La DSNA a élaboré une cartographie sommaire des risques en 2010 qui définit une liste succincte d'« événements indésirables » et d'« événements ultimes ». Elle ne mentionne pas les différents risques identifiés au travers des processus du SGS, et les mesures de prévention ou d'atténuation associées. De plus, elle n'est pas mise à jour sur la base du retour d'expérience et ne sert pas de support à l'analyse des événements ou aux études de risques préalables à un changement. Cette absence de synthèse nationale ne permet pas à la DSNA d'évaluer et de questionner l'efficacité des mesures existantes d'atténuation des risques. Elle ne permet pas non plus d'avoir une analyse cohérente et globale des risques au niveau national.

La gestion globale des risques de sécurité par la DSNA fait l'objet d'une recommandation de sécurité (voir § 5.3).

2.7 Les comptes rendus de position obligatoire

La réglementation prévoit que les équipages reportent leur position au passage des points de compte rendu obligatoire de position. L'équipage du vol LAV4651 ne l'a pas fait au passage du point BALAN ce qui n'a pas permis au PCR de se rendre compte de la perte du plot radar de ce vol sur son écran, après l'effacement du marqueur piste qui s'est affiché en raison de la panne du transpondeur. Un appel de la part de l'équipage au passage de BALAN aurait permis, avec la récupération probable de la piste radar à l'écran, de demander à l'équipage de contacter la fréquence du secteur suivant, en l'occurrence le secteur RL3 du CRNA Sud-Ouest dans lequel l'avion a évolué sans contacts radar et radio avant la perte de séparation avec le vol AFR21YB et la reprise de contact radio sur la fréquence de détresse.

Cette situation, associée aux témoignages de pilotes de ligne, semble montrer que la barrière de sécurité que peuvent constituer les points de compte rendu obligatoire de position est devenue obsolète. Les comptes rendus de position constituent cependant d'après l'étude menée par Eurocontrol en 2014 (voir § 1.9.5) un moyen efficace de détection d'un dysfonctionnement de transpondeur.

L'utilisation en croisière des systèmes embarqués de navigation qui ne reprennent pas les légendes officielles des points significatifs renseignés sur les cartes ainsi que l'augmentation du trafic qui pourrait tendre à saturer les fréquences ont pu conduire naturellement à ne plus reporter sa position systématiquement aux points de compte rendu obligatoire de position.

Les comptes rendus obligatoires de position font l'objet d'une recommandation de sécurité (voir § 5.4).

