



Accident survenu au BOEING 737-400
immatriculé **EC-NLS**
exploité par Swiftair
le samedi 24 septembre 2022
à Montpellier - Méditerranée (34)



(Source : GTA)

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 -
Table des matières.....	- 3 -
Glossaire	- 4 -
Synopsis	- 8 -
Organisation de l'enquête	- 9 -
1 Renseignements de base.....	- 10 -
1.1 Déroulement du vol.....	- 10 -
1.2 Tués et blessés.....	- 16 -
1.3 Dommages à l'aéronef.....	- 16 -
1.4 Autres dommages et conséquences	- 16 -
1.5 Renseignements sur le personnel.....	- 16 -
1.6 Renseignements sur l'aéronef	- 21 -
1.7 Renseignements météorologiques	- 31 -
1.8 Aides à la navigation.....	- 36 -
1.9 Télécommunications	- 37 -
1.10 Renseignements sur l'aérodrome	- 37 -
1.11 Enregistreurs de bord	- 43 -
1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact	- 45 -
1.13 Renseignements médicaux et pathologiques	- 45 -
1.14 Incendie	- 45 -
1.15 Questions relatives à la survie des occupants	- 45 -
1.16 Essais et recherches	- 47 -
1.17 Renseignements sur les organismes et la gestion	- 49 -
1.18 Renseignements supplémentaires.....	- 51 -
1.19 Techniques d'enquête utiles ou efficaces.....	- 52 -
2 Analyse	- 53 -
2.1 Introduction.....	- 53 -
2.2 Conscience de la situation météorologique	- 53 -
2.3 Préparation de l'approche	- 55 -
2.4 Réalisation de l'approche	- 57 -
2.5 Atterrissage, sortie de piste	- 61 -
3 Conclusions	- 64 -
3.1 Faits établis par l'enquête	- 64 -
3.2 Facteurs contributifs.....	- 65 -
3.3 Enseignements de sécurité	- 67 -
4 Mesures de sécurité prises depuis l'occurrence	- 69 -
4.1 Mesures de sécurité prises par l'exploitant Swiftair	- 69 -
4.2 Mesures de sécurité prises par l'exploitant d'aérodrome	- 69 -
4.3 Mesures de sécurité prises par les services de navigation aérienne	- 70 -

GLOSSAIRE

Abréviations	Version Anglaise	Version Française
AAL	Above Aerodrome (Airport) Level	Au-dessus du niveau de l'aérodrome
AC	Advisory Circular	Circulaire d'information
AESA (EASA)	European Union Aviation Safety Agency	Agence de l'Union européenne pour la sécurité aérienne
AGL	Above Ground Level	Au-dessus du niveau du sol
AIP	Aeronautical Information Publication	Publication d'information aéronautique
AIREP	Air Report	Compte rendu en vol
ALAR	Approach-and-Landing Accident Reduction	Réduction des accidents en approche et à l'atterrissement
ASPOC		Application de signalisation et prévision des orages pour le contrôle aérien
ATC	Air Traffic Control	Contrôle de la circulation aérienne
ATCO	Air Traffic Control Operator	Agent du contrôle de la circulation aérienne
ATIS	Automatic Terminal Information Service	Service automatique d'information de région terminale
ATPL	Airline Transport Pilot License	Licence de pilote de ligne
ATS	Air Traffic Service	Service du contrôle aérien
Cb	Cumulonimbus	Cumulonimbus
CdB	Captain	Commandant de Bord
CDFA	Continuous Descent Final Approach	Approche finale en descente continue
CODIS		Centre opérationnel départemental d'incendie et de secours
CRM	Crew Resource Management	Gestion des ressources de l'équipage
CVR	Cockpit Voice Recorder	Enregistreur phonique
DGAC		Direction générale de l'Aviation civile
DME	Distance Measuring Equipment	Radio-transpondeur de mesure de distance
EADI	Electronic Attitude Director Indicator	Indicateur électronique directeur d'attitude

Abréviations	Version Anglaise	Version Française
ECCAIRS	European Co-ordination Center for Accident and Incident Reporting Systems	
EFB	Electronic Flight Bag	Système de documentation électronique
EFIS	Electronic Flight Instruments System	Système d'instruments de vol électroniques
EGPWS	Enhanced Ground Proximity Warning System	Avertisseur de proximité du sol amélioré
EHSI	Electronic Horizontal Situation Indicator	Indicateur électronique de situation horizontale
EOFDM	European Operators Flight Data Monitoring	
FAA	Federal Aviation Administration	Autorité des Etats-Unis en charge de l'Aviation civile
FAF	Final Approach Fix	Repère d'approche finale
FCOM	Flight Crew Operations Manual	Manuel d'exploitation des équipages
FCTM	Flight Crew Training Manual	Manuel de formation des équipages
FDM	Flight Data Monitoring	
FDR	Flight Data Recorder	Enregistreur de paramètres
FIR	Flight Information Region	Région d'information de vol
FMC	Flight Management Computer	
FSF	Flight Safety Foundation	
ft	Feet	Pieds
GPS	Global Positioning System	Système de positionnement par satellite
GRF	Global Reporting Format	Format de report global
IAF	Initial Approach Fix	Repère d'approche initiale
IATA	International Air Transport Association	Association internationale du transport aérien
ILS	Instrument Landing System	Système d'atterrissement aux instruments
IMC	Instrument Meteorological Conditions	Conditions météorologiques de vol aux instruments
ISA	International Standard Atmosphere	Atmosphère type international
kt	Knots	Noeuds
LDA	Landing Distance Available	Longueur utilisable à l'atterrissement

Abréviations	Version Anglaise	Version Française
LDTA	Landing Distance at Time of Arrival	Distance d'atterrissement au moment de l'arrivée
LOC	LOCalizer	Radiophare d'alignement de piste
LOSA	Line Operations Safety Audit	Audit de sécurité des opérations en ligne
LVO	Low Visibility Operations	Opérations par faible visibilité
MCP	Mode Control Panel	Panneau de contrôle des modes
MEHT	Minimum Eye Height at Threshold	Hauteur minimale de l'œil du pilote au-dessus du seuil
METAR	Aerodrome routine meteorological report	Message d'observation météorologique régulière d'aérodrome
MOC	Management of Change	Gestion des changements
NPA	Non-Precision Approach	Approche de non-précision
NM	Nautical Miles	Milles marins
OACI	International Civil Aviation Organization (ICAO)	Organisation de l'Aviation Civile Internationale
OFP	Operational Flight Plan	Plan de vol exploitation
OM	Operations Manual	Manuel d'exploitation
OPC	Operator Proficiency Check	Contrôle hors ligne
PAPI	Precision Approach Path Indicator	Indicateur de pente d'approche
PF	Pilot Flying	Pilote aux commandes
PM	Pilot Monitoring	
PRM	Pilot Reference Manual	
psi	Pound per Square Inch	Livre par pouce carré
PWS	Predictive Windshear System	Système prédictif de cisaillement de vent
QNH		Calage altimétrique requis pour lire une altitude
QRH	Quick Reference Handbook	
RCR	Runway Condition Report	Rapport d'état de piste
RESA	Runway End Safety Area	Aire de sécurité d'extrémité de piste
RFFS	Rescue Fire Fighting Service	voir SSLIA
RNAV	aRea NAVigation	Navigation de surface
RNP	Required Navigation Performance	Performance de navigation requise
RWYCC	Runway Condition Code	Code d'état de piste

