



RAPPORT D'ENQUÊTE

Incident du Boeing B737-800 immatriculé EI-EMK exploité par Ryanair

survenu le 29 janvier 2015
en approche de l'AD Bergerac-Roumanièvre (24)



Les enquêtes de sécurité

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 matières

LES ENQUÊTES DE SÉCURITÉ	2
SYNOPSIS	7
ORGANISATION DE L'ENQUETE	8
1 - RENSEIGNEMENTS DE BASE	9
1.1 Déroulement du vol	9
1.2 Tués et blessés	11
1.3 Dommages à l'aéronef	12
1.4 Autres dommages	12
1.5 Renseignements sur le personnel	12
1.5.1 CDB	12
1.5.2 Copilote	12
1.6 Renseignements sur l'aéronef	13
1.7 Renseignements météorologiques	13
1.7.1 Situation générale	13
1.7.2 Messages d'observations et de prévisions	13
1.8 Aides à la navigation	13
1.8.1 Moyens radioélectriques et GNSS	13
1.8.2 Système de gestion de vol (FMS)	14
1.8.3 Procédure d'approche NDB Y 28 de Bergerac-Roumaniè	14
1.9 Télécommunications	17
1.10 Renseignements sur l'aérodrome	17
1.11 Enregistreurs de bord	17
1.11.1 Paramètres généraux	17
1.11.2 Durée de la branche d'éloignement	17
1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact	18
1.13 Renseignements médicaux et pathologiques	18
1.14 Incendie	18
1.15 Questions relatives à la survie des occupants	18
1.16 Essais et recherches	18
1.17 Renseignements sur les organismes et la gestion	19
1.17.1 Documentation de l'exploitant concernant les types d'approche	19
1.17.2 Procédures de transfert des arrivées IFR entre l'organisme de	
contrôle d'approche et l'organisme de contrôle local	20
1.17.3 Déploiement et utilisation du système sol d'avertissement de	
proximité du relief (MSAW)	20

1.18 Renseignements supplémentaires	21
1.18.1 Témoignages de l'équipage	21
1.18.2 Synthèse des témoignages des contrôleurs recueillis par le Prestataire de services de la navigation aérienne (PSNA)	23
1.18.3 Règlementation relative à la qualification de vol aux instruments (IR)	24
1.18.4 Règlementation relative à l'entraînement et au contrôle des compétences des équipages de transport aérien commercial	24
1.18.5 Autre incident survenu au cours d'une approche NDB Y 28 à Bergerac	25
1.18.6 Mise en œuvre de la navigation fondée sur les performances (PBN) et rationalisation des moyens	25
1.18.7 Distribution des approches réalisées en transport aérien commercial	25
1.18.8 Études relatives aux approches de non-précision	26
1.18.9 Utilisation de différents types de casques par les pilotes	26
1.19 Techniques d'enquête utiles ou efficaces	26
2 - ANALYSE	27
2.1 Introduction	27
2.2 Utilisation du FMS et des modes d'automatismes	28
2.3 Altitudes sélectionnées lors de l'approche finale	29
2.4 Procédures en hippodrome et entrée dans l'attente	29
2.5 Approches de non-précision : risques liés à l'évolution des moyens et des pratiques	30
2.6 Utilisation de différents types de casques et nuisances sonores	31
2.7 Détection et gestion de la situation par les contrôleurs	31
3 - CONCLUSIONS	32
3.1 Faits établis par l'enquête	32
3.2 Facteurs contributifs	33
4 - ACTIONS DE SÉCURITÉ PRISES DEPUIS L'INCIDENT	34
4.1 Mesures prises par l'exploitant	34
4.2 Mesures prises et réflexions menées par le PSNA	34
4.3 Promotion de la sécurité réalisée par les autorités de l'aviation civile	35
5 - RECOMMANDATION DE SECURITE	36
5.1 Consigne de l'AIP France concernant l'entrée dans l'attente	36
ANNEXE	37

Glossaire

AAIB	Air Accidents Investigation Branch (Organisme d'enquête du Royaume-Uni)
AAIU	Air Accident Investigation Unit (Organisme d'enquête de l'Irlande)
AESA	Agence Européenne de la Sécurité Aérienne
AIP	Aeronautical Information Publication (Publication d'information aéronautique)
ALT ACQ	Altitude Acquire (Mode d'acquisition d'altitude)
ALT HOLD	Altitude Hold (Mode de maintien d'altitude)
ANR	Active Noise Réduction (Réduction active du bruit)
ATIS	Automatic Terminal Information Service (Service automatique d'information de région terminale)
ATPL	Airline Transport Pilot Licence (Licence de pilote de ligne)
CDB	Commandant de bord
CPL	Commercial Pilot Licence (Licence de pilote commercial)
CVR	Cockpit Voice Recorder (Enregistreur de conversations de poste de pilotage)
DGAC	Direction Générale de l'Aviation Civile
DME	Distance Measuring Equipment (Radio-transpondeur de mesure de distance)
DSNA	Direction des Services de la Navigation Aérienne
E-GPWS	Enhanced Ground Proximity Warning System (Système d'avertisseur de proximité de sol amélioré)
FAF	Final Approach Fix (Repère d'approche finale)
FCL	Flight Crew Licence (Licence de membre d'équipage de conduite d'avions)
FCOM	Flight Crew Operating Manual (Manuel d'exploitation des équipages)
FD	Flight Director (Directeur de vol)
FDR	Flight Data Recorder (Enregistreur de paramètres)
FL	Flight Level (Niveau de vol)
FMS	Flight Management System (Système de gestion du vol)
Ft	Feet (pieds)
GNSS	Global Navigation Satellite System (Système mondial de navigation par satellite)
HDG	Heading (Cap)

ICAS	International Council of the Aeronautical Sciences (Congrès international des sciences aéronautiques)
IFR	Instrument Flight Rules (Règles de vol aux instruments)
ILS	Instrument Landing System (Système d'atterrissement aux instruments)
IMC	Instrument Meteorological Conditions (Conditions météorologiques de vol aux instruments)
IR	Instrument Rating (Qualification de vols aux instruments)
Kt	Knot (noeuds)
LNAV	Lateral Navigation (Mode de guidage latéral)
MAP	Missed Approach Point (Point d'approche interrompue)
MCP	Mode Control Panel (Tableau de commande de mode)
MDA	Minimum Descent Altitude (Altitude minimale de descente)
MSA	Minimum Safe Altitude (Altitude minimale de sécurité)
MSAW	Minimum Safe Altitude Warning (Alarme d'altitude minimale de sécurité)
NDB	Non Directional Beacon (Radiophare non directionnel)
NM	Nautical Mile (Mille marin)
NPA	Non-precision approach (Approche de non-précision)
NTSB	National Transportation Safety Board (Organisme d'enquête des États-Unis)
OACI	Organisation de l'Aviation Civile Internationale
PBN	Performance Based Navigation (Navigation basée sur la performance)
PF	Pilot Flying
PM	Pilot Monitoring
PNC	Personnel navigant commercial
PSNA	Prestataire de Service de la Navigation Aérienne
QFU	Orientation magnétique de la piste en service
RCA	Règlement de la Circulation Aérienne
RNAV	Area Navigation (Navigation de surface)
SOP	Standard Operating Procedures (Procédures standards d'exploitation)
UE	Union Européenne
UTC	Temps universel coordonné
VNAV	Vertical Navigation (Mode de guidage vertical)
V/S	Vertical Speed (Vitesse verticale)

Synopsis

Heure	À 13 h 20 ⁽¹⁾
Exploitant	Ryanair
Nature du vol	Transport commercial de passagers
Personnes à bord	CDB (PM) ; copilote (PF) ; 4 PNC ; 166 passagers
Conséquences et dommages	Aucun

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

Descente en dessous de l'altitude minimale de sécurité durant l'approche, déclenchement des alertes de proximité de sol, interruption de l'approche

L'équipage effectue un vol commercial régulier depuis l'aérodrome de Londres Stansted à destination de l'aérodrome de Bergerac-Roumanière. Les équipements ILS et DME à destination sont indisponibles et le CDB déduit des approches listées dans le livret d'aérodrome que les approches RNAV (GNSS) ne leur sont pas autorisées. L'équipage débute l'approche chronométrée NDB Y pour la piste 28. Au cours de cette procédure, à l'approche du virage de rapprochement, l'équipage met l'avion en descente sous l'altitude minimale de sécurité en mode V/S. Une alarme MSAW est déclenchée en salle de contrôle d'Aquitaine-Approche. La descente se poursuit pendant près de deux minutes en virage, en IMC, jusqu'à l'activation de l'alerte E-GPWS « TERRAIN ». L'avion se trouve alors à plus de 8 NM du seuil de piste, à gauche de l'axe d'approche finale, à une altitude de 1 054 ft et une hauteur radiosonde de 842 ft. L'équipage interrompt l'approche ; l'alarme « PULL UP » s'active au même moment. Parmi les facteurs susceptibles d'avoir contribué à la mise en descente anticipée et à sa poursuite pendant près de deux minutes, figurent :

- une première préparation de l'approche insuffisamment précise et complète ;
- l'absence de réalisation d'un circuit d'attente, après un changement tardif et malgré certains doutes de la part du CDB quant à la séquence qui débutait ;
- une incompréhension entre le CDB et le copilote concernant les modes à utiliser ;
- une dégradation progressive de la conscience de la situation de la part des pilotes ;
- la faible expérience du copilote, particulièrement concernant ce type d'approche ;
- la méconnaissance des procédures NDB de la part des contrôleurs ;
- l'absence à Bergerac d'un système MSAW (ou de son déport) et, à défaut, l'absence de procédures de coordination urgente entre Aquitaine-Approche et Bergerac.

Notamment en raison de l'essor des procédures RNAV (GNSS) et du développement des FMS, les pilotes peuvent ne plus être suffisamment exercés à réaliser des approches de non-précision ne s'appuyant que sur des équipements et des instruments conventionnels. À la suite de l'incident, l'exploitant concerné a décidé d'interdire la réalisation d'approches chronométrées en mode V/S. L'exploitant a en effet considéré qu'il y avait un risque supplémentaire associé à ce type d'approche et a estimé que ses objectifs opérationnels pouvaient être satisfaits sans que les équipages aient besoin d'y recourir.

ORGANISATION DE L'ENQUETE

Le BEA a été notifié par la DSNA du déclenchement du filet de sauvegarde en salle de contrôle d'Aquitaine-Approche, à Bordeaux, le lendemain de l'incident. Conformément à l'Annexe 13 à la Convention relative à l'Aviation Civile Internationale et au Règlement (UE) n°996/2010 sur les enquêtes et la prévention des accidents et des incidents dans l'aviation civile, une enquête de sécurité a été ouverte par le BEA.

En application des dispositions de l'Annexe 13, des représentants accrédités des autorités d'enquête de l'Irlande (AAIU) et des États-Unis (NTSB) ont été associés à l'enquête, respectivement au titre de l'État de l'exploitant et de l'État du constructeur. L'autorité d'enquête du Royaume-Uni (AAIB) a été sollicitée pour recueillir certaines informations de la part de l'organisme de formation au sein duquel le copilote a été formé.

L'enregistreur de paramètres (FDR) a été prélevé et les données relatives à l'incident ont pu être exploitées par le BEA.

À la demande du BEA, l'AAIU a procédé aux entretiens avec le CDB et le copilote le 5 février 2015.

L'équipe d'enquête du BEA a travaillé en coopération avec ses conseillers techniques, les représentants accrédités des organismes étrangers impliqués ainsi que leurs conseillers techniques. Le projet de rapport final a fait l'objet d'une consultation de ces autorités et de ces organismes.

1 - RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1 Déroulement du vol

Note : les informations suivantes sont principalement issues de l'enregistreur de paramètres (FDR), des données radar ainsi que des enregistrements des radiocommunications.

L'équipage décolle à 12 h 02 de l'aérodrome de Londres Stansted⁽²⁾ pour un vol commercial régulier à destination de l'aérodrome de Bergerac-Roumanière⁽³⁾. Le copilote est PF.

À 13 h 03, l'équipage est autorisé à descendre au FL70. À la demande du contrôleur d'Aquitaine-Approche concernant sa capacité à effectuer une approche RNAV, le copilote répond « No ... yes » puis demande les conditions météorologiques à destination.

À 13 h 05, le contrôleur d'approche demande à nouveau à l'équipage s'il prévoit d'effectuer une approche RNAV. Le CDB répond qu'ils procèderont à une approche NDB. Le contrôleur les informe qu'il s'agira de la NDB Y pour la piste 28 et les autorise à faire route vers la balise BGC et à descendre vers 2 500 ft⁽⁴⁾.

À 13 h 17 min 48, l'avion survole la balise BGC à une altitude de 2 723 ft (voir Figure 2), sous pilote automatique avec les modes LNAV et V/S activés. Il est en descente vers l'altitude sélectionnée de 2 500 ft. Le cap suivi est de 213°. La vitesse indiquée de l'avion est de 216 kt en réduction. Le train d'atterrissage et les volets sont rentrés.

À 13 h 18 min 23, l'équipage sélectionne la position 1 des volets. L'avion, toujours en mode LNAV, débute un virage par la gauche (voir Figure 1, point ①).

À 13 h 19 min 42 (voir Figure 1, point ②), l'avion sort du virage au cap 097°. Il se trouve alors en palier à une altitude de 2 500 ft (en mode vertical ALT HOLD) et sa vitesse indiquée est de 185 kt. Trois secondes plus tard, l'équipage sort les volets en position 5.