3 CONCLUSIONS

3.1 Faits établis par l'enquête

- Le transpondeur du Boeing 737-809 exploité par Albastar et immatriculé EC-NGC, vol LAV4651, a subi une défaillance en croisière qui n'a pas été détectée par l'équipage.
- La défaillance du transpondeur a conduit à une perte de poursuite et de corrélation de la piste radar qui n'a pas été détectée par les contrôleurs aériens chargés du secteur de contrôle où évoluait le vol LAV4651.
- Le voyant **ATC FAIL** au niveau de l'*ATC Control Panel*, dispositif pour attirer l'attention des équipages des avions Boeing 737-809 en cas de dysfonctionnement du transpondeur, n'est pas placé dans le champ de vision principal des pilotes. Ce dispositif est conforme à toutes les exigences de certifications applicables au Boeing 737-809 au moment de la conception de l'avion.
- Les marqueurs piste affichés sur les écrans de la position de contrôle du secteur où évoluait le vol LAV4651 au moment du dysfonctionnement du transpondeur ont été effacés par les contrôleurs aériens de la position, sans coordination et sans analyse des autres informations à leur disposition sur leurs interfaces.
- Les deux contrôleurs aériens du secteur où évoluait le vol LAV4651 au moment de la défaillance du transpondeur ont perdu la conscience de la présence de ce vol à l'intérieur de leur secteur de contrôle et n'ont plus assuré la fourniture des services de la circulation aérienne.
- Les marqueurs piste affichés sur les écrans des contrôleurs peuvent être effacés sans analyse approfondie de la situation, par habitude, en raison d'un affichage identique et plus fréquent de marqueurs piste pour des situations dont le niveau de criticité est souvent faible.
- L'équipage du vol LAV4651 a poursuivi sa route selon celle du plan de vol après avoir passé le point de compte rendu de position obligatoire qui avait été transmis par le contrôleur aérien lors de son instruction de route directe vers ce point.
- L'équipage du vol LAV4651 est entré dans l'espace aérien d'un autre CRNA sans contact radio avec les contrôleurs aériens du secteur de contrôle associé.
- Le TCAS du vol LAV4651 était en mesure, malgré le dysfonctionnement du transpondeur de l'avion, d'émettre des avis de trafic et de résolution à destination de l'équipage, sans coordination possible cependant avec les TCAS des aéronefs à proximité.
- L'équipage du vol LAV4651 a vu sur ses écrans de navigation la présence d'un trafic à proximité.
- Le transpondeur et le TCAS de l'Embraer 190 exploité par Hop ! et immatriculé F_HBLD, vol AFR21YB, comme les autres aéronefs qui auraient éventuellement été à proximité, ne pouvaient pas recevoir d'information du transpondeur du Boeing 737 et ne pouvaient ainsi ni le détecter ni émettre d'avis de trafic ou de résolution.
- L'équipage de l'Embraer 190 a vu le vol LAV4651 passer devant lui au même niveau de vol et sans qu'il soit affiché sur les écrans par son TCAS.
- La séparation minimale entre les deux avions qui évoluaient au même niveau de vol a été de 2,6 NM pour une séparation minimale requise de 5 NM.
- Les contrôleurs aériens militaires du CDC de Cinq-Mars-la Pile ont détecté visuellement sur leur écran par l'intermédiaire du radar primaire, l'absence de code transpondeur du Boeing 737-809 lorsque celui-ci s'approchait d'une Zone réservée temporaire (ZRT).
- Après de nombreuses coordinations téléphoniques entre le CRNA Ouest, le CRNA Sud-Ouest et le CDC de Cinq-Mars-la Pile, les contacts radio puis radar ont été rétablis.

- L'absence d'enregistrement de l'environnement sonore aux postes de travail des contrôleurs aériens n'a pas permis d'analyser de manière complète et précise leur activité avant et après la perte de suivi de piste radar.
- La poursuite des vols du Boeing 737 n'a pas permis d'obtenir l'enregistrement sonore du poste de pilotage et ainsi d'analyser de manière complète et précise l'activité de l'équipage avant et après le dysfonctionnement du transpondeur.
- L'origine de la panne du transpondeur était connue du constructeur Honeywell qui a émis un service bulletin, indépendamment de l'incident grave, permettant de corriger la défaillance survenue lors de ce vol.
- L'analyse et le suivi des événements de sécurité dans le cadre du SGS de la DSNA ne corrélaient pas de manière explicite les événements en service, connus depuis au moins 2017 avec ceux redoutés, identifiés dans les dossiers de sécurité établis en vue de la mise en œuvre de l'environnement électronique ERATO et 4-FLIGHT.
- La DSNA n'a pas développé de modèle national de représentation des risques sur lequel pourrait s'appuyer un processus global de gestion des risques.

3.2 Facteurs contributifs

En croisière au FL 350, le transpondeur du Boeing 737-809 exploité par Albastar, vol LAV4651, a subi une défaillance qui a conduit à la fois à l'impossibilité de le détecter par les aéronefs alentours ainsi qu'à une perte de poursuite et de suivi de la piste radar corrélée. Les contrôleurs aériens du CRNA Ouest en charge du secteur d'évolution de l'avion n'ont pas perçu la perte de contact radar matérialisée par différents dispositifs d'alerte. Parmi ceux-ci, un marqueur piste qu'ils ont effacé sans analyse préalable des informations à leur disposition. Cette action a eu pour conséquence une perte de conscience du vol dans le secteur de contrôle dont ils avaient la charge. L'équipage, de son côté, n'a pas détecté la défaillance du transpondeur et a poursuivi sa route selon celle prévue au plan de vol, sans indiquer sa position à la radio au point de report obligatoire. Il est entré dans l'espace aérien du CRNA Sud-Ouest sans contact radio ni radar. Quelques minutes plus tard, l'avion a croisé la route d'un Embraer 190, à 2,6 NM et au même niveau de vol. L'équipage de cet avion a vu passer le Boeing 737 devant lui, sans information TCAS affichée. L'équipage du Boeing 737 a vu quant à lui sur ses écrans un losange blanc signalant la présence de l'Embraer 190 et caractéristique d'une absence de risque de collision.