Abréviations	Version Anglaise	Version Française
SGS	Safety Management System (SMS)	Système de gestion de la sécurité
SIGMET	SIGNificant METeorological Phenomena	Messages de phénomènes météorologiques en route spécifiés
SOP	Standard Operating Procedures	Procédures standard d'exploitation
SSLIA		Services de sauvetage et de lutte contre l'incendie des aéronefs
STAC		Service Technique de l'Aviation Civile
TAF	Terminal Area Forecast	Prévision d'aérodrome
TAWS	Terrain Awareness and Warning System	Système avertisseur de proximité du sol
TDZ	Touch-Down Zone	Zone de toucher des roues
TEM	Threat and Error Management	Gestion des menaces et des erreurs
TEMSI		Carte de prévision du temps significatif
TMA	Terminal Manoeuvring Area	Région de contrôle terminale
TOGA	Take-Off Go-Around	Décollage / Remise des gaz
TRE	Type Rating Examinator	Examinateur de qualification de type
TRI	Type Rating Instructor	Instructeur de qualification de type
UE		Union européenne
UTC	Universal Time Coordinated	Temps universel coordonné
Vapp	Approach Speed	Vitesse d'approche
VMC	Visual Meteorological Conditions	Conditions météorologiques de vol à vue
VNAV	Vertical Navigation	Mode de guidage vertical
VOR	VHF Omnidirectional Range	Radiophare omnidirectionnel VHF
Vref	Approach Reference Speed	Vitesse d'approche de référence
V/S	Vertical Speed	Vitesse verticale

SYNOPSIS

Aéronef	Boeing 737-400 immatriculé EC-NLS
Date et heure	24 septembre 2022, à 0 h 37 ¹
Exploitant	Swiftair S.A.
Lieu	Montpellier - Méditerranée (34)
Nature du vol	Transport commercial de courrier
Personnes à bord	Commandant de bord (PM), copilote (PF), 1 membre d'équipage technique
Conséquences et dommages	Avion fortement endommagé

Cisaillement de vent, atterrissage long, sortie longitudinale de piste à l'atterrissement

Dans la nuit du 23 au 24 septembre 2022, l'équipage du Boeing 737-400 immatriculé EC-NLS, exploité par Swiftair, effectuait un vol de transport de courrier entre Paris - Charles de Gaulle et Montpellier - Méditerranée. Le commandant de bord (CdB), en place gauche, était *Pilot Monitoring* (PM), le copilote, en place droite, était *Pilot Flying* (PF). Un mécanicien était également à bord de ce vol, assis en zone cargo.

Après avoir préparé et briefé l'approche ILS pour la piste 30R, l'équipage a été informé du changement de piste en service. Il a alors préparé l'approche VOR-DME pour la piste 12L. La nouvelle approche n'a pas été briefée.

Une cellule orageuse s'approchait de l'aéroport depuis le sud-ouest. Au moment de l'approche, l'équipage avait une faible conscience de la présence de cette menace météorologique, malgré les informations à leur disposition.

En courte finale, le CdB et le copilote ont échangé leur rôle d'un commun accord. Le copilote, désormais PM, n'a pas assuré les tâches de surveillance.

Lors du passage du seuil, l'avion a subi un cisaillement de vent, caractérisé par une brusque réduction du vent arrière. Ce phénomène n'a pas été détecté par l'équipage qui n'a pas perçu son impact sur les paramètres de vol. En particulier il n'a pas remarqué que l'avion dépassait la zone de toucher sans entrer en contact avec le sol.

L'avion a touché la piste au-delà de la zone de toucher, à environ 1 500 m du seuil de piste 12L. Il est ensuite sorti longitudinalement de piste et a terminé sa course dans l'étang de l'Or.

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

ORGANISATION DE L'ENQUÊTE

Le 24 septembre 2022 vers 1 h, le BEA a été informé de l'accident par les services de permanence opérationnelle de la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC).

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 (Espagne, États-Unis) et leurs conseillers (Swiftair, Boeing, Honeywell) ont été associés à l'enquête au titre de l'État d'immatriculation et de l'État du constructeur. 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. Il a également été envoyé aux conseillers techniques du BEA : l'AESA, la DGAC, Météo-France, l'exploitant de l'aérodrome et Safran Aircraft Engines.

1 RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1 Déroulement du vol

Note : Les informations suivantes sont principalement issues des enregistreurs de vol CVR et FDR, et des témoignages.

L'équipage réalise le premier vol d'une rotation de trois étapes, au départ de Paris - Charles de Gaulle (95) et à destination de Montpellier - Méditerranée. Le décollage a lieu à 23 h 33.

À 23 h 50, en croisière, le copilote, PF, réalise le briefing pour une approche ILS pour la piste 30R à Montpellier². L'atterrissement est prévu volets 30, le freinage automatique est sélectionné sur le mode 2 (voir § 1.6.6.8).

Après avoir réalisé la checklist avant descente, l'équipage discute des réglages du radar en raison d'échos que le copilote attribue au mauvais temps, mais que le CdB attribue au relief. Le CdB explique au copilote les réglages pour distinguer les échos liés à la météorologie des échos liés au terrain. Il lui recommande, à ce moment du vol, de placer le tilt du radar sur +1° ou 0°.

À 0 h 02, le PM contacte temporairement la tour de Montpellier pour obtenir les informations météorologiques actualisées. Le contrôleur lui fournit les conditions (voir § 1.7.2), notamment une visibilité de 2 700 m, un vent du 130° pour 14 kt, de la pluie, la présence de cumulonimbus (Cb), un code d'état de piste valant 555³, et l'informe que la piste 12L est en service. Il l'informe également qu'un orage vient de passer sur l'aérodrome et que les conditions changent rapidement.