À 13 h 20 min 05, alors que l'avion va débuter en mode LNAV un nouveau virage par la gauche, le copilote sélectionne une altitude de 900 ft, engage le mode V/S et sélectionne une vitesse verticale de -900 ft/min. La vitesse indiquée est de 168 kt. À 13 h 20 min 38, le copilote sélectionne une vitesse verticale de -1 200 ft/min.

À partir de 13 h 21 min 18, le copilote diminue progressivement le taux de descente sélectionné jusqu'à une valeur de 300 ft/min.

À 13 h 21 min 23, alors que l'avion passe le cap 340° en virage à une altitude de 1 447 ft et à une vitesse indiquée de 175 kt, l'équipage s'annonce établi « *Inbound* ». L'avion est alors à 65° de l'axe d'approche finale. Le contrôleur d'approche lui demande de quitter la fréquence et de contacter le contrôleur tour de Bergerac.

À 13 h 21 min 34 (voir Figure 1, point M), alors que l'équipage a changé de fréquence, l'alarme MSAW se déclenche dans la salle de l'organisme de contrôle d'Aquitaine-Approche.

À 13 h 21 min 38, l'équipage contacte le contrôleur tour. L'altitude de l'avion est de 1 240 ft. L'équipage est autorisé à poursuivre l'approche.

⁽²⁾ Code OACI : EGSS.

⁽³⁾ Code OACI : LFBE. Cet aérodrome est dénommé Bergerac-Dordogne-Périgord depuis janvier 2020.

⁽⁴⁾ 2 500 ft correspond à l'altitude de protection de la procédure, à l'altitude de l'hippodrome ainsi qu'à l'altitude minimale de sécurité (MSA).

À 13 h 22 min 02 (voir Figure 1, point T), l'alerte E-GPWS « *TERRAIN* » est activée et perçue par l'équipage. L'avion est alors à plus de 8 NM du seuil de piste, toujours en virage, à gauche de l'axe, à une altitude de 1 054 ft, soit à une hauteur radiosonde de 842 ft. Les modes latéraux et verticaux du pilote automatique engagés à cet instant sont respectivement LNAV et ALT ACQ⁽⁵⁾. Le taux de descente est de 970 ft/min et la vitesse indiquée est de 166 kt.

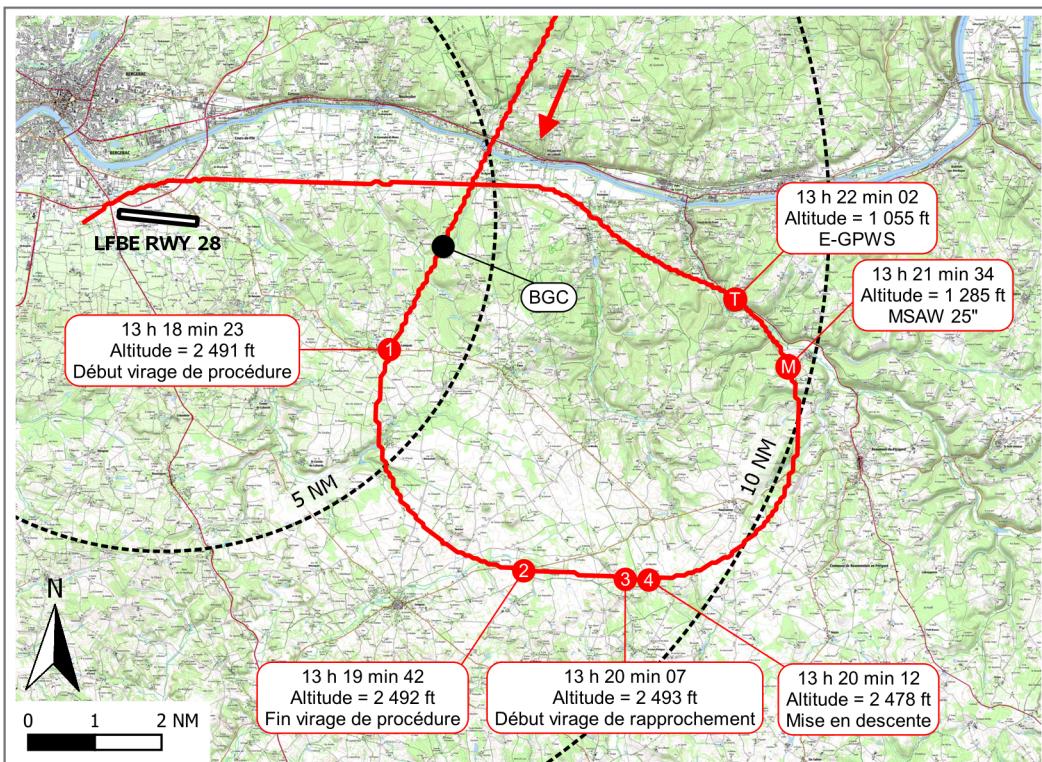
Deux secondes après le déclenchement de l'alerte « *TERRAIN* », l'équipage presse le bouton TOGA⁽⁶⁾ et interrompt l'approche. À ce moment, l'avion est à une altitude de 1 018 ft (soit à une hauteur radiosonde de 797 ft). Le taux de descente est de 986 ft/min et la vitesse indiquée est de 164 kt. Au même moment, le déclenchement de l'alarme E-GPWS « *PULL UP* » est enregistré.

À 13 h 22 min 10, une nouvelle alarme MSAW se déclenche dans la salle de l'organisme de contrôle d'Aquitaine-Approche.

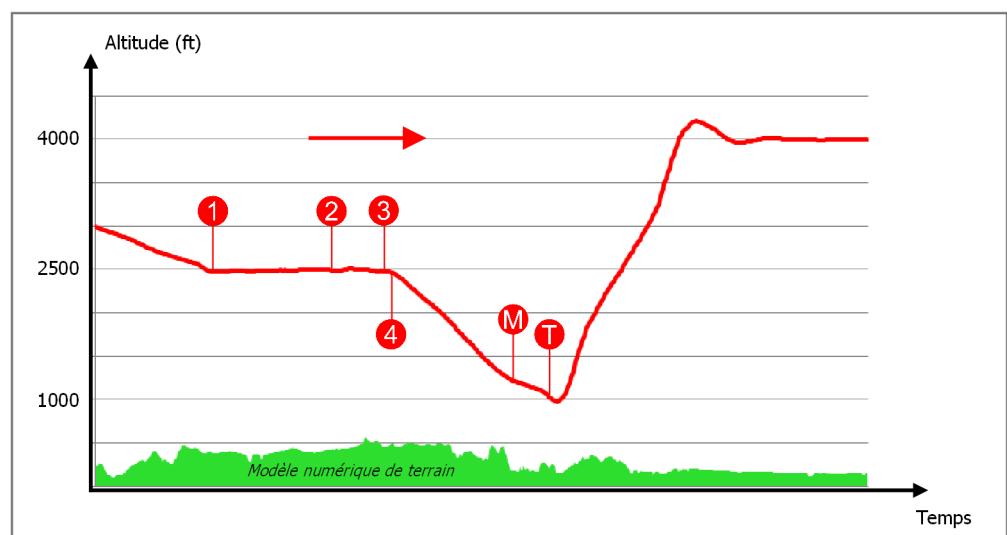
Peu après, l'équipage annonce l'interruption de l'approche sur la fréquence de la tour de Bergerac. L'avion remonte à une altitude de 4 000 ft, l'équipage contacte à nouveau le contrôleur d'approche puis se met en attente sur la balise BGC pendant environ sept minutes. Il effectue ensuite une seconde procédure d'approche NDB Y et atterrit sur la piste 28 de l'aérodrome de Bergerac-Roumanièr à 13 h 44.

(5) Le mode d'acquisition d'altitude ALT ACQ s'est activé à l'approche de l'altitude sélectionnée qui a été maintenue à 900 ft. L'activation de ce mode a eu pour effet d'augmenter le taux de descente qui avait été diminué à 300 ft/min à la suite de la sélection du PF. Ce fonctionnement est conforme à la logique de conception du système de gestion de vol.

(6) Take Off / Go Around (Décollage / Remise des gaz).



Source du fond cartographique : IGN



— Trajectoire du EI-EMK issue du FMS recalée au QNH du jour, de 13 h 16 à 13 h 25 min 30

○ Cercles centrés sur le point de référence de LFBE

Les temps sont indiqués en heure UTC

BEA

Figure 1 : Trajectoire

1.2 Tués et blessés

	Blessures		
	Mortelles	Graves	Légères/Aucune
Membres d'équipage	-	-	6
Passagers	-	-	166
Autres personnes	-	-	-

1.3 Dommages à l'aéronef

Sans objet.

1.4 Autres dommages

Sans objet.

1.5 Renseignements sur le personnel

1.5.1 CDB

Homme, 57 ans, de nationalité britannique.

Le CDB était titulaire d'une licence de pilote de ligne avion (ATPL) délivrée le 7 mai 2013, associée à une qualification de type B737 300-900 délivrée le 11 novembre 2012, valide jusqu'au 30 novembre 2015. Il était autorisé à effectuer de la navigation fondée sur les performances (PBN⁽⁷⁾).

⁽⁷⁾ voir § 1.18.6.

Il totalisait environ 15 000 heures de vol dont plus de 6 000 sur B737.

Expérience récente :

- dans les 3 derniers mois : 84 h ;
- dans les 30 derniers jours : 49 h ;
- dans les 24 dernières heures : 7 h.

1.5.2 Copilote

Homme, 27 ans, de nationalité britannique.

Le copilote était titulaire d'une licence de pilote professionnel avion (CPL) délivrée le 4 juillet 2014, associée à une qualification de type B737 300-900 délivrée le 1^{er} septembre 2014, et valide jusqu'au 30 septembre 2015. Il disposait également d'une autorisation PBN.

Il totalisait 430 heures de vol dont 280 sur B737.

Expérience récente :

- dans les 3 derniers mois : 164 h ;
- dans les 30 derniers jours : 107 h ;
- dans les 24 dernières heures : 11 h.

Il avait commencé une formation intégrée ab initio⁽⁸⁾ en 2012. Le BEA n'a pu prendre connaissance ni du programme détaillé de cette formation ni du livret de progression du copilote.

⁽⁸⁾ Formation pour stagiaires n'ayant aucune expérience aéronautique préalable.

L'adaptation en ligne du copilote au sein de l'exploitant avait débuté à la fin septembre 2014 et il avait été lâché en ligne en décembre 2014.

1.6 Renseignements sur l'aéronef

Le B737-800 immatriculé EI-EMK disposait d'un certificat de navigabilité en cours de validité. Il était approuvé pour la réalisation des PBN.

1.7 Renseignements météorologiques

1.7.1 Situation générale

De la pluie faible à modérée était présente sur la région dans le créneau horaire de l'incident, accompagnée d'une masse d'air très humide à saturée dès une hauteur de 1 000 ft.

1.7.2 Messages d'observations et de prévisions

METAR

LFBE 291300Z AUTO 23011KT 9999 -RA BKN011/// BKN016/// OVC021/// TCU 09/08 Q1000-

LFBE 291330Z AUTO 23012KT 200V260 4900 RA BR BKN012 BKN020 OVC027 09/08 Q0999

TAF, émis le 29/01/15 à 08 h 04

LFBE 290800Z 2909/2918 24012KT 9999 BKN012 BKN030 BECMG 2915/2918 27015G30KT TEMPO 2909/2918 24015G30KT 3000 RA BKN005 BKN015 TEMPO 2916/2918 26020G40KT=

Message ATIS de Bergerac enregistré à 13 h 00 (information Fox)

Approche RNAV 28 ou NDB Y. Piste en service 28. Piste mouillée. Niveau de transition 60. ILS hors-service. DME hors-service. Péril aviaire. Vent 230° 11 kt. Visibilité supérieure à 10 000 m. Temps présent : pluie faible. Nuages BKN 1 100 ft OVC 2 100 ft. Température +9 °C, Point de rosée + 8 °C. QNH 1000.

1.8 Aides à la navigation

1.8.1 Moyens radioélectriques et GNSS

Le jour de l'incident, en raison de travaux en cours sur les équipements ILS et DME, seules les approches RNAV (GNSS) et NDB Y étaient utilisables pour la piste 28 de l'aérodrome de Bergerac.

LFFA-D5425/14
A) LFBE BERGERAC ROUMANIERE
B) 2014 Dec 15 00:00 C) 2015 Apr 25 23:59
E) LOCALIZER RM RWY28 HORS SERVICE
REF SUP AIP AIRAC 182/14

LFFA-D5426/14
A) LFBE BERGERAC ROUMANIERE
B) 2015 Jan 05 13:00 C) 2015 Apr 25 23:59
E) DME RM RWY28 HORS SERVICE - TRAVAUX GENIE
CIVIL ZONE THR28 - REF SUP AIP AIRAC 182/14.

LFFA-D5424/14
A) LFBE BERGERAC ROUMANIERE
B) 2014 Dec 15 00:00 C) 2015 Apr 25 23:59
E) GP RM RWY28 HORS SERVICE CAUSE TRAVAUX GENIE CIVIL ZONE THR28 -
REF SUP AIP AIRAC 182/14

Figure 2 : NOTAM⁽⁹⁾ indiquant l'indisponibilité des équipements ILS et DME

(9) Notice to
Airmen (Avis
aux navigateurs
aériens).

1.8.2 Système de gestion de vol (FMS)

Selon les informations obtenues de l'exploitant, à la date de l'incident, la procédure RNAV (GNSS) 28 et la procédure NDB Z 28⁽¹⁰⁾ de l'aérodrome de Bergerac-Roumanièr étaient codées dans le FMS.