La récupération des contacts radio et radar avec le vol LAV4651 a été permise par l'intermédiaire de l'équipage de l'Embraer 190, la détection visuelle et sans recherche ciblée par les contrôleurs militaires du CDC de Cinq-Marc-la Pile ainsi que les nombreuses coordinations téléphoniques entre le CRNA Sud-Ouest, le CRNA Ouest et le CDC.

Au-delà de ces constats, la perte de séparation en croisière entre les deux avions s'explique par un ensemble de dispositions censées réduire le risque d'erreurs qui n'ont pas fonctionné comme attendu ni permis de garantir la sécurité des vols.

Ont ainsi pu contribuer au suivi d'une trajectoire conflictuelle entre les deux avions en espace RVSM sans contact radar :

- la prise en compte, lors de la conception du modèle de transpondeur, de marges insuffisantes relatives aux exigences de dissipation thermique d'un composant du transpondeur ;

- un dispositif pour attirer l'attention de l'équipage et l'informer d'une absence de fonctionnement ou d'une défaillance de transpondeur qui repose uniquement sur un voyant lumineux ambre placé hors du champ de vision principal des deux pilotes, qui nécessite un mouvement volontaire de tête pour percevoir son allumage ;
- des spécifications insuffisantes de certification relatives aux indications d'absence de fonctionnement ou de défaillance de transpondeurs et en vigueur au moment de la certification du Boeing 737-809 ;
- l'affichage, pour des niveaux de criticité différents, d'alertes identiques (« marqueurs piste ») pour attirer l'attention des contrôleurs aériens ;
- la routine développée à partir de la fréquence d'apparition de « marqueurs piste » liés à des situations non critiques, pouvant conduire les contrôleurs aériens à les effacer sans analyse globale des informations à disposition sur leur écran ;
- le traitement des événements de sécurité par la DSNA qui ne permet pas d'identifier l'ensemble des menaces et des situations à risque en vue d'établir des mesures d'atténuation techniques et opérationnelles ;
- les limites des points de compte rendu obligatoire de position prévu par les textes règlementaires.

4 MESURES PRISES

4.1 DSNA

Consciente de difficultés dans le suivi de ses différentes actions d'amélioration de la sécurité, dont font partie l'ensemble des actions prises dans le cadre d'analyse d'événements de sécurité, la DSNA a indiqué avoir mis en place depuis juin 2025 un Comité de pilotage dédié à ce suivi, prévu de se réunir deux fois par an.

La gestion des Expressions de Besoins (EB) des centres opérationnels vers la DTI fait l'objet de nombreuses réflexions afin de réformer le processus actuel obsolète et jugé inefficace par la DSNA. La DSNA prévoit ainsi d'améliorer le pilotage du processus au niveau national et les étapes de décision, validation, et suivi de la mise en œuvre des EB. Il est aussi question d'effectuer un suivi continu des événements de sécurité au regard des EB concernées, ce qui, en d'autres termes, permettra d'évaluer la pertinence et l'efficacité des actions mises en œuvre après une EB.

4.2 HONEYWELL

Des pannes similaires de transpondeurs similaires à celles du transpondeur qui équipait le Boeing 737-809 exploité par Albastar avaient été reportées à Honeywell par plusieurs exploitants avant l'incident survenu le 21 juillet 2023. L'analyse et les examens conduits par Honeywell ont conduit à la publication d'un bulletin de service demandant à changer un composant électronique interne. La publication du bulletin de service a eu lieu en août 2023, un mois après l'incident grave, indépendamment de l'incident. À la date de publication de ce rapport, aucun autre retour en service similaire n'a été rapporté à Honeywell.