L'équipage commence à préparer l'approche VOR Z^{4,5} pour la piste 12L. En particulier, ils discutent du mode vertical pour la descente finale (VNAV ou V/S) sans prendre une décision claire.

À 0 h 14, l'équipage commence la descente. Dans les minutes qui suivent, l'équipage continue à discuter de la trajectoire à suivre pour rejoindre l'approche finale, le copilote n'ayant jamais réalisé d'approche à Montpellier.

À 0 h 20, l'équipage quitte la fréquence du Contrôle En Route et contacte le contrôle de Montpellier. Le contrôleur les informe que la visibilité s'améliore, mais qu'il pleut encore. Il leur confirme le code d'état de piste à 555, mais leur indique qu'un trafic précédent⁶ avait rapporté

² L'équipage s'est basé pour cela sur l'information de piste en service à Montpellier fournie par le contrôleur en route, conforme avec l'ATIS en vigueur à Montpellier à cet instant du vol.

³ Voir § 1.10.5. Par abus de langage dans ce rapport, et pour simplification, de la même manière que dans un message ATIS, un code à trois chiffres est utilisé pour décrire l'état de l'ensemble de la piste, le premier chiffre correspondant au code RWYCC du premier tiers de piste, le second à celui du deuxième tiers de piste et le troisième à celui du dernier tiers de piste dans le sens d'utilisation de la piste.

⁴ La procédure initialement autorisée pour la piste 12L était la procédure RNP, mais l'avion n'était pas équipé pour une telle procédure.

⁵ Cette approche a un plan de descente finale de 3,66°.

⁶ L'information avait été fournie par un équipage qui avait atterri en piste 12L à 19 h 45, soit près de quatre heures avant l'arrivée de l'EC-NLS, et qui avait mentionné deux très grandes flaques d'eau (« two very large puddles in the middle of the touchdown zone »).

de l'eau stagnante au niveau de la zone de toucher de la piste 12L et que le code d'état de piste pourrait être à 255. Après l'échange avec le contrôleur, discutant cet aspect, le PM explique au PF que des flaques ont été rapportées au niveau de la zone de toucher, mais que le code d'état de piste reste à 555.

À 0 h 26, à 32 NM du VOR FJR, le contrôleur autorise l'équipage à l'approche VOR Z pour la piste 12L. Le pilote automatique et l'automanette sont actifs. Le mode VOR/LOC est engagé peu avant de passer l'IAF. Une discussion s'engage sur le choix du mode vertical : le PF pensait utiliser VNAV tandis que le PM pensait qu'il allait utiliser V/S. Le mode V/S est utilisé.

À 0 h 30, passant 5 000 ft⁷ en descente, à 19 NM du VOR, la check-list approche est réalisée. À ce moment du vol, le briefing pour l'approche en piste 12L n'a pas été formellement réalisé.

Deux minutes plus tard, alors que l'avion est sur le palier d'approche intermédiaire à 4 000 ft, l'équipage configure l'avion train sorti, volet 30, configuration retenue pour l'atterrissement. La vitesse sélectionnée est de 159 kt. Le PM propose au PF de choisir une vitesse d'approche Vapp entre 140 et 143 kt (la Vref vaut 136 kt), en prenant en compte un vent de face de 14 kt. Le PF sélectionne une vitesse de 143 kt.

À 11,4 NM du VOR, soit à 0,3 NM du FAF (symbole ✕ sur la **Figure 1** ci-après), alors que la vitesse commence à diminuer, le mode de descente V/S est sélectionné et le PF annonce un taux de descente de 900 ft/min⁸. L'avion subit un vent du nord pour 20 kt à ce moment du vol, sa vitesse sol est de 183 kt.

⁷ Sauf mention contraire, les altitudes mentionnées sont des altitudes QNH.

⁸ La vitesse verticale sélectionnée n'est pas enregistrée sur le FDR. Hormis en cas d'annonce de la sélection de vitesse verticale par le PF entendue au CVR, il n'a pas été possible de déterminer avec certitude quelle vitesse verticale a été sélectionnée.

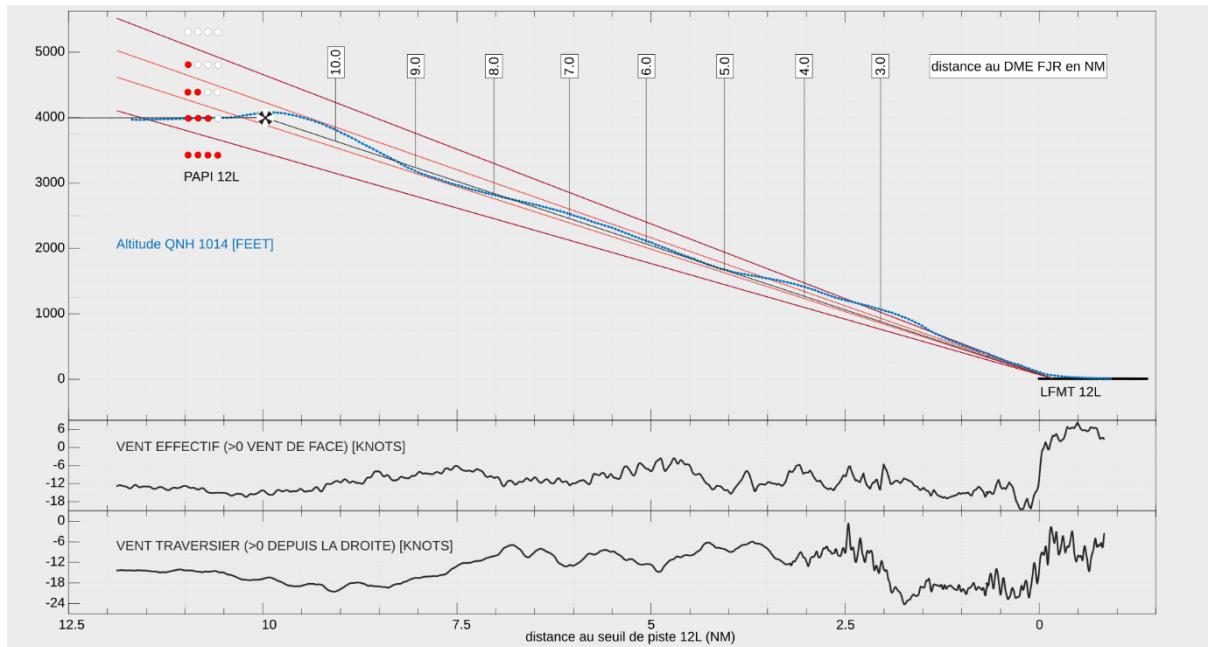


Figure 1 : trajectoire dans le plan vertical et vent^{9 10} (Source : BEA)

(les étiquettes chiffrées correspondent aux points de contrôle altitude/distance VOR-DME de la procédure)

Approchant du point de contrôle altitude-distance à 10 NM, le PM annonce au PF que l'avion est au-dessus du plan de descente. Le PF appelle la check-list atterrissage. L'avion passe le point de contrôle des 10 NM 200 ft au-dessus de l'altitude publiée. Pendant que la check-list est réalisée, le taux de descente augmente vers des valeurs de l'ordre de 1 700 ft/min¹¹.