L'exploitant a indiqué que les procédures ne reposant que sur un seul moyen de radionavigation (exemple : NDB sans DME) n'étaient généralement pas codées dans le FMS à la date de l'incident. L'enquête n'a pas permis de confirmer ce qu'il en était de la NDB Y 28.

⁽¹⁰⁾ La NDB Z 28 de LFBE s'appuie sur le DME qui était indisponible le jour de l'incident.

1.8.3 Procédure d'approche NDB Y 28 de Bergerac-Roumanièr

La procédure d'approche NDB Y 28 comprend un circuit d'attente et un hippodrome de procédure. La procédure fait l'objet d'une publication dans l'AIP France⁽¹¹⁾ (voir Figure 3).

⁽¹¹⁾ Publication de l'information aéronautique de référence en France.

Par ailleurs, le § ENR 1.5.2.3 de l'AIP France indique que « *lorsque l'attente et l'hippodrome sont représentés séparément, les entrées doivent s'effectuer dans l'attente, l'exécution de l'hippodrome ne pouvant être effectuée qu'une fois l'avion stabilisé en attente, à l'altitude minimale de celle-ci ; si, les entrées en hippodrome sont néanmoins possibles pour certains aéronefs, cette éventualité est mentionnée [...]*

La carte NDB Y 28 de l'aérodrome de Bergerac fait bien apparaître distinctement le circuit d'attente et l'hippodrome. Ainsi, en l'absence de mention précisant la possibilité d'entrer directement dans l'hippodrome, l'entrée devrait se faire dans l'attente selon cette consigne de l'AIP. Pour une entrée directe telle que celle réalisée par l'équipage, la séquence attendue serait alors la suivante :

- passage à la verticale de la balise ;
- éloignement d'une minute suivi d'un virage de rapprochement ;
- rapprochement dans l'axe, à l'altitude minimale du circuit d'attente et à la vitesse maximale publiée ;
- passage à la verticale de la balise suivi du virage de procédure, de l'éloignement de 1 min 30 et du virage de rapprochement ;
- une fois axé, mise en descente finale vers l'altitude de survol de la balise publiée.

Les services en charge de la conception des procédures et de la publication des cartes d'approche dans l'AIP France précisent que la possibilité d'entrer dans un hippodrome doit faire l'objet d'une étude spécifique lors de la conception. Les aires de protection applicables dans ce cas ne sont en effet généralement pas les mêmes que pour l'entrée dans un circuit d'attente. L'étude des aires de protection nécessite une construction manuelle de celles-ci, qui n'est pas effectuée systématiquement. Dans le cas de la procédure NDB Y 28 de Bergerac-Roumanièr, la possibilité d'entrer dans l'hippodrome n'a pas été étudiée, raison pour laquelle elle n'a pas été indiquée sur la carte publiée.

La DGAC précise que cette consigne dans l'AIP n'a pas force de règlementation mais à vocation à rappeler certaines exigences applicables par ailleurs. L'enquête n'a pas permis d'identifier les exigences règlementaires qui en seraient à l'origine, notamment au niveau OACI. La lecture de l'AIP Irlande⁽¹²⁾ (pays de l'exploitant) ne fait pas apparaître une telle consigne. Cette consigne n'est pas reprise dans un texte règlementaire applicable aux exploitants d'aéronefs. Les témoignages recueillis auprès de différents pilotes IFR, privés ou professionnels, exerçant ou non en ligne, montrent que cette consigne n'est pas toujours connue, qu'elle laisse place à différentes interprétations et que, dans tous les cas, les pratiques sont extrêmement variées.

Indépendamment de cette consigne de l'AIP, les équipages peuvent demander à effectuer un ou plusieurs circuits d'attente en cas de besoin.

Par ailleurs, la procédure NDB Y 28 de l'aérodrome de Bergerac ne repose que sur le NDB et ne comporte donc pas de FAF⁽¹³⁾. Dans le cas d'une approche sans FAF, la descente finale débute à la fin du virage de rapprochement. Lorsque ce type d'approche est effectué de manière conventionnelle, le positionnement adéquat en sortie de virage de rapprochement suppose que l'hippodrome a été exécuté intégralement. Par conséquent, l'entrée dans l'hippodrome, si elle était permise, ne pourrait rigoureusement se faire qu'en étant axé, stabilisé à l'altitude de l'hippodrome et dans les limites de vitesse indiquées.

À la date de l'incident, l'exploitant utilisait la documentation fournie par un prestataire. La comparaison entre la carte utilisée et celle de l'AIP France fait apparaître les points suivants :

- sur les deux cartes, il n'est pas fait mention de la possibilité d'intégrer directement dans l'hippodrome de procédure ;
- sur le plan de coupe horizontal de la carte utilisée, figure une portion de cercle de 10 Nm de rayon centré sur le point de référence de l'aérodrome ;
- sous le profil vertical de la carte utilisée, figure une échelle de distance continue ; la balise BGC y est positionnée à 3,9 NM du seuil, comme cela est spécifié dans le cartouche à côté, le point de début de descente finale est positionné entre 9 et 10 NM et le point correspondant au MAP n'est pas figuré sur le profil vertical. Sa position est mentionnée dans le cartouche à côté.

(12) Consultation d'une version postérieure à l'incident.

(13) Point qui matérialise le début de la descente dans certaines approches classiques.

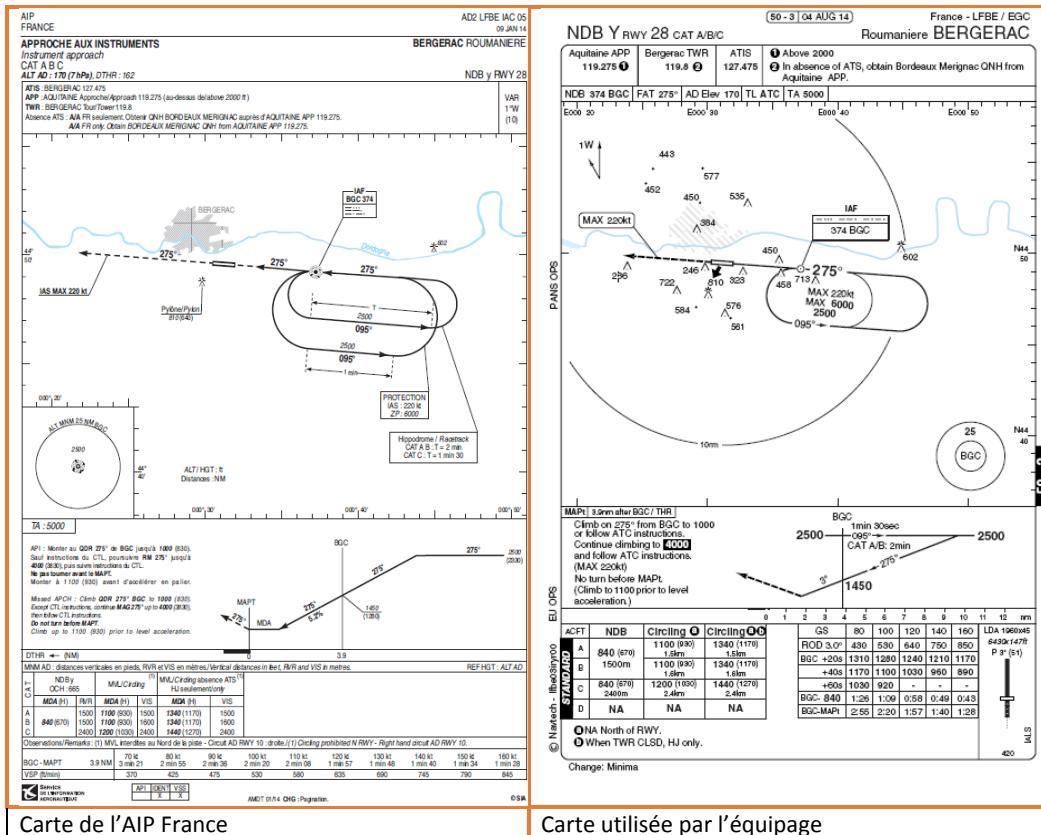


Figure 3 : Comparaison des cartes d'approche NDB Y 28 de l'aérodrome de Bergerac-Roumanière

Le paragraphe 11.3.3 de l'Annexe 4 de l'OACI relative aux cartes aéronautiques⁽¹⁴⁾ traite de l'échelle des cartes. Il y est précisé qu'il doit être porté sur la carte, « [...] sauf lorsque cela est pratiquement impossible, un cercle de distance de 20 km (10 NM) de rayon, centré sur un DME implanté sur l'aérodrome ou à proximité, ou sur le point de référence d'aérodrome [...] ». Par ailleurs, « il est recommandé de placer une échelle des distances directement au-dessous du profil ».

La France avait initialement signalé une différence par rapport à l'Annexe 4 de l'OACI au sujet du cercle de 10 NM⁽¹⁵⁾. Cette différence concernait toutes les cartes d'approche et pas uniquement celles relatives aux approches chronométrées. Elle était justifiée par des difficultés pratiques pour faire apparaître un cercle complet compte tenu de l'échelle utilisée.

Concernant plus spécifiquement les procédures sans moyens permettant d'obtenir des distances, comme la NDB Y 28 de Bergerac-Roumanière, certains experts en charge de la conception et de la publication des cartes d'approche dans l'AIP France estiment que la représentation d'un cercle de 10 NM pourrait être source de confusion, tout comme la représentation d'une échelle de distance continue et détaillée sous le profil vertical.

(14) En France, les dispositions de l'Annexe 4 étaient reprises dans l'arrêté du 23 juin 2008 relatif aux cartes aéronautiques, abrogé par l'arrêté du 6 juillet 2018.

(15) Le maintien de cette différence n'avait plus été signalée à l'OACI depuis plusieurs années.

1.9 Télécommunications

Les enregistrements des télécommunications ont été mis à la disposition du BEA par la DSNA, prestataire de services de la navigation aérienne (PSNA). Les éléments pertinents des radiocommunications ont été retranscrits dans le § 1.1 « *Déroulement du vol* ».

Avant l'incident, deux échanges téléphoniques entre les organismes de contrôle d'Aquitaine-Approche et de la tour de Bergerac ont eu lieu à 13 h 02 et 13 h 06 pour coordonner l'arrivée de l'avion.

Un nouvel appel a eu lieu d'Aquitaine-Approche vers Bergerac à 13 h 22 min 54, soit 80 s après le déclenchement de la première alarme MSAW et 44 s après le déclenchement de la seconde alarme. L'interruption de l'approche avait déjà été annoncée par l'équipage au contrôleur de Bergerac.

1.10 Renseignements sur l'aérodrome

Cet aérodrome est ouvert à la circulation aérienne publique (CAP), y compris celle des aéronefs évoluant en IFR.

L'aérodrome dispose d'une piste 10/28. Le QFU 28 était en service le jour de l'incident.

Les distances publiées pour le QFU 28 sont de 2 205 m (TORA⁽¹⁶⁾) et 1 960 m (LDA⁽¹⁷⁾).

⁽¹⁶⁾ Take-Off Run Available (Distance de roulement utilisable au décollage).

⁽¹⁷⁾ Landing Distance Available (Distance utilisable à l'atterrissement).

1.11 Enregistreurs de bord

1.11.1 Paramètres généraux

L'équipage n'a pas préservé les enregistreurs de vol après l'atterrissement à Bergerac. Le vol retour vers Londres puis les vols suivants effectués avant que l'exploitant ne soit informé de la nature de l'incident ont entraîné l'effacement des données du CVR relatives à l'incident.

Les données du FDR ont été exploitées au BEA. Les paramètres les plus pertinents sont présentés en annexe.

1.11.2 Durée de la branche d'éloignement

La vitesse sol moyenne enregistrée sur la branche d'éloignement est de 227 kt. Cette valeur a été utilisée pour positionner les points théoriques de mise en virage de rapprochement correspondants au circuit d'attente et à l'hippodrome de procédure (soit respectivement à 1 min et 1 min 30 d'éloignement à partir du passage du travers de la balise BGC).

À titre indicatif, lors du vol de l'incident, l'avion (en mode LNAV) a débuté le virage de rapprochement peu avant le point supposé de mise en virage dans le cadre d'un circuit d'attente, en amont du point supposé de mise en virage dans le cadre d'un hippodrome de procédure (voir Figure 4).