5 RECOMMANDATIONS DE SECURITE

Rappel : conformément aux dispositions de l'article 17.3 du règlement n° 996/2010 du Parlement européen et du Conseil du 20 octobre 2010 sur les enquêtes et la prévention des accidents et des incidents dans l'aviation civile, une recommandation de sécurité ne constitue en aucun cas une présomption de faute ou de responsabilité dans un accident, un incident grave ou un incident. Les destinataires des recommandations de sécurité rendent compte à l'autorité responsable des enquêtes de sécurité qui les a émises, des mesures prises ou à l'étude pour assurer leur mise en œuvre, dans les conditions prévues par l'article 18 du règlement précité.

5.1 Spécifications de certification des systèmes de communication, navigation et surveillance (CS-ACNS)

L'enquête n'a pas permis de déterminer si le voyant permettant d'alerter l'équipage de la défaillance du transpondeur s'était allumé lors du vol LAV4651. Les examens ont cependant montré qu'il s'était allumé à plusieurs reprises avant le remplacement du transpondeur quatre jours après le vol de l'incident grave. Plusieurs occurrences (voir §§ 1.17.8.4.3 et 1.18.5) tendent également à montrer que les équipages ne détectent pas nécessairement la défaillance d'un transpondeur en vol. Le risque de collision en vol en cas de défaillance d'un transpondeur non détectée par un équipage est accru en raison de l'évolution dans les mêmes espaces aériens d'aéronefs relevant de critères de certification différents.

À l'exception des nouveaux types d'avions de transport de masse maximale au décollage supérieure à 5 700 kg ou à la demande des concepteurs en cas de modification apportée à un aéronef, les spécifications de certification actuelles n'exigent pas d'attirer l'attention des pilotes par l'intermédiaire d'au moins deux canaux différents en cas de défaillance d'un transpondeur. Une circulaire de la FAA recommande que la défaillance d'un transpondeur soit annoncée en jaune/ambre dans le champ de vision principal des pilotes et que ces alertes soient associées avec le système principal d'avertissement et d'alarme de l'aéronef. Ces recommandations ne concernent que les aéronefs qui ne sont pas encore équipés de transpondeur ou qui ne disposent pas encore de certificat de type. De son côté, l'AESA, dans les CS-ACNS, demande que l'absence de fonctionnement ou la défaillance du transpondeur soit indiquée sans délai et sans que l'équipage ait à intervenir (exigence CS-ACNS.D.ELS.030).

En conséquence, le BEA recommande que :

- considérant le risque de collision en cas de dysfonctionnement de transpondeur ;
- considérant le risque d'absence de détection par les équipages d'un dysfonctionnement de transpondeur ;
- considérant que les spécifications de certification relatives aux indications d'absence de fonctionnement ou de défaillance de transpondeurs et en vigueur au moment de la certification du Boeing 737-809 sont insuffisantes ;
- considérant que des aéronefs relevant de critères de certification différents évoluent dans les mêmes espaces ;
- considérant que les spécifications de certification relatives aux dispositifs pour alerter les équipages des avions de transport de masse maximale au décollage supérieure à 5 700 kg (CS 25.1322) exigent que l'attention des équipages soit attirée par l'intermédiaire de deux sens différents ;
- considérant l'absence de transposition aux autres catégories d'aéronefs des exigences relatives aux dispositifs pour attirer l'attention des équipages pour les avions de transport (CS 25.1322) ;

- considérant que la circulaire⁷⁶ de la FAA pour guider les détenteurs de certificats de type lors du processus de certification des installations de TCAS II et de transpondeurs mode S à bord des aéronefs préconise que la défaillance d'un transpondeur ou d'un TCAS devrait, pour respecter les exigences des dispositifs pour attirer l'attention des équipages, être non seulement annoncée en jaune/ambre dans le champ de vision principal des pilotes, mais aussi associée avec le système principal d'avertissement et d'alarme de l'aéronef ;

L'AESA détaille, dans les spécifications de certification CS-ACNS, les dispositifs d'alerte nécessaires dans les postes de pilotage, pour faciliter la détection par les pilotes d'un dysfonctionnement de transpondeur, quels que soient les critères de certification des aéronefs (CS 25 et CS 23 par exemple). [Recommandation FRAN-2025-009]

5.2 Dispositifs pour attirer l'attention des contrôleurs aériens

L'environnement électronique ERATO en place au CRNA Ouest et au CRNA Sud-Ouest permet l'affichage d'alertes identiques pour des niveaux différents de criticité. Les informations à disposition des contrôleurs sur les interfaces de leur position de contrôle nécessitent une analyse pour identifier l'origine et les raisons d'affichage de ces alertes.