À 9 NM du VOR, l'avion rejoint le plan de descente publié, la vitesse est de 146 kt, la vitesse sol est de 158 kt. Le taux de descente se stabilise autour de 800 ft/min.

À trois reprises, le PM suggère d'augmenter le taux de descente. Le PF semble hésiter en lui disant que 1 000 ft/min lui semble beaucoup. À 7 NM du VOR, l'avion est près de 100 ft au-dessus du plan, la vitesse est de 144 kt, la vitesse sol est de 160 kt.

À 0 h 34, l'équipage est autorisé à atterrir. L'information de vent fournie par le contrôleur est de 040° pour 8 kt. L'équipage ne relève pas le changement d'information de vent au sol, par rapport à la valeur fournie précédemment par le contrôleur. L'avion subit à ce moment un vent du nord de l'ordre de 14 kt.

Passant le point de contrôle à 6 NM du VOR, l'avion est près de 100 ft au-dessus du plan, la vitesse est de 146 kt, la vitesse sol est de 155 kt. Le PM suggère de maintenir le taux de descente à 900 ft/min.

⁹ La distance au seuil est inférieure de 0,9 NM à la distance au VOR utilisée comme référence pour l'approche par l'équipage.

¹⁰ Les valeurs de vent utilisées sur cette figure sont celles résultant d'un calcul réalisé par le BEA sur la base des données enregistrées (voir § 1.11.1).

¹¹ La vitesse verticale n'est pas enregistrée sur le FDR. Les valeurs utilisées dans le rapport sont des valeurs calculées à partir de l'évolution de la valeur d'altitude enregistrée.

Peu avant de passer 5 NM du VOR, à 1 800 ft, la vitesse diminue à 136 kt. Le PM fait une annonce « *SPEED* ». Le taux de descente a diminué jusqu'à environ 550 ft/min. Le PF mentionne une rafale. Au point de contrôle altitude-distance à 5 NM, l'équipage vérifie que l'avion est sur le plan.

À 4 NM du VOR, l'avion est à 1 430 ft, 180 ft au-dessus du plan. Le taux de descente augmente vers 1 000 ft/min puis diminue vers 800 ft/min. La vitesse est de 150 kt en diminution. La vitesse sol est de l'ordre de 155 à 160 kt. L'équipage ne réalise pas de contrôle altitude-distance à ce moment. Il affiche les minima au MCP.

Le bruit des essuie-glaces est perçu sur l'enregistrement CVR à partir de 0 h 35 min 31.

À 0 h 35 min 35, le PF annonce piste en vue. L'avion est à 3,5 NM du VOR, à 1 200 ft (soit près de 120 ft au-dessus du plan), la vitesse est de 145 kt, la vitesse sol de 155 kt. Une discussion s'engage entre le PM et le PF sur la confirmation de l'identification de la piste.

Après cet échange, l'équipage constate qu'ils sont « un peu haut ». Il est probable que l'équipage distingue le PAPI¹². Le point de contrôle altitude-distance à 3 NM n'est pas formalisé.

Passant l'objectif de stabilisation à 1 000 ft AAL, l'avion est configuré pour l'atterrissage, près de 200 ft au-dessus du plan. Le taux de descente est de l'ordre de 900 ft/min, le régime N1 est stable aux environs de 60 %, la vitesse est de 148 kt (Vapp+5). La vitesse sol est de 156 kt. Le vent est du nord de l'ordre de 15 kt. Le PM suggère de passer en pilotage manuel pour rejoindre l'axe de la piste. L'annonce de vérification de la stabilisation n'est pas réalisée.

À 0 h 35 min 53, le PF désengage le pilote automatique et l'automanette. Simultanément, il tire légèrement les manettes de poussée. Le régime N1 des deux moteurs diminue vers 50 %. Des actions au volant en roulis sont enregistrées, cohérentes avec une action de recherche de l'axe de piste¹³. Pendant cette phase, l'assiette est réduite d'un degré. La vitesse diminue légèrement vers 142 kt. Le taux de descente augmente vers 1 900 ft/min. Le PM annonce à cinq reprises « *SINK RATE* ».

Le PF effectue une action à cabrer. La vitesse verticale diminue vers 1 200 ft/min. L'avion passe les minima à 670 ft¹⁴. Les annonces « *300 ft above minimums* », « *approaching minimums* » et « *minimums* » n'ont pas été réalisées. Le PM identifie et verbalise une composante de 21 kt de vent traversier venant de la droite¹⁵. La vitesse est de 145 kt, la vitesse sol est de 159 kt.

À 0 h 36 min 08, à 2 NM du VOR, alors que l'avion est à 568 ft, le CdB propose au copilote de prendre les commandes. Le copilote acquiesce et le CdB annonce « *I have controls* ». Le CdB est désormais PF.

¹² L'évaluation de la position de l'avion à ce moment montre que si l'équipage distinguait le PAPI, celui-ci devait indiquer quatre lumières blanches.

¹³ Boeing considère que ces actions en roulis sont également une indication d'un niveau de charge de travail élevé lié à une atmosphère turbulente.

¹⁴ Les minimums publiés pour un avion de catégorie C à laquelle appartient l'EC-NLS sont de 620 ft. L'exploitant exige d'ajouter 50 ft à cette valeur en cas d'approche de non-précision avec un profil de descente finale continue (CDFA).

¹⁵ Le vent est en réalité de la gauche.

L'avion passant 430 ft, les manettes de poussée sont avancées de quelques degrés, le régime N1 des deux moteurs augmente vers 66 %, la vitesse augmente vers 156 kt. Une brève action à tirer sur les manettes de poussée est enregistrée, suivie d'un retour vers la position originale. Les N1 réduisent vers 50 % puis se rétablissent à 66 %, la vitesse diminue vers 150 kt. La vitesse sol se maintient à 166 kt.