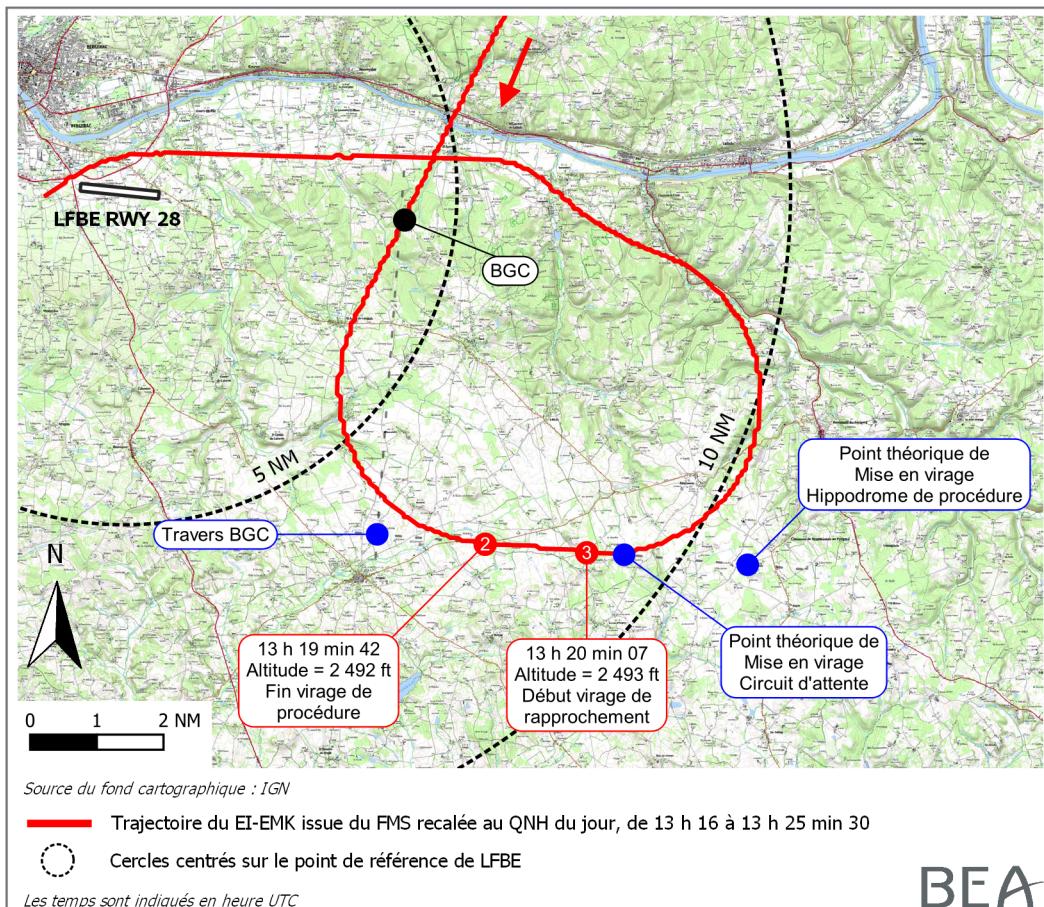


Figure 4 : Positions théoriques estimées des points de mise en virage de rapprochement, dans le circuit d'attente et dans l'hippodrome de procédure, par rapport à la trajectoire réelle de l'avion

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 Documentation de l'exploitant concernant les types d'approche

Un livret d'information (Airfield Brief), fourni aux équipages par l'exploitant, décrit les types d'approches disponibles ainsi que les particularités de chaque aérodrome. La version en vigueur le jour de l'événement pour l'aérodrome de Bergerac-Roumanièrne ne mentionnait pas l'existence des approches RNAV (GNSS) pour les pistes 10 et 28.

Les cartes d'approche disponibles le jour de l'incident dans la documentation de l'exploitant incluaient toutes les cartes relatives aux approches pour les pistes 10 et 28 de Bergerac-Roumanièrne, y compris les approches RNAV (GNSS).

Le FCOM dans sa partie NP.21.71 « *Timed Approaches* » indiquait notamment que :

- Dans le cas où l'approche était codée dans le FMS, les modes LNAV et VNAV pouvaient être utilisés, sous certaines conditions pour le mode VNAV⁽¹⁸⁾ ; il était précisé que la trajectoire LNAV (ligne magenta), dans ce cas, tenait compte des limitations de temps d'éloignement.
- Dans le cas où l'approche n'était pas codée dans le FMS, les modes HDG et V/S devaient être utilisés ; la MDA à utiliser alors devait être la valeur plus élevée entre la MDA publiée majorée de 300 ft ou 1000 ft au-dessus de l'aérodrome.
- Dans le cas où le mode VNAV était utilisé, le train d'atterrissement devait être sorti à 5 NM tandis qu'il devait être sorti une fois établi en rapprochement en mode V/S.

(18) "VNAV may be used subject to:
An appropriate path with the MAP at or before the runway threshold, and/or a glidepath is published on the LEGS page".

Les procédures normales de l'exploitant (SOP § 8.20) indiquaient qu'il convenait d'afficher l'altitude de remise de gaz passant 1 000 ft sol, sauf dans le cas où la MDA était supérieure à 900 ft ; l'altitude de remise de gaz devait alors être affichée plus tôt au MCP, à une altitude prévue par l'équipage, afin d'éviter un passage en mode ALT ACQ durant la finale⁽¹⁹⁾.

(19) La documentation du constructeur prévoyait que l'altitude de remise de gaz soit systématiquement sélectionnée 300 ft avant d'arriver à la MDA.

L'exploitant prévoyait (SOP § 8.16) que toutes les approches de non-précision fassent l'objet d'un briefing supplémentaire (« *DOUBLE BRIEF* ») au cours duquel le détail de la procédure d'approche est passé en revue, ainsi que les intentions concernant la manière d'effectuer l'approche, y compris la configuration prévue de l'avion, les modes de pilotage automatique et la MDA retenue. Les procédures de l'exploitant exigent que ces items soient vérifiés dans le cadre d'une check list avant de commencer tout type d'approche de non-précision.

(20) Quick Reference Handbook (Manuel de référence rapide).

Le principe d'approche supervisée (« *monitored approach* ») était décrit dans le manuel d'exploitation (§ 8.3.0.3.3) et repris dans le FCOM et le QRH⁽²⁰⁾. Il était applicable aux approches de non-précision lorsque la visibilité était inférieure à 3 000 m ou que le plafond était inférieur à 1 000 ft AAL⁽²¹⁾. Une approche supervisée devait être pilotée par le copilote et supervisée par le CDB. Une fois l'annonce « *LAND* » réalisée, le CDB prenait les commandes. Dans le cas d'une approche de non-précision, le copilote devait alors désactiver les FD, sélectionner l'altitude d'approche interrompue, réactiver les FD puis assurer la supervision de la fin de l'approche en portant une attention particulière sur la situation dans le plan vertical. En cas d'interruption de l'approche avant le transfert des commandes, la manœuvre devait être réalisée par le copilote. Lorsqu'une telle approche était envisagée, qu'il s'agisse d'une approche de précision ou non, un briefing supplémentaire (« *DOUBLE BRIEF* ») devait être réalisé.

(21) Above Aerodrome Level (Au-dessus du niveau de l'aérodrome).

Le § 8.3.2.2.1.6 du manuel d'exploitation précisait que l'exploitant était approuvé pour la conduite d'approches RNAV (GNSS).

1.17.2 Procédures de transfert des arrivées IFR entre l'organisme de contrôle d'approche et l'organisme de contrôle local

Les services de contrôle, d'information et d'alerte dans la TMA⁽²²⁾ Aquitaine sont rendus par l'organisme de contrôle d'Aquitaine-Approche situé sur l'aérodrome de Bordeaux Mérignac⁽²³⁾ (33). Le contrôle de l'aérodrome de Bergerac-Roumanièrre est assuré par le service de contrôle local d'aérodrome.

Les procédures de transfert, incluant la procédure d'arrivée IFR à Bergerac, sont régies par un accord entre l'organisme de contrôle d'Aquitaine-Approche et l'organisme de contrôle de Bergerac.

Pour l'approche NDB Y, l'accord en vigueur le jour de l'incident indiquait que le transfert devait être réalisé au passage de la balise BGC, une fois l'avion établi sur la procédure.

1.17.3 Déploiement et utilisation du système sol d'avertissement de proximité du relief (MSAW)

Le système MSAW fournit une alarme au contrôleur en cas de rapprochement potentiellement dangereux entre un aéronef et le relief ou un obstacle artificiel⁽²⁴⁾.

Il s'agit d'un système non obligatoire déployé à l'initiative du PSNA⁽²⁵⁾. L'organisme de contrôle d'Aquitaine-Approche a été équipé du système MSAW en mai 2012 pour l'aérodrome de Bordeaux. Le système a été paramétré en incluant des zones d'inhibition, dont une est centrée sur l'aérodrome de Bergerac-Roumanièrre⁽²⁶⁾.

À l'intérieur d'une zone d'intérêt, la fonction MSAW est en effet inhibée dans certaines zones géographiques dans lesquelles les aéronefs ne sont pas sous la responsabilité de l'organisme ATC où est installée la fonction. Cela concerne principalement :

- les zones militaires ;
- les aéroports dotés d'un contrôle local (CTR) ;
- les aéroports non contrôlés.

Au cours de l'incident, selon le PSNA, les alarmes MSAW activées en salle d'approche correspondaient à une détection en dehors de la zone d'inhibition de Bergerac. La validité de ces alarmes a été confirmée par le PSNA.

L'organisme de contrôle de Bergerac n'était pas équipé d'un système MSAW et ne bénéficiait pas d'un dépôt des alarmes MSAW de l'organisme de contrôle d'Aquitaine-Approche.

Une alarme MSAW est matérialisée par :

- une mention MSAW de couleur rouge en haut de l'étiquette sur l'écran de contrôle ;
- une fenêtre d'alarme MSAW qui présente l'indicatif, le code transpondeur, le relevé goniométrique et la distance de l'aéronef sur l'écran de contrôle ;
- une annonce orale « *alerte relief* » diffusée au moyen de haut-parleurs dédiés en salle d'approche et en vigie.

À la suite de l'incident, le PSNA a vérifié le volume sonore de l'alarme MSAW en salle d'approche. Aucune anomalie n'a été notée.

⁽²²⁾ Terminal manoeuvring area (Région de contrôle terminal).

⁽²³⁾ Code OACI : LFBD.

⁽²⁴⁾ Le système compare les altitudes transmises par les transpondeurs des aéronefs aux altitudes minimales de sécurité définies dans la zone de l'aéronef. Des seuils de détection sont paramétrés localement.

⁽²⁵⁾ La DSNA indique que le déploiement du MSAW est d'abord privilégié sur les aérodromes disposant d'une couverture radar fiable dans les basses couches.

⁽²⁶⁾ La zone d'inhibition de Bergerac prend la forme d'un parallélépipède rectangle de 16 NM sur 11 NM et de 2 500 ft de haut.

La règlementation de la circulation aérienne (RCA) indique qu'à la réception de cette alarme, lorsque l'aéronef concerné n'est pas en guidage radar (cas de l'incident), le contrôleur doit informer immédiatement le pilote⁽²⁷⁾. Il doit notamment lui donner l'instruction de vérifier son altitude en employant une phraséologie spécifique. Il n'est pas fait mention d'obligation de coordination lorsque cela est nécessaire entre plusieurs organismes de contrôle.

Le manuel d'exploitation de l'organisme de contrôle d'Aquitaine-Approche ne comprenait pas de procédures de coordination en cas d'activation du système MSAW pour un aéronef susceptible d'être en fréquence avec un autre organisme.

1.18 Renseignements supplémentaires

1.18.1 Témoignages de l'équipage

Avertissement : *Les entretiens des pilotes ont été effectués individuellement par l'AAIU le 5 février 2015. Les pilotes avaient préalablement effectué un briefing au sein de l'exploitant, incluant la reconstitution de l'incident en simulateur avec le responsable de la formation.*

Témoignage du CDB

Le CDB explique qu'il n'avait jamais volé avec le copilote auparavant. Le copilote lui a indiqué qu'il n'était pas lâché depuis longtemps. Ils ont effectué, plus tôt dans la journée, un aller-retour entre Londres et Turin.

Lors de la préparation du vol vers Bergerac-Roumanièvre, le CDB a décidé que le copilote serait PF sur ce tronçon de manière à effectuer une approche supervisée, à l'issue de laquelle il reprendrait les commandes pour l'atterrissage. Le copilote et lui étaient conscients avant le décollage que l'ILS et le DME de l'aérodrome de Bergerac étaient inutilisables.

Avant la descente, constatant que les approches RNAV (GNSS) pour les pistes 10 et 28 n'étaient pas mentionnées dans le livret d'information de l'exploitant consacré à l'aérodrome de Bergerac-Roumanièvre, le CDB a décidé d'effectuer une approche NDB. Il pense que les briefings relatifs à l'approche ont eu lieu juste avant la descente ou au tout début de celle-ci.

Lorsque le contrôleur leur a demandé la première fois s'ils pouvaient effectuer une approche RNAV (GNSS), le copilote était à l'écoute de la fréquence pendant que lui essayait d'obtenir l'ATIS. Le copilote n'était pas sûr de la réponse à donner. À ce moment-là, ils étaient déjà proches de l'aérodrome et avaient effectué un briefing pour une procédure NDB. À la seconde demande du contrôleur, le CDB a donc indiqué qu'ils effectueraient une approche NDB et le contrôleur les a autorisés à poursuivre vers la balise BGC.

Le CDB a temporairement pris en charge la trajectoire de l'avion tandis que le copilote commençait à programmer le FMS pour l'approche. Ils étaient alors à 20 ou 30 NM de l'aérodrome. Selon lui, la trajectoire donnée par le FMS présentait de nombreuses discontinuités. Le CDB pense que le copilote a essayé par trois fois d'insérer les données dans le FMS. Le CDB n'était pas satisfait de la trajectoire dans le plan vertical. Il explique qu'il a alors demandé à ce que l'approche soit effectuée en modes HDG et V/S. Il précise qu'il n'a entendu aucun retour de la part du copilote. Le CDB estime qu'à cet instant, il commençait à être surchargé ; il avait l'impression de gérer seul tous les aspects du vol. Il pense, avec du recul, qu'il aurait dû alors entrer dans le circuit d'attente.

⁽²⁷⁾ Procédures pour les organismes rendant les services de la circulation aérienne aux aéronefs de la circulation aérienne générale (RCA/3), voir § 2.2.1.1.4.