Avec 4-FLIGHT, les dispositifs utilisés pour les pertes de suivi de piste radar sont différents. Il n'existe par ailleurs aucune spécification détaillée relative aux interfaces homme-machine des systèmes ATM/ANS. Des études ont cependant été menées au sujet de la conception de ces systèmes, dans le but d'améliorer la détection et la prise en compte de ces alertes par les contrôleurs aériens. Le plan de sécurité européen (EPAS) et les études conduites par Eurocontrol ont également identifié que les éléments indispensables pour garantir la détection d'un dysfonctionnement de transpondeur par un contrôleur aérien, ainsi que le traitement efficace et sans délai de ce type de dysfonctionnement, reposaient sur des mécanismes tels que des procédures ou une ergonomie adaptée.

En conséquence, le BEA recommande que :

- Considérant l'étude d'Eurocontrol qui indique que la détection d'un dysfonctionnement de transpondeur par un contrôleur aérien ainsi que le traitement efficace et sans délai de ce type de dysfonctionnement reposent sur des mécanismes tels que des procédures ou une ergonomie adaptée ;
- Considérant qu'en Europe, les spécifications détaillées et les moyens acceptables de conformité relatifs à l'interface homme-machine des systèmes ATM/ANS ne sont pas suffisamment détaillés, probablement en raison de leur mise en place récente ;
- Considérant le risque d'erreur lorsque des dispositifs identiques pour attirer l'attention des contrôleurs aériens sont utilisés pour des situations présentant des niveaux différents de criticité ;
- Considérant l'influence des activités de gestion du trafic, les caractéristiques des dispositifs d'alerte ou la charge de travail par exemple sur l'activité globale des contrôleurs aériens ;
- Considérant l'équilibre à trouver entre la capacité à attirer l'attention et l'importance de l'activité en cours d'un contrôleur aérien ;

L'AESA, dans le cadre de l'action RMT.0744 du plan de sécurité européen (EPAS), élabore des spécifications détaillées pour les équipements ATM/ANS au sol dans le but d'améliorer les dispositifs d'alerte relatifs aux pertes de piste radar, faciliter la détection de ces pertes et ainsi permettre aux contrôleurs de prendre les mesures appropriées.

[Recommandation FRAN-2025-010]

⁷⁶ [Circulaire 20-151C](#)

5.3 Gestion globale des risques de sécurité par la DSNA

L'efficacité d'un système de gestion de la sécurité nécessite qu'il soit fondé sur une démarche globale et harmonisée, à la fois proactive et réactive, associant l'ensemble des composantes de l'organisation, qu'elles soient techniques ou opérationnelles. Les processus de gestion de risques de sécurité devraient permettre une évaluation précise et exhaustive des risques identifiés, condition indispensable pour définir des mesures de réduction de risque adaptées. Des mécanismes devraient aussi être élaborés pour analyser et suivre de manière fiable l'efficacité de ces mesures, afin de garantir l'amélioration du SGS et un niveau de sécurité acceptable.

La mise en place d'un modèle de représentation des risques permet de supporter cette démarche globale et harmonisée. L'enquête a montré que les démarches mises en place par la DSNA pour gérer les risques associés à ses activités peuvent faire l'objet d'améliorations (voir § 2.6) dont certaines sont en cours de réflexion au sein de la DSNA (observations sur position, développement d'un modèle national de représentation des risques par exemple).