Alors que l'avion descend de 250 ft à 210 ft, le vent tourne légèrement au 350° et forcit jusqu'à 30 kt. La composante de vent arrière augmente de 12 kt à 20 kt. La composante de vent traversier se maintient autour de 17 kt de la gauche.

En près de quatre secondes, alors que l'avion descend de 200 ft à 100 ft, le vent subi par l'avion tourne du 350° au 70° et décroît de 30 kt à 8 kt. La vitesse de l'avion augmente jusque 170 kt. La vitesse sol augmente légèrement à 170 kt.

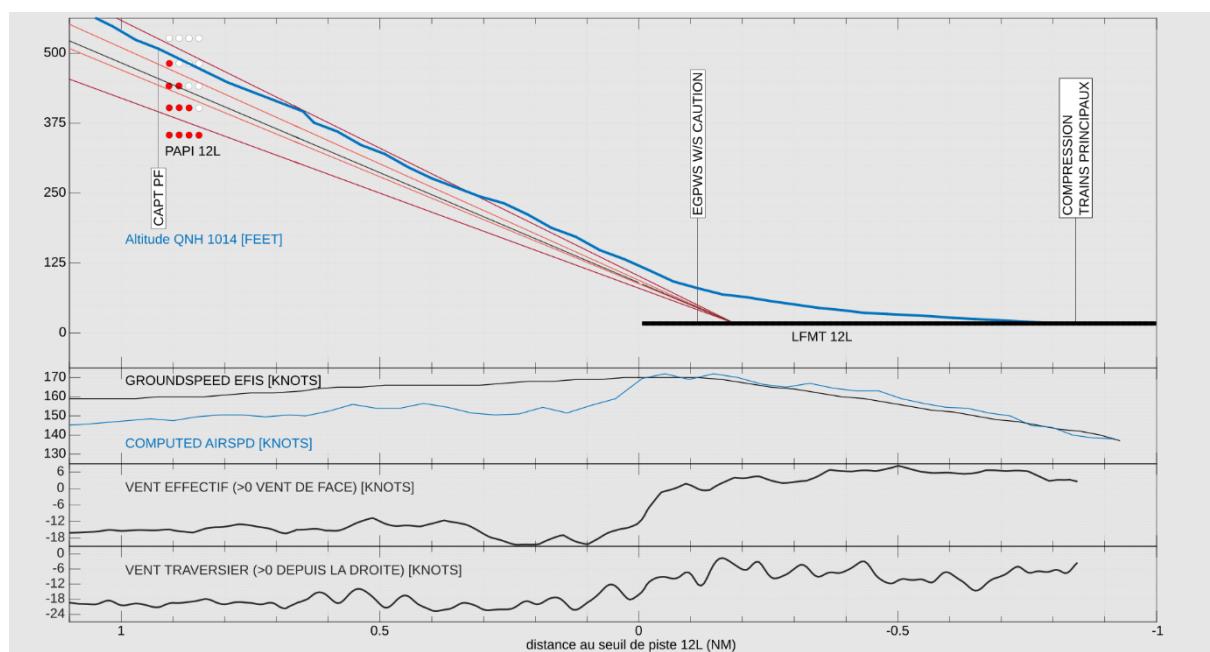


Figure 2 : trajectoire dans le plan vertical et vent (zoom) (Source : BEA)

À 0 h 36 min 32, l'avion franchit le seuil de piste 12L à une hauteur de 100 ft, annoncée par la voix synthétique. Le PF tire les manettes de puissance de 10° sans les placer sur Idle¹⁶, le régime N1 des deux moteurs est réduit de 66 % à 38 %. Le PF donne des actions à cabrer et à piquer successives, l'assiette évolue de 0,5° à piquer vers 2,5° à cabrer.

À 0 h 36 min 35, la voix synthétique annonce 50 ft. Le PF effectue une correction de roulis de 6° à droite vers un roulis de 4° à gauche. La vitesse air et la vitesse sol de l'avion sont de 170 kt.

À 0 h 36 min 37, la voix synthétique annonce 40 ft.

À 0 h 36 min 39, la voix synthétique annonce 30 ft.

¹⁶ La plage de valeur du paramètre de position de la manette de puissance s'étend de 0° (IDLE) à 45° (TOGA).

À 0 h 36 min 41, la voix synthétique annonce 20 ft. La vitesse de l'avion est de 159 kt. Le PF tire les manettes de poussée vers Idle, les N1 décroissent vers 32 %. Une action à cabrer plus franche est enregistrée.

À 0 h 36 min 44, la voix synthétique annonce 10 ft.

Six secondes plus tard, à 0 h 36 min 50, l'ensemble des paramètres¹⁷ montre que le train principal touche la piste. La vitesse de l'avion est de 144 kt. L'avion est à 1 500 m du seuil de piste 12L. Il est à 1 100 m de l'extrémité de piste.