Le CDB indique qu'il avait un doute alors qu'ils étaient en éloignement : il ne savait pas si l'avion suivait le circuit d'attente ou l'hippodrome de procédure. Il a demandé au copilote d'amorcer la descente en mode V/S alors que l'avion entamait le virage de rapprochement. Il pensait que le virage durerait une minute de même que la phase de rapprochement, de sorte qu'ils avaient moins de deux minutes pour perdre 1 000 ft avant d'atteindre la balise BGC. Il était soucieux de ne pas faire une approche à forte énergie. Il pense qu'il a peut-être demandé initialement un taux de descente de 1 200 ft/min.

Le CDB explique qu'au moment où l'avion approchait de l'axe, il reprenait conscience de la situation, qu'il a indiqué au copilote qu'ils étaient trop bas et qu'il fallait réduire le taux de descente. À ce moment, l'alerte E-GPWS « *TERRAIN* » s'est déclenchée. Le CDB a entendu cette annonce une fois mais il indique ne pas avoir entendu d'alarme « *PULL UP* ».

Le CDB indique qu'au cours de l'approche, il a connu un problème avec son casque. Il avait un casque standard, mis à disposition par l'exploitant dans l'avion, tandis que le copilote avait son propre casque ANR⁽²⁸⁾. Il explique qu'il devait augmenter considérablement le volume de son casque pour entendre le copilote. Cela augmentait également le volume du bruit de fond. Alors qu'ils descendaient et que le bruit aérodynamique ainsi que celui de la pluie s'intensifiaient, la gêne est devenue de plus en plus forte, au point d'avoir mal à la tête.

Le CDB explique qu'il avait estimé que l'approche NDB était la plus simple et qu'il en avait fait des centaines. Il ne savait pas que le copilote n'avait jamais effectué d'approche NDB chronométrée. Il pense que si le copilote lui avait dit qu'il n'avait jamais fait d'approche de ce type, les choses auraient été différentes. Le CDB insiste sur le fait qu'il a perçu que les communications étaient en sens unique, de lui vers le copilote.

Témoignage du copilote

Le copilote explique que pendant l'escale à Londres Stansted, avant le vol vers Bergerac, le CDB a fait la visite pré-vol alors que lui est resté à bord pour programmer le FMS. Il pense que lorsqu'il a entré la route vers Bergerac, le FMS lui a proposé l'approche NDB Y et qu'il l'a acceptée. Le copilote indique qu'ils savaient avant le vol que l'ILS et le DME de Bergerac étaient inutilisables.

Il indique qu'il ne s'était jamais rendu à Bergerac auparavant.

Le copilote explique que pendant la croisière, ils ont eu une discussion concernant l'approche. Ils ont fait le briefing spécifique à l'approche de non-précision, au cours duquel ils ont discuté d'une approche NDB avec une finale de 10 NM.

Le copilote indique qu'au cours de la descente, ils ont été autorisés à procéder par la balise BGC pour l'approche NDB Y. Il a alors reprogrammé le FMS et ils ont effectué de nouveaux briefings.

Le copilote explique qu'ils étaient en mode horizontal LNAV tout au long de la procédure ; ils sont passés un moment en mode vertical ALT HOLD avec l'intention de passer en VNAV. Ils ont remarqué que le profil VNAV indiquait qu'ils étaient bas. Le copilote ne se souvient pas exactement de l'écart indiqué mais ils étaient à une altitude de 2 500 ft en palier à ce moment. Ils en ont discuté pendant l'éloignement. Selon lui, la trajectoire affichée ne posait pas de problème particulier.

⁽²⁸⁾ Casque à réduction active du bruit.

Selon le copilote, il était prévu de virer en rapprochement et de sortir le train d'atterrissement à 5 NM. Le copilote explique qu'alors qu'ils étaient sur le point d'amorcer le virage de rapprochement, le CDB a indiqué qu'ils étaient haut et qu'il fallait commencer à descendre en mode V/S. Il indique qu'il s'est contenté d'exécuter simplement la demande du CDB en sélectionnant une altitude de 900 ft. A posteriori, il estime qu'il n'aurait pas dû appliquer automatiquement cette consigne du CDB.

Le copilote indique qu'ils ont eu une alerte « *TERRAIN* ». Il explique qu'il s'était concentré sur la vitesse verticale et qu'il n'avait plus conscience de l'altitude. Il n'a ni entendu l'alarme « *PULL UP* » ni vu le voyant associé. Il est resté PF et a effectué l'interruption de l'approche.

Le copilote explique, qu'après l'atterrissement, ils ont eu une petite discussion. Tous deux se sont rendu compte qu'ils avaient perdu la conscience de la situation.

Le copilote indique que les conditions météorologiques étaient difficiles avec du vent en rafales et de la pluie. Il y a eu de légères turbulences et du givrage au cours de la descente. Ils ont été en conditions IMC tout le long jusqu'au déclenchement de l'alerte E-GPWS. Selon lui, la charge de travail était élevée.

Les communications dans le poste de pilotage étaient bonnes selon lui. Toutefois, il a remarqué que le CDB avait manqué quelques messages radio plus tôt dans la journée et qu'il avait de la difficulté à l'entendre. Il utilisait un casque ANR qu'il s'était acheté lui-même.

Il indique qu'il n'avait jamais fait d'approche chronométrée en mode V/S et qu'il n'avait pas été entraîné en simulateur pour le faire. Il l'a peut-être fait pendant son entraînement CPL, mais jamais sur un B737.

1.18.2 Synthèse des témoignages des contrôleurs recueillis par le Prestataire de services de la navigation aérienne (PSNA)

Le contrôleur d'approche explique qu'il a quitté le plot radar du regard après avoir autorisé l'équipage à procéder à l'approche NDB Y. Lorsque l'équipage l'a recontacté, il l'a transféré machinalement au contrôleur tour de Bergerac. Il avait constaté la descente de l'avion mais ne savait pas si c'était normal ou non. Il indique ne pas connaître suffisamment la procédure NDB et ne pas bien comprendre la carte publiée dans l'AIP, que le contrôleur assistant avait sortie à cette occasion. Il a complété le strip puis a remarqué la mention MSAW lorsqu'il a porté à nouveau les yeux sur son écran. Il ne pouvait alors plus intervenir car l'équipage n'était plus sur la fréquence. Il précise qu'il n'a pas entendu l'annonce orale du MSAW. Il indique qu'il a hésité à appeler l'organisme de contrôle de Bergerac. Il a imaginé qu'il était aussi équipé du système MSAW et a pensé qu'un appel pouvait faire perdre du temps aux contrôleurs tour. Ce n'est qu'après avoir observé l'interruption de l'approche qu'il a appelé.

Le contrôleur assistant d'approche a ajouté lors d'un échange ultérieur avec le BEA qu'il est souvent difficile pour eux de savoir à l'avance si l'avion effectue un circuit d'attente avant l'hippodrome de procédure, les équipages ayant des pratiques différentes à ce sujet. Il évoque par ailleurs le § ENR 1.5.2.3 de l'AIP France en indiquant que selon lui, à la lumière de cette consigne, l'équipage de l'incident aurait dû effectuer un circuit d'attente.

Le contrôleur tour de Bergerac ainsi que le contrôleur assistant expliquent qu'ils ont observé l'avion sur leur écran de visualisation radar faire un hippodrome très éloigné au sud. En sortie de virage de rapprochement, établi sur l'axe 28, l'équipage a annoncé qu'il interrompait l'approche. Le contrôleur tour indique que la trajectoire à ce moment-là ne paraissait pas anormale. Le contrôleur d'approche lui a téléphoné juste après l'annonce de l'équipage pour savoir s'ils avaient reçu l'alarme MSAW, mais il n'en était pas équipé.

1.18.3 Réglementation relative à la qualification de vol aux instruments (IR)

Le règlement (UE) n°1178/2011 déterminant les exigences techniques et les procédures administratives applicables au personnel navigant de l'aviation civile (dit « *Aircrew* ») définit, dans son annexe 1 (Part FCL), les exigences relatives aux licences. À la date de l'incident, la qualification de vol aux instruments (IR) conférait le droit à un pilote de réaliser toutes les approches aux instruments à l'exception des approches relevant des PBN, comme les RNAV (GNSS). Un pilote devait détenir une autorisation spécifique pour cela, comme c'était le cas du CDB et du copilote de l'incident⁽²⁹⁾.

Le règlement *Aircrew* précise le contenu de la formation et de l'examen pratique de l'IR (appendices 6 et 7 de la Part FCL). L'appendice 6 de la Part FCL indique qu'il est nécessaire de recevoir une formation concernant les approches aux instruments selon les minima spécifiés, sans détailler davantage les types d'approches à effectuer obligatoirement au cours de la formation. L'appendice 7 de la Part FCL indique que l'examen en vol pour l'obtention de la qualification IR comprend obligatoirement une approche de non-précision (section 5), sans apporter de précision supplémentaire sur le type d'approche de non-précision à effectuer.

1.18.4 Réglementation relative à l'entraînement et au contrôle des compétences des équipages de transport aérien commercial

Le règlement (UE) n° 965/2012 déterminant les exigences techniques et les procédures administratives applicables aux opérations aériennes (dit « *Air Ops* ») définit les exigences applicables aux exploitants aériens. On trouve notamment les dispositions suivantes :

- ORO.FC.230 b)1) : Chaque membre d'équipage de conduite se soumet au contrôle hors ligne de l'exploitant, en équipage normalement constitué, aux fins de démontrer sa compétence dans l'exécution de procédures normales, inhabituelles et d'urgence.
- ORO.FC.230 b)3) : La durée de validité du contrôle hors ligne de l'exploitant est de six mois civils.
- AMC1 ORO.FC.230 [sous-paragraphe (b)(1)(i)(D)] : Lorsque cela est possible, le contrôle de l'exploitant doit inclure la réalisation en tant que PF d'au moins une approche 2D jusqu'aux minima.

Au cours de l'enquête, l'AESA a précisé que parmi les approches 2D qui doivent être réalisées à ces occasions, la fréquence d'entraînement aux approches chronométrées est laissée à la discrétion des exploitants en fonction de leur propre évaluation des risques.

⁽²⁹⁾ En vertu du règlement (UE) n° 2016/539 qui a amendé le règlement *Aircrew* depuis l'incident, toutes les qualifications IR incluront les priviléges relatifs aux PBN à partir du 25 août 2020.

1.18.5 Autre incident survenu au cours d'une approche NDB Y 28 à Bergerac

Près d'un mois après cet incident, un autre incident a impliqué un exploitant différent sur le même type d'avion à l'approche de l'aérodrome de Bergerac-Roumanièvre alors que les équipements ILS et DME étaient toujours hors service. La description de l'incident présentée ci-après est extraite de la notification émise par les contrôleurs d'Aquitaine-Approche.

L'équipage annonce qu'il ne peut pas faire l'approche RNAV (GNSS) pour la piste 28. Il est autorisé à faire route directement vers BGC et à descendre à 2 500 ft en vue de la procédure NDB Y 28. À environ 4 NM au nord de BGC, les contrôleurs s'aperçoivent que l'avion est à 2 100 ft. Ils demandent à l'équipage de remonter de manière à être à 2 500 ft à la verticale BGC afin de faire la procédure NDB Y. Le pilote répond qu'il descendait pour s'établir à 1 400 ft à BGC en finale, et qu'il remonte à 2 500 ft. À la verticale de BGC, les contrôleurs demandent à l'équipage de faire l'hippodrome mais l'équipage poursuit sa descente vers la piste. L'équipage est transféré au contrôleur d'aérodrome de Bergerac qui lui demande d'interrompre l'approche.

1.18.6 Mise en œuvre de la navigation fondée sur les performances (PBN) et rationalisation des moyens

En 2010, l'OACI a fixé par résolution⁽³⁰⁾ les objectifs mondiaux pour la PBN et demandé à chaque État membre d'établir un plan de mise en œuvre incluant le déploiement de procédures d'approches GNSS, notamment avec guidage vertical. La DGAC a publié son plan en 2012. Sur le court terme, ce plan prévoyait que tous les QFU des aérodromes IFR contrôlés fassent l'objet d'une procédure RNAV (GNSS). Au 1^{er} janvier 2017, le bilan concernant ce déploiement était le suivant⁽³¹⁾ :

- 202 QFU étaient équipés de procédures d'approche GNSS de non-précision (sans guidage vertical) ;
- 150 QFU, dont les deux QFU de Bergerac, étaient équipés de procédures d'approche GNSS avec guidages latéral et vertical.

Dans le même temps, le plan de la DGAC prévoyait d'évaluer l'opportunité du maintien de certains moyens radioélectriques ainsi que des procédures associées lorsque des RNAV (GNSS) étaient publiées. Cette réflexion autour de la rationalisation des moyens devait prévoir les solutions alternatives en cas de panne GNSS. Les NDB n'ont pas été retenus comme moyens alternatifs et la DGAC a programmé leur suppression au plus tard en 2030.

1.18.7 Distribution des approches réalisées en transport aérien commercial

En 2016, la DGAC a interrogé les exploitants français sur la nature des approches effectuées par leurs équipages. Il est ressorti des réponses reçues que seules 5 % des approches réalisées pouvaient être classées parmi les approches de non-précision (incluant les GNSS 2D) alors qu'une forte majorité (75 %) se classait parmi les approches de précision (incluant par extension les différentes approches GNSS avec guidage vertical). Les 20 % restants étaient des approches à vue.

⁽³⁰⁾ Résolution A37-11 : https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Guide_PBN.pdf

⁽³¹⁾ Source : rapport sur la sécurité aérienne 2016 : https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/rapport_securite_aerienne_2016.pdf

1.18.8 Études relatives aux approches de non-précision

En 2008, lors du 26^{ème} congrès international des sciences aéronautiques (ICAS 2008), Boeing a présenté un document⁽³²⁾ mettant en évidence l'intérêt d'effectuer des approches de précision ou des approches assimilables à des approches de précision, telles que les GNSS 3D. Dans ce document, Boeing expliquait que le taux d'accidents en approche de non-précision était de quatre à huit fois plus élevé qu'en approche de précision.