En conséquence, le BEA recommande que :

- *considérant l'absence d'utilisation et de mise à jour de la cartographie des risques établie en 2010 définissant uniquement des événements « indésirables » et « ultimes » ;*
- *considérant l'absence dans le SGS de la DSNA de modèle représentant l'ensemble des risques et des mesures de prévention associées ;*
- *considérant que l'identification et l'évaluation de certains risques reposent sur le report d'événements par les agents opérationnels, dont les contrôleurs aériens ;*
- *Considérant que les moyens mis en place par la DSNA pour évaluer de manière fiable et exhaustive la fréquence et la gravité des risques sont insuffisants ;*
- *Considérant l'insuffisance de liens établis entre l'analyse des événements de sécurité et les moyens en réduction de risques (MRR) des études de sécurité ;*
- *Considérant que ne font l'objet d'une analyse au niveau national que les événements dont les éventuelles conséquences (« dysfonctionnement navigation aérienne ») sont considérées comme graves ;*
- *Considérant que la gestion de l'avancement et du suivi des actions décidées lors des différentes instances de traitement des événements de sécurité ne semble pas efficace et continue ;*

La DSNA développe un modèle de représentation des risques comme un support favorable à une démarche de gestion plus globale de la sécurité, permettant d'alimenter réciproquement les approches réactives et proactives afin d'identifier et analyser les menaces à l'interface entre les composantes opérationnelles et techniques. [Recommandation FRAN-2025-011]

5.4 Points de compte rendu obligatoire

L'équipage du vol LAV4651 avait reçu une instruction de route directe vers un point de compte rendu obligatoire. Il n'a pas contacté le contrôleur aérien du secteur au passage de ce point et a poursuivi sa route selon celle prévue au plan de vol, comme cela peut se faire régulièrement. De son côté, le contrôleur du secteur avait oublié qu'il avait la charge de ce vol après avoir effacé le marqueur annonçant la perte de suivi de piste radar faisant suite à la défaillance du transpondeur. En l'absence de contact radar, les contrôleurs aériens du secteur suivant n'avaient pas non plus conscience de l'entrée de l'avion dans leur secteur.

Le point de compte rendu de position aurait pu constituer pour l'équipage et le contrôleur un moyen de récupération leur permettant de prendre conscience de la panne de transpondeur et de la perte de suivi de piste radar. Ce moyen n'a donc pas fonctionné comme prévu et il s'avère,

d'après les témoignages recueillis auprès de quelques pilotes de ligne, mais aussi de contrôleurs aériens, que les contacts radio aux points de comptes rendus obligatoires ont principalement lieu lorsque les contrôleurs aériens le demandent explicitement. Par ailleurs, les écrans de navigation embarqués à bord des aéronefs ne reprennent pas la symbologie définie et ainsi ne permettent pas aux équipages de faire la différence entre les points de comptes rendus obligatoires et les autres sans consultation d'une autre cartographie. Eurocontrol a aussi montré que les comptes rendus de position, particulièrement lors du transfert d'un secteur à un autre, constituaient des moyens efficaces pour identifier une perte de contact radar.

En conséquence, le BEA recommande que :

- *Considérant que la symbologie des écrans de navigation embarqués à bord des aéronefs ne permet pas d'identifier explicitement la nature des différents points significatifs (WAYPOINTS) et en particulier les points de compte rendu de position obligatoire ;*
- *Considérant que les contacts radio aux points de compte rendu de position obligatoire ne semblent pas être systématiques ;*
- *Considérant que l'augmentation du trafic conduit nécessairement à une utilisation accrue des messages radio à la fréquence ;*
- *Considérant que l'évolution des moyens de navigation facilite l'utilisation de plus en plus flexible de l'espace aérien ;*

L'AESA évalue, dans l'espace aérien européen, l'utilisation réelle des points de compte rendu obligatoire en fonction des dispositions et des attentes règlementaires existantes, dans le but non seulement de promouvoir les résultats de cette évaluation auprès des exploitants aériens et des ANSP, mais aussi d'encourager ces organismes à prendre des mesures à partir de l'examen de ces résultats. [Recommandation FRAN-2025-012]

Les enquêtes du BEA ont pour unique objectif l'amélioration de la sécurité aérienne et ne visent nullement à la détermination de fautes ou responsabilités.