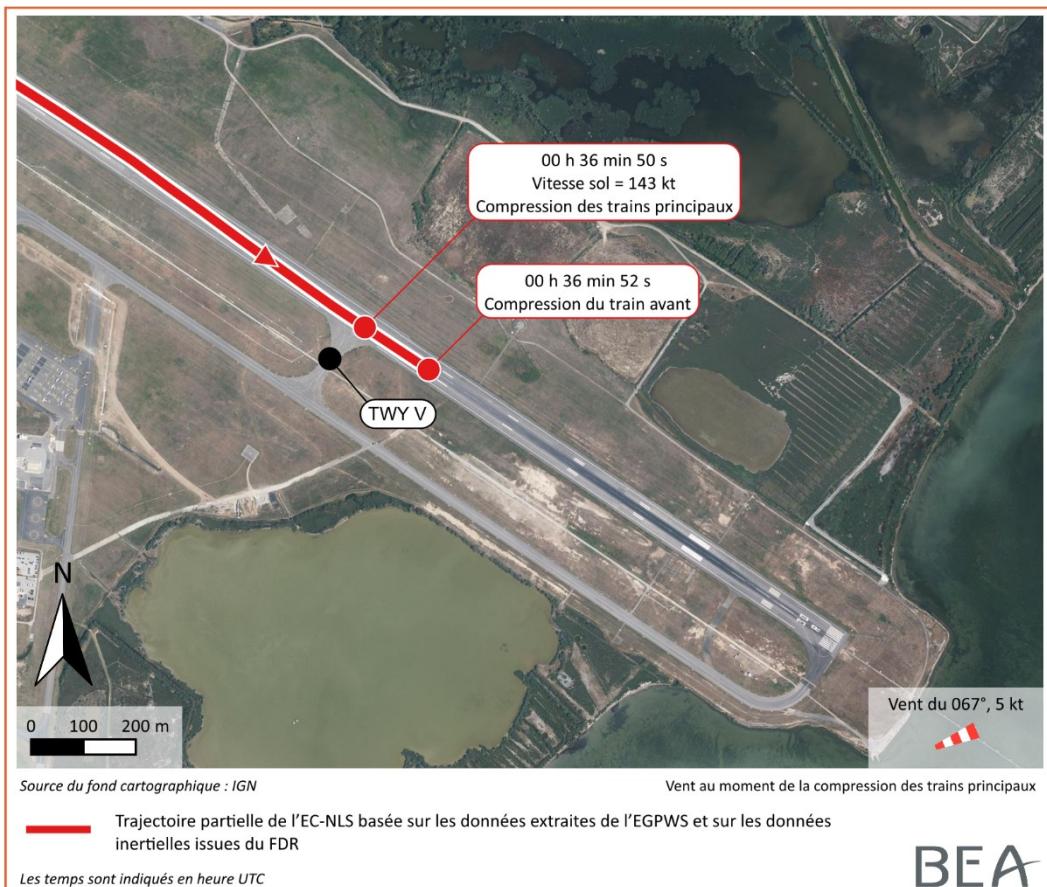


Figure 3 : point de toucher des roues

Dans la seconde qui suit, le dispositif automatique de réduction de portance (*ground spoilers*) se déclenche.

À 0 h 36 min 53, les manettes de commande des inverseurs de poussée sont positionnées sur REV IDLE. Les inverseurs de poussée se déploient dans la seconde qui suit. Une pression asymétrique est enregistrée au niveau des freins, avec une pression de 385 psi à gauche et 1 485 psi à droite, ainsi qu'une légère pression sur le palonnier droit. La décélération est de l'ordre de 0,3 g.

¹⁷ Les paramètres des capteurs AIR/GROUND des trains passent une seconde plus tard à GROUND probablement en raison de la portance résiduelle de l'avion liée à sa vitesse à ce moment, ainsi que des limitations liées à l'échantillonnage et aux temps d'acquisition de ces paramètres par l'enregistreur.

À 0 h 36 min 56, la vitesse sol de l'avion est de 125 kt, les manettes de commande des inverseurs de poussée sont tirées vers la position FULL REV. Le PM, qui n'a effectué aucune annonce depuis qu'il a laissé les commandes au CdB 48 secondes plus tôt, annonce « *REVERSE* ».

La pression sur les freins est augmentée, toujours de manière asymétrique.

À 0 h 37 min 06, la vitesse sol de l'avion est de 85 kt, l'action de freinage devient symétrique, avec plus de 2 900 psi sur chaque côté, cohérente avec une action de freinage manuel maximum. Les régimes N1 atteignent 80 %. La décélération augmente à 0,37 g.

La sortie de piste est estimée à 0 h 37 min 08, avec une vitesse sol de l'ordre de 70 kt.

L'avion finit sa course avec le nez dans l'étang de l'Or. Le CdB demande l'application de la procédure d'évacuation et émet un message *mayday* sur la fréquence.

1.2 Tués et blessés

Les trois personnes à bord sont indemnes.

1.3 Dommages à l'aéronef

L'avion a subi des dommages importants au niveau de la zone du train avant et des groupes propulseurs. La partie avant inférieure de l'avion est restée immergée pendant plus de 24 heures.

Au vu de ces dommages, les propriétaires de l'avion ont décidé qu'il n'était pas économiquement justifié de le réparer. Celui-ci a été démantelé dans les mois qui ont suivi l'accident.

1.4 Autres dommages et conséquences

Trois balises du seuil de piste 30R, ainsi qu'une balise de la rampe d'approche, ont été cassées par le passage des roues de l'avion.

En raison de la présence de l'avion dans les servitudes et dans l'axe de la piste, l'aéroport a été fermé pendant près de 60 heures.

1.5 Renseignements sur le personnel

1.5.1 Équipage de conduite

1.5.1.1 Commandant de bord

1.5.1.1.1 Qualifications, expérience, entraînement, programmation de vol

Le CdB, âgé de 48 ans, était titulaire d'une licence ATPL(A), délivrée en juin 2007. Son expérience totale était de 14 390 heures de vol, dont 12 173 sur Boeing 737 et 7 890 en qualité de CdB.

Il avait disposé des qualifications TRI et TRE sur 737 sur une licence délivrée par les autorités aéronautiques d'Oman. Il aurait réalisé près de 3 500 heures de vol en qualité d'instructeur ou d'examinateur¹⁸.

Il avait été recruté par Swiftair en septembre 2021. Il était basé à Paris - Charles de Gaulle depuis juin 2022.

¹⁸ Ces informations n'ont pas été vérifiées par le BEA auprès des autorités d'Oman.

Son dernier test en ligne avait été réalisé en novembre 2021. Son évaluation générale avait été qualifiée de « *high standard* » et ses compétences non techniques « très bonnes »¹⁹.

Son dernier entraînement périodique sur simulateur avait eu lieu en juillet 2022. Son évaluation générale était qualifiée à mi-chemin entre « *standard* » et « *high standard* ». L'évaluation des compétences non techniques était qualifiée de « bonne ». Dans les commentaires additionnels, l'évaluateur avait souligné un bon contrôle de l'avion, une bonne conscience de la situation et « une bonne attitude ». Il avait également proposé comme piste d'amélioration d'améliorer l'utilisation des annonces opérationnelles standard.

Dans la semaine avant le vol de l'accident, il n'avait pas volé. Son dernier vol datait du 10 septembre 2022.

1.5.1.1.2 Témoignage

Le CdB explique qu'ils avaient évalué la distance d'atterrissement à 4 500 ft environ (1 400 m), soit près de la moitié de la LDA, sur la base de l'état de piste 555 qu'ils avaient reçu. Il était conscient que la piste était mouillée et qu'il pleuvait. La stratégie choisie pour l'atterrissement était de sélectionner le niveau 2 de freinage automatique pour ainsi bénéficier de l'activation immédiate du freinage dès le toucher des roues, puis d'appliquer rapidement un freinage manuel. Il explique qu'ils avaient également prévu d'utiliser les inverseurs de poussée avec pleine puissance plutôt que la poussée ralentie. Ils sont habitués à utiliser la poussée ralentie sur les inverseurs en raison de contraintes liées au bruit dans le contexte des vols de nuit qu'ils réalisent.