Boeing précisait également que les approches de non-précision étaient les approches les plus difficiles à réaliser et exigeaient un niveau beaucoup plus élevé de concentration. Dans ce document, Boeing soulignait l'importance critique du travail en équipage et du suivi des procédures standards dans ces conditions. L'étude montrait que le risque le plus élevé consistait en une descente prématurée.

⁽³²⁾ "The safety Gained by equipment and procedures used to perform constant angle approaches", Captain Dave Carbaugh, The Boeing Company, ICAS 2008 paper. http://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2008/PAPERS/576.PDF.

La DGAC a réalisé une étude portant sur la période 2009-2013. Selon la DGAC, le taux d'accidents était sept fois supérieur lors d'approches de non-précision que lors d'approches de précision. Les conclusions de la DGAC rejoignaient celles de Boeing, notamment concernant le risque de descente prématurée.

Dans une présentation de cette étude faite lors de la conférence de la Flight Safety Foundation en 2016, la DGAC a attiré l'attention sur certaines pratiques consistant à mixer plusieurs procédures et supports de navigation, notamment les pratiques consistant à s'appuyer sur le FMS pour programmer une procédure qui n'y est pas codée.

1.18.9 Utilisation de différents types de casques par les pilotes

Le CDB utilisait un casque mis à disposition par l'exploitant dans l'avion, avec des caractéristiques passives de réduction du bruit.

Le copilote utilisait un casque ANR personnel.

La technologie ANR plonge le pilote dans un silence relatif, l'invitant à ne pas éléver la voix lorsqu'il communique. À l'occasion d'autres événements, le BEA a pu constater que le niveau sonore des locutions des pilotes équipés de tels casques, restitué au travers des enregistrements CVR, apparaissait généralement comme faible, voire très faible.

Par ailleurs, les casques ANR se distinguent généralement des modèles passifs par une impédance plus faible. L'introduction dans la chaîne audio de casques ayant une impédance différente peut produire des amplifications, des atténuations, voire des distorsions du signal.

Il n'existait pas de consignes de l'exploitant pour encadrer l'utilisation de casques différents de ceux mis à la disposition des pilotes.

1.19 Techniques d'enquête utiles ou efficaces

Sans objet.

2 - ANALYSE

2.1 Introduction

Le jour de l'incident, en raison de travaux de maintenance sur l'ILS et le DME, les procédures d'approche s'appuyant sur ces équipements ne pouvaient pas être effectuées. Pour déterminer l'approche à réaliser, le CDB a consulté le livret d'information relatif à l'aérodrome de Bergerac, préparé et mis à disposition par l'exploitant. Les approches RNAV (GNSS) (pour les pistes 10 et 28) n'étant pas mentionnées dans ce livret, il en a déduit que la compagnie ne les autorisait pas.

L'équipage indique avoir effectué, en fin de croisière ou en début de descente, un briefing standard puis un briefing complémentaire pour une approche NDB. Lors du contact avec Aquitaine-Approche, le contrôleur a demandé si l'équipage était en mesure d'effectuer une approche RNAV (GNSS). Outre les critères qui l'avaient initialement amené à écarter les autres approches, le CDB considérait qu'une approche NDB était appropriée au regard de son expérience personnelle et des conditions du jour. Il a donc répondu qu'ils feraient une approche NDB, sans préciser s'il s'agissait de la « Z » ou de la « Y ». Le contrôleur les a alors informés qu'il s'agirait de la NDB Y. À la suite de cet échange, le copilote a laissé temporairement la gestion de la trajectoire au CDB pour reprogrammer le FMS.

Les résultats de cette reprogrammation n'ont pas satisfait le CDB qui aurait alors annoncé que l'approche serait réalisée en modes HDG et V/S. Il ignorait l'absence d'expérience du copilote vis-à-vis de ce type d'approche conventionnelle.

Lors du passage à la verticale de la balise, les modes LNAV et V/S étaient activés. Après avoir passé la balise, l'avion s'est mis en virage vers la branche d'éloignement. Ce faisant, il a suivi une trajectoire qui correspond à celle d'une entrée directe dans un circuit d'attente ou un hippodrome de procédure.

Toujours en mode LNAV, l'avion a amorcé un virage de rapprochement après un temps d'éloignement semblant davantage correspondre à celui du circuit d'attente qu'à celui de l'hippodrome de la procédure NDB Y.

À l'approche de ce virage, le CDB a demandé au copilote de descendre. Le copilote a donc sélectionné une altitude de 900 ft et une vitesse verticale de -900 ft/min, puis -1 200 ft/min. Cette demande paraît directement corrélée à la mise en virage alors imminente de l'avion. Cette descente sous l'altitude de sécurité de secteur et sous l'altitude de la procédure, avant que l'avion ne soit aligné sur l'axe de la descente finale, conduisait à sortir des volumes de protection de la procédure. Elle a probablement reposé sur un raisonnement partiel : le virage amorcé à cet endroit semblait positionner l'avion trop haut par rapport au plan d'approche ; il lui semblait donc devoir descendre rapidement.

Au cours du virage, en descente, le CDB a probablement détecté une anomalie et a demandé au copilote de diminuer le taux de descente. L'action du copilote en ce sens, consistant à réduire le taux de descente à 300 ft/min, a été mise en défaut par l'activation du mode ALT ACQ du pilote automatique à l'approche de l'altitude sélectionnée. L'activation de ce mode a automatiquement entraîné une ré-augmentation du taux de descente.

L'alerte E-GPWS « *TERRAIN* » s'est activée peu après. L'altitude était alors de 1 054 ft et la hauteur radiosonde de 842 ft ; la vitesse verticale était de -970 ft/min. Le copilote a interrompu l'approche ; l'alarme « *PULL UP* » s'est activée au même moment.

La descente sous l'altitude de sécurité secteur a duré près de deux minutes. L'incident s'est déroulé en conditions IMC, probablement sans références visuelles extérieures.

2.2 Utilisation du FMS et des modes d'automatismes

L'enquête n'a pas permis de déterminer si la procédure NDB Y 28 de Bergerac-Roumanièvre était codée ou non dans la base de données du FMS.

Le copilote pense avoir sélectionné la procédure NDB Y dans le FMS lors de la préparation du vol. Cependant, il a dû reprogrammer le FMS après que le contrôleur d'approche les a autorisés à réaliser cette procédure, ce qui tend à montrer que cette procédure n'avait pas été sélectionnée initialement, ou alors incorrectement. Les données disponibles ne permettent pas de déterminer exactement ce qui a été programmé initialement dans le FMS. Parmi les hypothèses plausibles figurent les suivantes :

- Le copilote a sélectionné la procédure NDB Y, mais la programmation qu'il en a fait n'était pas appropriée.
- Le copilote a sélectionné la NDB Z. Selon l'exploitant, cette procédure était codée dans le FMS. Elle comprenait une approche finale de 10 NM comme évoqué dans le témoignage du copilote. Toutefois, elle s'appuyait sur le DME que l'équipage savait indisponible le jour de l'incident.
- Le copilote a lui-même construit une trajectoire dans le FMS, notamment en utilisant les repères de distance (arc de cercle sur le fond de carte et échelle sous le profil vertical) portés sur la carte d'approche NDB Y utilisée par l'exploitant. Toutefois, outre le fait que la distance n'est pas une mesure de référence dans le cas d'une procédure chronométrée comme celle-ci, les procédures de l'exploitant ne prévoyaient pas qu'une approche puisse être construite manuellement par les pilotes dans le FMS.

Quelle que soit l'anomalie, il semble qu'elle n'a pas été détectée par l'équipage lors des premiers briefings que celui-ci indique avoir effectués. La reprogrammation du FMS est directement liée à l'autorisation donnée par le contrôleur.

La reprogrammation du FMS a probablement été débutée par le copilote avec l'intention d'effectuer l'approche autorisée en modes LNAV et VNAV. La référence dans son témoignage à la distance de 5 NM pour sortir le train d'atterrissement le suggère. Une telle utilisation des automatismes va dans le sens d'une réduction des risques inhérents aux approches de non-précision mais suppose que la procédure soit codée de manière appropriée dans le FMS. Plusieurs tentatives semblent avoir été nécessaires au copilote lors de cette reprogrammation et les résultats, au moins ceux concernant le plan vertical, n'ont pas satisfait le CDB. Plusieurs raisons peuvent être envisagées :

- la procédure NDB Y était codée dans le FMS mais son codage ne répondait pas aux critères qui permettent que l'approche soit réalisée en mode VNAV ;
- la procédure NDB Y était codée dans le FMS mais la programmation du FMS par le copilote n'était pas appropriée ;
- la procédure NDB Y n'était pas codée dans le FMS et le copilote a sélectionné une autre procédure et/ou construit lui-même une trajectoire en insérant ou retirant des points.

Dans tous les cas, le maintien du mode LNAV durant toute la séquence paraît contraire à la décision du CDB de passer en modes HDG et V/S, qu'il indique avoir formulée. En l'absence de CVR, il n'a pas été possible de déterminer les annonces faites concernant les modes d'automatismes.

2.3 Altitudes sélectionnées lors de l'approche finale

L'échange avec le contrôleur d'approche semble avoir amené l'équipage à modifier son plan d'action. Au minimum, il a nécessité une reprogrammation du FMS. Ce changement a pu initier une séquence caractérisée par de la confusion et de la précipitation. Ainsi, l'enquête a montré que :

- L'altitude sélectionnée par le copilote lors de la mise en descente (900 ft) correspondait à la MDA publiée (840 ft arrondis à la centaine supérieure) et non à l'altitude de passage de la balise BGC (1 450 ft), qui constituait pourtant un point de passage obligatoire.
- La MDA retenue (840 ft) correspondait à celle publiée mais ne prenait pas en compte la majoration de 300 ft prescrite par l'exploitant pour une approche non codée dans le FMS, si tel était le cas.
- L'altitude de 900 ft a été maintenue sélectionnée tardivement au lieu d'être remplacée par l'altitude de remise de gaz, à une altitude que l'équipage aurait dû déterminer lors de la préparation de l'approche. En conséquence, le mode ALT ACQ s'est activé entraînant une ré-augmentation du taux de descente.

Concernant ce dernier point, les procédures établies par l'exploitant ne fixaient pas de marge stricte par rapport à la MDA pour sélectionner l'altitude de remise de gaz. Dans le cas de l'incident, il n'a pas été possible de savoir si l'équipage avait préalablement déterminé l'altitude à laquelle modifier l'altitude sélectionnée vers celle de remise de gaz.

2.4 Procédures en hippodrome et entrée dans l'attente

Au cours de l'éloignement, le CDB semble avoir eu un doute quant à la séquence que l'avion débutait, notamment la possibilité que le mode LNAV leur fasse suivre un circuit d'attente ou l'hippodrome de procédure. Ce doute ainsi que le maintien du mode LNAV actif contrairement au souhait qu'il a semble-t-il exprimé de passer en mode HDG, pouvaient justifier une demande de sa part de compléter un circuit d'attente avant d'entreprendre l'hippodrome de procédure. Au contraire, sans clarifier la situation avec le copilote, le CDB a demandé la mise en descente et a donc renoncé à une possible temporisation.

Indépendamment des initiatives qui peuvent être prises par les équipages, dans le cas des procédures en hippodrome comme la procédure NDB Y 28 de l'aérodrome de Bergerac-Roumanièvre, la documentation française de référence (AIP France, § ENR 1.5.2.3) indique que la manœuvre d'entrée doit se faire, par défaut, dans l'attente.

Cette consigne a semble-t-il vocation à s'assurer que la manœuvre d'entrée est réalisée dans des aires protégées. Indirectement, le respect de cette consigne garantit que l'hippodrome de procédure est débuté correctement en termes de cap, d'altitude et de vitesse, ce qui revêt un intérêt particulier dans le cas d'une procédure sans FAF. Pourtant, cette consigne ne semble pas avoir de socle règlementaire international, elle est mal connue et fait l'objet d'interprétations diverses. Il en résulte que les pratiques sont variées.

2.5 Approches de non-précision : risques liés à l'évolution des moyens et des pratiques

Le copilote, récemment formé ab initio et lâché en ligne le mois précédent l'incident, n'a pas été ou très peu initié à la réalisation d'approches chronométrées en modes HDG et V/S. Les données disponibles ne permettent pas de déterminer précisément dans quelle mesure cette faible expérience a influé sur sa préparation de l'approche, notamment lors des deux programmations effectuées dans le FMS, ainsi que sur sa gestion du début de l'approche en tant que PF. Cependant, au minimum, il semble ne pas avoir perçu l'incohérence de l'instruction formulée par le CDB consistant à descendre dès la fin de la branche d'éloignement.

Le CDB, bien que plus expérimenté vis-à-vis de ces approches, n'a semble-t-il pas réussi à faire abstraction de la trajectoire affichée par le FMS pour surveiller le déroulement de l'approche tel qu'il le souhaitait. Ce mélange entre différentes pratiques et entre les moyens associés a probablement contribué à sa confusion et à sa demande de mise en descente anticipée.

Depuis plusieurs années, le développement des moyens GNSS a permis l'élaboration de procédures d'approche dédiées. Sur de nombreux aérodromes, les procédures d'approches RNAV (GNSS) remplacent progressivement celles reposant sur des équipements radioélectriques, plus coûteux en termes d'entretien.

Parallèlement, les bases de données des FMS se sont enrichies. Notamment, sont progressivement devenues disponibles dans les FMS des procédures d'approches s'appuyant traditionnellement sur des équipements radioélectriques, y compris des procédures ne requérant pas de DME comme la NDB Y 28 de l'aérodrome de Bergerac-Roumanièvre.

Ces évolutions ont progressivement réduit le nombre parfois déjà faible d'approches de non-précision réalisées de manière conventionnelle par les équipages de certains exploitants, à l'image des approches chronométrées en modes HDG et V/S. Au regard de l'ensemble des types d'approches susceptibles d'être rencontrées en exploitation, cette faible part peut ne pas inciter ces exploitants à leur consacrer un temps d'entraînement important. Pourtant, si la volonté de certains d'entre eux est effectivement de maintenir la possibilité de réaliser de telles approches, alors le niveau de technicité requis et la faible expérience en exploitation pourrait au contraire justifier un maintien des compétences renforcé. Plusieurs études ont en effet montré que le niveau de sécurité attribué aux approches de non-précision était très inférieur à celui des approches de précision (ou assimilables).

Renoncer à ces procédures est une autre option pour les exploitants qui estiment déjà ne plus en être trop dépendants. Cela va dans le sens de la rationalisation des moyens, qui prévoit, par exemple, la suppression des NDB et des procédures associées en France d'ici à 2030.

Quoi qu'il en soit, durant cette période de transition que traverse l'aviation IFR et donc le transport aérien commercial, il paraît important que les exploitants s'assurent que les équipages privilégient ou, à tout le moins, n'aient aucun doute quant à la possibilité qu'ils ont d'effectuer des approches de précision ou des approches assimilables à des approches de précision, à l'image de certaines RNAV (GNSS). Cela passe par des consignes claires et une documentation dépourvue d'ambiguïté.

2.6 Utilisation de différents types de casques et nuisances sonores

En l'absence de consignes de l'exploitant encadrant ce type de pratique, le CDB et le copilote utilisaient des casques présentant des caractéristiques différentes.

Il est probable que l'usage de deux modèles de casques différents ait produit au niveau des mélanges réalisés dans la chaîne audio, des différences de perception et d'écoute. Dans ces circonstances, des messages provenant des contrôleurs ou du copilote ont pu ne pas être entendus par le CDB. De plus, ces différences ont vraisemblablement conduit ce dernier à adopter un réglage inconfortable de son écoute, ce qui a pu produire un sentiment de fatigue auditive associée à une gêne conséquente à la concentration, voire une douleur partiellement incapacitante.

2.7 Détection et gestion de la situation par les contrôleurs

Le PSNA a procédé à l'analyse de l'incident du point de vue de la gestion de la navigation aérienne. Parmi les facteurs identifiés par le PSNA figurent :

- la non-détection par les services de la navigation aérienne des difficultés que peuvent éprouver les équipages à réaliser les approches NDB sans DME ;
- le défaut de surveillance de la visualisation radar par les contrôleurs ;
- la méconnaissance de la part du contrôleur d'approche de l'image radar à disposition du contrôleur de Bergerac, notamment en ce qui concerne la visualisation des alarmes MSAW ;
- la méconnaissance de la procédure NDB sans DME par les contrôleurs d'Aquitaine-Approche et de Bergerac.

Le BEA rejoint l'analyse du PSNA concernant ces facteurs.

Par ailleurs, l'alarme MSAW aurait pu constituer une barrière pertinente près de 30 secondes avant l'E-GPWS. Disponible uniquement en salle d'approche (à Bordeaux-Mérignac), cette barrière s'est avérée inefficace puisque les contrôleurs d'Aquitaine-Approche n'avaient plus l'équipage en fréquence au moment de son activation. L'installation d'un MSAW ou le déport du MSAW de Bordeaux-Mérignac à Bergerac aurait probablement permis aux contrôleurs de l'aérodrome d'intervenir plus tôt auprès de l'équipage. À défaut, l'absence de procédures de coordination entre Aquitaine-Approche et Bergerac n'a pas permis de tirer profit de l'alarme qui s'est effectivement activée.

3 - CONCLUSIONS

Les conclusions sont uniquement établies à partir des informations dont le BEA a eu connaissance au cours de l'enquête. Elles ne visent nullement à la détermination de fautes ou de responsabilités.

3.1 Faits établis par l'enquête

- L'équipage détenait les licences et qualifications nécessaires pour effectuer le vol ; il était autorisé à réaliser des approches RNAV (GNSS).
- L'aéronef détenait un certificat de navigabilité en état de validité ; son équipement lui permettait la réalisation d'approches RNAV (GNSS).
- Les équipements ILS et DME de l'aérodrome de Bergerac-Roumanièr étaient indisponibles ; l'information aéronautique le mentionnait.
- Les deux procédures d'approche aux instruments disponibles pour la piste 28 en service à Bergerac-Roumanièr étaient la NDB Y 28 et la RNAV (GNSS) 28.
- L'approche RNAV (GNSS) a été proposée à l'équipage par le contrôleur d'approche.
- Les approches RNAV (GNSS) pour les pistes 10 et 28 étaient codées dans la base de données du FMS et les cartes d'approches correspondantes étaient à la disposition de l'équipage. Toutefois, contrairement aux autres procédures IFR, ces procédures n'étaient pas référencées dans le livret d'information relatif à l'aérodrome Bergerac-Roumanièr, préparé et mis à disposition des équipages par l'exploitant.
- L'équipage a collationné la réalisation de l'approche NDB Y 28.
- L'approche NDB Y 28 de Bergerac-Roumanièr est une approche chronométrée. Cette procédure prévoit que le dernier virage s'effectue à l'altitude de sécurité de 2 500 ft, et que la descente finale débute en sortie de dernier virage.
- Le mode de guidage LNAV était activé durant toute l'approche jusqu'à son interruption.
- L'avion a été mis en descente en mode V/S, et est descendu sous l'altitude de sécurité de 2 500 ft, en fin de branche d'éloignement.
- L'activation du mode ALT ACQ du pilote automatique en fin de virage de rapprochement, alors que l'altitude était proche de la MDA, a conduit à l'augmentation de la vitesse verticale de -300 ft/min (valeur courante, telle que sélectionnée au MCP) à -1 050 ft/min.
- L'alarme MSAW s'est activée en salle d'approche (Aquitaine-Approche à Bordeaux-Mérignac).
- L'organisme de contrôle local de Bergerac-Roumanièr ne disposait ni du système MSAW, ni du report des alarmes MSAW d'Aquitaine-Approche.
- Les alarmes E-GPWS « *Terrain* » et « *Pull up* » ont été enregistrées dans les paramètres de l'avion.
- Au moment où l'approche est interrompue par l'équipage, l'avion est à plus de 8 NM du seuil de piste, à une altitude de 1 018 ft (soit à une hauteur radiosonde de 797 ft). Le taux de descente est de 986 ft/min et la vitesse indiquée est de 164 kt.
- L'appel téléphonique vers l'organisme de Bergerac, faisant suite à l'activation de l'alarme MSAW en salle d'approche, est intervenu après l'interruption de l'approche et après son annonce par l'équipage au contrôleur de Bergerac.

3.2 Facteurs contributifs

L'incident est survenu durant la réalisation d'une approche NDB sans DME, probablement sans références visuelles extérieures.

La première préparation de l'approche a probablement été incomplète ou imprécise. Ainsi, l'autorisation donnée par le contrôleur, bien qu'elle concernait la procédure que l'équipage pensait avoir préparée, semble avoir remis en cause son plan d'action et l'a obligé à reprogrammer le FMS.

Cette modification tardive n'a probablement pas permis à l'équipage de s'accorder sur les modes de guidage à utiliser. Il en a résulté une confusion de la part du CDB quant à la trajectoire horizontale effectivement suivie par l'avion. Confronté à ces doutes, plutôt que d'opter pour un circuit d'attente ou pour un retour à un pilotage basique de la procédure, cet état de confusion l'a amené à demander la mise en descente anticipée de l'avion, sous l'altitude de sécurité. Ont pu également contribuer à cette manœuvre :

- les préoccupations du CDB, notamment liées aux nuisances sonores perçues comme extrêmes dans son casque et à ses doutes quant à l'implication du copilote ;
- la faible expérience du copilote sur ce type d'approche, qui, à tout le moins, ne lui a pas permis de percevoir l'incohérence de l'instruction formulée par le CDB.

Ont pu contribuer à la poursuite de la descente sous l'altitude de sécurité pendant près de deux minutes jusqu'à l'activation de l'alerte E-GPWS « *TERRAIN* », y compris après le déclenchement d'une alarme MSAW :

- la conscience alors fortement dégradée de la situation de la part des deux pilotes ;
- la méconnaissance des procédures NDB de la part des contrôleurs, ne leur permettant pas d'exercer une surveillance efficace de la trajectoire de l'avion ;
- l'absence à Bergerac d'un système MSAW (ou de son déport) et, à défaut, l'absence de procédures de coordination urgente entre Aquitaine-Approche et Bergerac à l'activation d'une alarme MSAW.

4 - ACTIONS DE SÉCURITÉ PRISES DEPUIS L'INCIDENT

4.1 Mesures prises par l'exploitant

Après l'incident, l'exploitant a amendé son manuel d'exploitation de manière à ne plus permettre à ses équipages la réalisation d'approches chronométrées en mode V/S (« *The use of V/S mode for timed Non-Precision approaches is prohibited* »).

Le rappel de cette interdiction a été porté dans la version amendée après l'incident du livret d'information relatif à l'aérodrome de Bergerac-Roumanièvre.

Par ailleurs, dans ces livrets d'information, quel que soit l'aérodrome, l'exploitant n'indique plus la liste des approches existantes. À la place, il redirige les pilotes vers les cartes d'approches publiées.

4.2 Mesures prises et réflexions menées par le PSNA

L'accent a été mis sur la formation des contrôleurs. En particulier, l'absence d'alarme MSAW sur les aérodromes est signalée dès la formation initiale et les alarmes en général ont fait l'objet de points spécifiques dans les formations de maintien de compétence de la triennale 2017-2019. Également, le plan de formation du Service de la Navigation Aérienne – Sud-Ouest (SNA-SO) mentionne une visite de l'organisme de contrôle de Bergerac dans le cadre du cours sur les aérodromes satellites.

Par ailleurs, la procédure de transfert des arrivées entre Aquitaine-Approche et Bergerac a été modifiée en laissant la possibilité au contrôleur d'approche de faire le transfert entre le passage de la balise BGC et le moment où l'avion libère 2 500 ft, aligné sur l'axe final.

Également, l'opportunité de déporter les alarmes du centre d'Aquitaine-Approche a été étudiée. Cependant, le dépôt de visualisation radar à Bergerac est issu du Centre en Route de la Navigation Aérienne - Sud-Ouest (CRNA/SO), où la fonction MSAW n'est pas implémentée. Pour mettre à disposition la fonction MSAW à Bergerac, le PSNA indique qu'il lui faudrait revoir profondément l'architecture de la distribution radar sur ce type d'aérodrome, ce qu'il n'envisage pas.

Enfin, le PSNA a estimé qu'une coordination entre l'organisme d'approche et l'organisme de contrôle local, une fois l'avion transféré à l'arrivée, outre qu'elle peut prendre du temps et donc ne pas constituer un gain de sécurité important, pourrait perturber les actions en cours au moment où le contrôleur local doit gérer l'arrivée. Par conséquent, le PSNA n'envisage pas d'instaurer des procédures de coordination urgentes pour les cas où une alarme MSAW se déclencherait pour un aéronef dont l'équipage est susceptible d'être en contact radio avec un autre organisme de contrôle.

4.3 Promotion de la sécurité réalisée par les autorités de l'aviation civile

En 2018, la Direction de la Sécurité de l'Aviation Civile (DSAC) a publié une « *Information de Sécurité*⁽³³⁾ » concernant les « *compétences des équipages en approches de non-précision* ». L'autorité française y fait un rappel de l'accidentologie française et internationale. Parmi les facteurs de risques évoqués figurent :

- « *La plupart des équipages ont une faible, voire parfois aucune expérience sur les approches NPA en fonction du réseau de la compagnie ; l'apparition des approches GNSS diminue encore la fréquence de réalisation d'approches NPA classiques (NDB, VOR, LOC⁽³⁴⁾ sans glide...)* ».
- « *La grande diversité dans les approches NPA, y compris les approches NPA GNSS, avec d'importantes variantes pour chaque type, ne permet pas de réaliser un maintien de compétence efficace dans ce domaine* ».
- « *Parmi les erreurs les plus courantes, on peut notamment mentionner l'erreur de référence de distance, l'erreur de QNH, des erreurs de gestion des automatismes dans le cadre d'une utilisation inhabituelle* ».

À travers cette publication, la DSAC invite les exploitants à évaluer leur propre exposition aux risques spécifiques que représentent les approches de non-précision et à prendre les mesures de gestion qui s'imposent dans le cadre de leur Système de gestion de la sécurité (SGS).

En 2018 également, l'AESA a publié un bulletin d'information de sécurité (SIB) relatif à l'approche et à l'atterrissement⁽³⁵⁾. Sans porter spécifiquement sur les approches de non-précision, le document rappelle certaines bonnes pratiques à adopter qui paraissent pertinentes au regard de l'incident enquêté, notamment en lien avec la conscience de la situation, la supervision de l'approche par le PM ou encore l'utilisation des automatismes.

⁽³³⁾ https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/IS2018_01_approches_non_precision.pdf

⁽³⁴⁾ Localizer.