Il se rappelle qu'ils ont identifié la piste à une distance importante. Il ne se rappelle pas à quel moment ils ont activé les essuie-glaces, mais se souvient qu'ils ont évoqué la pluie pendant l'approche. Il ne se rappelle pas d'écho particulier sur le radar météorologique pendant l'approche. Il explique qu'ils étaient conscients qu'il y avait du mauvais temps, qu'il pleuvait, mais ils n'avaient pas d'écho au radar météo sur la finale ni sur la trajectoire d'approche interrompue.

La vitesse verticale était d'environ 900 ft/min pour l'approche finale. Il indique que sur un plan à 3,66°, le taux de descente est très proche du critère de stabilisation de 1 000 ft/min.

Il explique qu'il avait répété l'annonce « *SINK RATE* » plusieurs fois, qu'ils avaient eu une vitesse verticale de près de 2 000 ft/min, qu'il sentait que le copilote avait des actions en assiette dans des directions contraires importantes, de manière alternée. Pour ces raisons, avec le risque lié à l'effet « trou noir » à l'approche du seuil, il a proposé au copilote de reprendre les commandes.

À ce moment, il n'a pas interrompu l'approche car ils avaient la piste en vue et que la visibilité était bonne. Malgré ses annonces *SINK RATE*, il considérait qu'il pouvait quand même réaliser l'atterrissement. Il estimait qu'ils étaient stabilisés, que les paramètres de vol étaient dans les fenêtres et qu'il n'y avait pas de raison de remettre les gaz au moment où il a repris les commandes. Lorsqu'il a repris les commandes, il se rappelle avoir regardé la vitesse, mais il ne se rappelle pas avoir augmenté la puissance. Il pense que son action sur les manettes de poussée était peut-être une action au « *feeling* ». Il s'est alors concentré sur l'extérieur pour l'atterrissement.

¹⁹ Les évaluations sont basées sur 5 niveaux : concernant l'évaluation générale, le « *high standard* » est le niveau 4 et correspond dans la légende du document d'évaluation à « des connaissances et une technique de vol qui améliorent la sécurité des vols ». Concernant les compétences non techniques, le niveau « très bonnes » (« *very good* ») est le niveau maximum et correspond à « un comportement qui améliore les marges de sécurité de manière optimale et qui pourrait être un exemple pour les autres pilotes ».

Il explique qu'à l'arrondi, il n'a pas perçu le marquage du seuil ni celui du numéro de piste. Il a perçu les lumières « orange/rouge »²⁰ quand ils les ont passées. Il ne sait pas estimer à quelle distance sur la piste ils ont touché. Il a senti qu'ils étaient rapides et que l'arrondi a été long.

Il indique qu'il a eu la sensation que la décélération pendant la course à l'atterrissage a été très faible, malgré l'utilisation des inverseurs de poussée et du freinage au maximum. Il a eu l'impression que la piste était « complètement inondée ».

Il savait que l'avion n'était pas équipé de système prédictif de cisaillement de vent, uniquement d'un système réactif.

Concernant l'utilisation du radar, il indique qu'il faut régler le tilt du radar entre 0° et 1° pour l'approche finale.

Il explique que pendant qu'il assurait la fonction PM, au cours de l'approche finale, il était très concentré pour guider le copilote et s'assurer que l'avion restait sur la trajectoire et avec les paramètres dans les fenêtres de stabilisation. C'était une surveillance qui lui a pris beaucoup de ressources. Lorsqu'il a pris les commandes, l'avion était poussé vers la droite de l'axe de piste et il s'est efforcé de le ramener sur l'axe. Il ne se rappelle pas avoir entendu d'annonce de déviation de la part du PM. Cela l'a conforté dans sa décision de poursuivre.

Il indique qu'il fallait un peu guider le copilote lorsqu'il assumait la fonction de PF, mais que la performance de celui-ci était bonne, au vu de sa faible expérience sur le Boeing 737. Le respect des tâches et de leur répartition était bien suivi. Une fois que les fonctions ont été échangées, il aurait souhaité plus de soutien et de vérification croisée de la part du copilote en tant que PM.

1.5.1.2 Copilote

1.5.1.2.1 Qualifications, expérience, entraînement, programmation de vol

Le copilote, âgé de 52 ans, était titulaire d'une licence ATPL(A), délivrée en octobre 2017. Son expérience totale était de 4 200 heures de vol, dont 186 sur Boeing 737, desquelles 93 avaient été réalisées avec instructeur dans le cadre de son adaptation en ligne sur ce type d'avion.

Il travaillait pour la compagnie Swiftair depuis sept ans. Il volait auparavant sur ATR et avait obtenu la qualification de type Boeing 737 300-900, en mars 2022. Il était basé à Paris - Charles de Gaulle depuis juin 2022.

Le test en ligne, à l'issue de la période d'adaptation en ligne, a été réalisé en juillet 2022. L'évaluation générale était qualifiée de « *standard* », tendant vers « *high standard* », les compétences non techniques de « bonnes ». Quelques déviations par rapport aux annonces opérationnelles standard avaient été notées dans la partie des commentaires de l'évaluation.

²⁰ Il est probable que le CdB fasse ici référence aux lumières jaunes du bord de piste sur les 600 derniers mètres de piste.

Les 14 et 15 septembre 2022, il avait réalisé l'entraînement périodique sur simulateur ainsi que le test OPC. Son évaluation générale avait été qualifiée de « *standard* », débordant sur « *low standard* »²¹, les compétences non techniques de « bonnes ». Dans les commentaires additionnels, l'évaluateur avait souligné un bon CRM et avait suggéré, dans les pistes d'amélioration, de réviser les annonces opérationnelles standard.

Dans la semaine avant le vol de l'accident, il n'avait pas volé. Son dernier vol datait du 9 septembre 2022. Il a été mis en place le matin du 24 septembre, sur un vol entre Marseille et Paris - Charles de Gaulle, avec un décollage programmé à 4 h 20 et un atterrissage à 5 h 50. Pour le vol de l'accident, qui était le premier de la rotation, la prise de service était programmée à 22 h 40.

1.5.1.2.2 Témoignage

Le copilote explique qu'il n'avait jamais réalisé de vol à destination de l'aérodrome de Montpellier. C'était également la première fois qu'il volait avec le CdB. Il pense que c'était aussi la première fois qu'il volait sur l'EC-NLS²².

Il explique qu'ils font très peu d'approches VOR dans le cadre des opérations de Swiftair sur la flotte Boeing 737. Ils font plus généralement des approches ILS ou RNP. Il explique que lorsqu'il volait sur ATR, avant de passer sur Boeing 737, il réalisait également très peu d'approches VOR.