⁽³⁵⁾ https://ad.easa.europa.eu/blob/EASA_SIB_2018_06.pdf/SIB_2018-06_1

5 - RECOMMANDATION 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 Consigne de l'AIP France concernant l'entrée dans l'attente

Le § ENR 1.5.2.3 de l'AIP France indique que « *lorsque l'attente et l'hippodrome sont représentés séparément, les entrées doivent s'effectuer dans l'attente, l'exécution de l'hippodrome ne pouvant être effectuée qu'une fois l'avion stabilisé en attente, à l'altitude minimale de celle-ci ; si, les entrées en hippodrome sont néanmoins possibles pour certains aéronefs, cette éventualité est mentionnée (catégorie et/ou vitesse maximale)* ».

Cette consigne a semble-t-il vocation à s'assurer que la manœuvre d'entrée est réalisée dans des aires protégées. Indirectement, le respect de cette consigne garantit que l'hippodrome de procédure est débuté correctement en termes de cap, d'altitude et de vitesse, ce qui revêt un intérêt particulier dans le cas d'une procédure sans FAF.

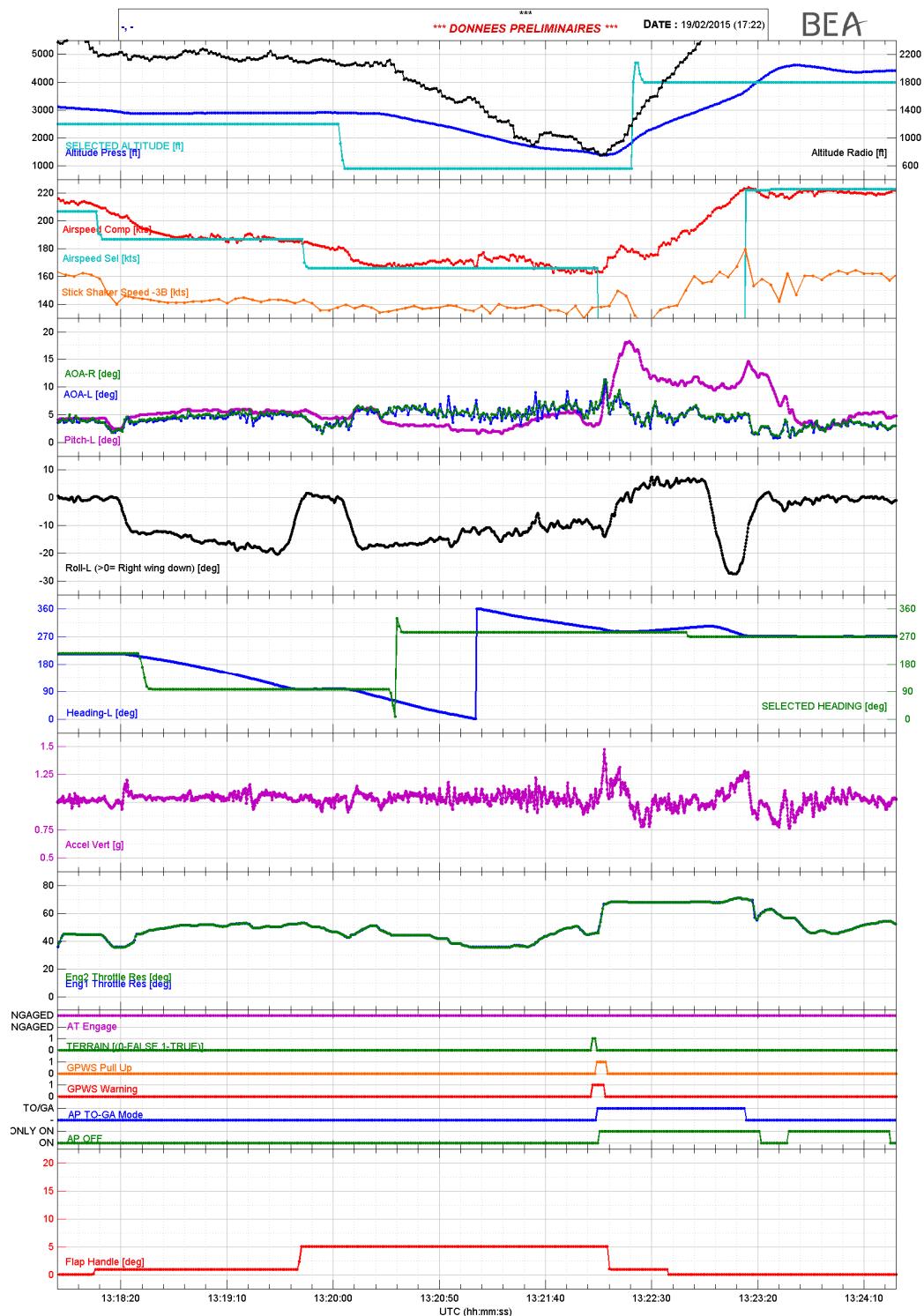
Pourtant, cette consigne française ne semble pas avoir de socle règlementaire international, elle est mal connue et fait l'objet d'interprétations diverses. Il en résulte que les pratiques sont variées. Parmi les conséquences possibles, les contrôleurs aériens peuvent adopter une attitude attentiste, peu propice à surveillance des trajectoires et à la détection des anomalies.

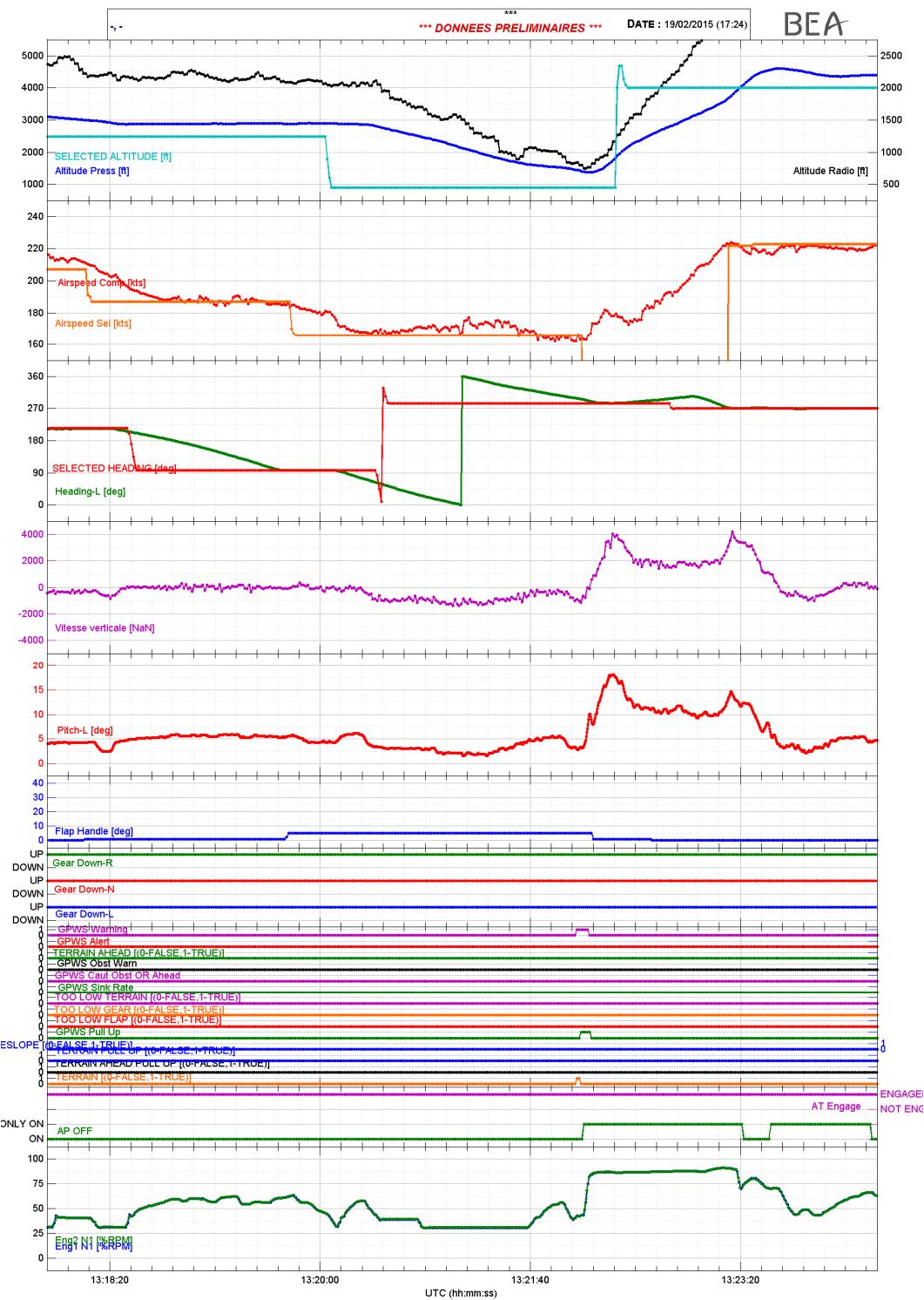
En conséquence, le BEA recommande que :

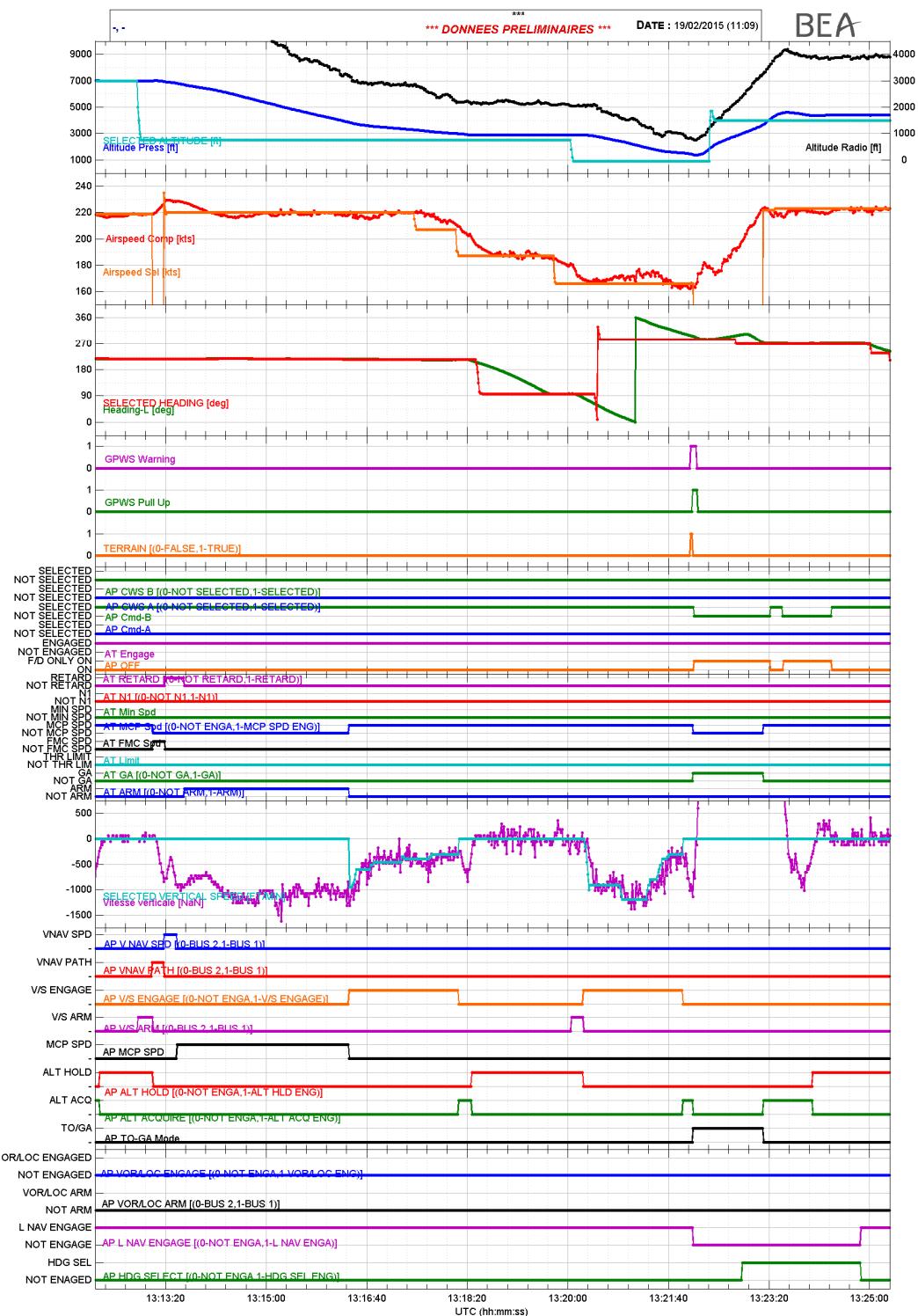
- **La DGAC s'assure de la validité et de la pertinence de cet extrait du § ENR 1.5.2.3 de l'AIP et, selon les résultats de cette vérification, demande à la DSNA de faire apparaître plus clairement cette consigne sur les cartes d'approches ou de supprimer ce paragraphe dans l'AIP France.**
[Recommandation FRAN-2020-005]

ANNEXE

Paramètres de vol enregistrés







BEA

Bureau d'Enquêtes et d'Analyses
pour la sécurité de l'aviation civile

10 rue de Paris
Zone Sud - Bâtiment 153
Aéroport du Bourget
93352 Le Bourget Cedex - France
T : +33 1 49 92 72 00 - F : +33 1 49 92 72 03
www.bea.aero