Au sujet de la préparation de l'approche, il explique qu'étant conscient de sa faible expérience sur l'avion et qu'il prend plus de temps pour préparer une approche, il anticipe cette préparation. Après le changement de piste, il pense avoir fait un nouveau briefing. Il se rappelle que le CdB avait calculé la longueur de piste nécessaire pour l'atterrissage et qu'il l'avait estimée à environ 4 000 ft. Il pense que ce calcul a été réalisé après le changement de piste.

Ils avaient une réserve de carburant suffisante à leur arrivée, ce n'était pas un facteur de préoccupation.

Concernant l'approche, il se rappelle qu'ils avaient les essuie-glaces activés et qu'ils voyaient la piste. Cependant, il n'y avait pas d'écho au radar qui l'a interpellé : il se souvient que les échos étaient verts. Il explique que le radar présente des échos de couleur verte, jaune ou magenta. Il ne se rappelle pas s'il y avait des échos jaunes, mais il est sûr qu'il n'y avait pas d'écho magenta. Il se souvient que la pluie s'est intensifiée en courte finale. Il n'a pas noté s'il y avait du vent arrière pendant l'approche.

Entre 2 000 et 1 000 ft, il voyait le PAPI. Il pense qu'ils étaient bien positionnés sur le plan d'approche.

Lorsque le CdB lui a proposé de reprendre les commandes, il a accepté en raison de sa faible expérience sur l'avion, du fait qu'il ne connaissait pas l'aéroport et des conditions météorologiques.

Il n'a pas de souvenirs précis de ce qui s'est passé après avoir donné les commandes au CdB en finale. Il pense qu'il a continué à avoir le regard porté sur la piste. Il était préoccupé par les conditions et ne s'est pas reconcentré sur la surveillance des paramètres (*monitoring*). Il n'a pas vu la vitesse au moment de l'arrondi ou du toucher car il regardait dehors.

²¹ L'évaluation « *low standard* » est décrite comme « connaissances et technique de vol qui n'impactent pas la sécurité, mais qui devraient être améliorées ».

²² L'examen des relevés de vol du copilote confirme cette information.

Il explique qu'il a senti que le vent tournait au moment de l'arrondi, il sentait qu'il était traversier, en provenance de la gauche. Il précise que l'environnement était très obscur et qu'il avait beaucoup de difficultés à percevoir les repères extérieurs.

Il a eu l'impression que l'avion ne freinait pas, qu'il glissait, pendant le roulement à l'atterrissement.

Il explique qu'un des critères de stabilisation pendant l'approche consiste à avoir une vitesse verticale inférieure à 1 000 ft/min. Questionné sur le cas d'un plan d'approche à 3,66° comme celui de l'approche VOR Z 12L à Montpellier, il pense que la valeur maximale de vitesse verticale pour respecter les critères de stabilisation reste la même.

Il savait que l'avion n'était pas équipé de système prédictif de cisaillement de vent, uniquement d'un système réactif. Il sait que l'alarme est visuelle, mais ne sait pas s'il y a également un message d'alerte sonore. Il sait qu'en cas d'alarme (*warning*), il faut interrompre l'approche et qu'en cas d'alerte (*caution*), il n'y a pas d'obligation d'interrompre l'approche. Il n'a jamais eu d'alarme *windshear* en opération.

Concernant l'utilisation du radar, il sait qu'il faut régler le tilt du radar de -5° vers 1° pendant l'approche. Il se rappelle une session d'entraînement en simulateur pendant laquelle l'utilisation du radar a été abordée. Il explique que l'utilisation du radar est différente sur l'ATR, car c'est un avion qui vole à des altitudes plus basses qu'un Boeing 737, altitudes auxquelles les cellules sont plus présentes.

1.5.2 Membre d'équipage technique

Un mécanicien qualifié était présent. Il était assis en zone cargo, dans le *galley* à l'arrière de la cabine de pilotage, séparée de celle-ci par une porte fermée. Sa présence n'a pas eu d'influence dans l'accident.

1.5.3 Personnel des services de contrôle de la circulation aérienne

1.5.3.1 Composition de l'équipe

Au moment de l'accident, deux contrôleurs de la circulation aérienne étaient en service. Leur tour de service avait débuté à 19 h 30.

Seul le chef de tour était en vigie. Le second contrôleur, qui était en salle de repos, est revenu dans la vigie immédiatement lorsqu'il a entendu le déclenchement de l'alerte par le chef de tour.

1.5.3.2 Témoignages

Le chef de tour avait débuté la vacation en faisant un briefing avec l'équipe²³, pour lequel il avait préalablement analysé les infos météorologiques disponibles (messages d'observations et prévisions, outil ASPOC d'observation et de prévision des cellules orageuses, cartes du modèle Arome) afin de fournir à l'équipe une analyse de la tendance des évolutions pour la nuit de service. Il avait également pris connaissance d'un message d'avertissement d'aérodrome émis par Météo-France concernant des orages prévus sur l'aérodrome entre 18 h et 3 h.

²³ Au moment de ce briefing, un troisième contrôleur était présent. Sa vacation s'est terminée avant l'accident.

Il explique que lorsque la pluie a commencé à tomber, vers 20 h²⁴, il a appelé les services SSLIA pour demander s'ils allaient mettre à jour le rapport sur l'état de piste (RCR). Il leur a également indiqué que, selon son analyse, entre minuit et 6 h, un « gros orage » était prévu et qu'il faudrait alors les paramètres précis pour le RCR à l'arrivée du vol de Swiftair.

Vers 23 h 30, le contrôleur a refait un point météorologique. Il avait conscience de la présence d'une zone active au sud de l'aérodrome, avec un flux du sud.

Il se rappelle avoir vérifié l'allumage et le réglage du balisage sur un niveau d'intensité permettant, selon son expérience, une meilleure acquisition visuelle en finale sans pour autant éblouir les équipages.

Il a constaté que l'avion était haut et rapide lorsqu'il approchait de la piste. Il pensait qu'il allait interrompre l'approche. Il a eu l'impression que l'avion avait touché long. Lorsque l'avion s'est immobilisé, il ne percevait pas depuis sa position que l'avion était sorti de piste. C'est lorsque l'équipage a annoncé « *mayday* » qu'il a déclenché l'alerte.

Lorsque son collègue l'a rejoint en salle de contrôle après l'accident, à 0 h 38, celui-ci a regardé l'indicateur de vent sur le poste de contrôle et a mentionné le vent arrière. Cela l'a surpris car il se rappelait avoir autorisé l'équipage à l'atterrissage avec un vent principalement de travers. Le second contrôleur se rappelle également avoir vérifié l'allumage du balisage à son retour en vigie.

Les deux contrôleurs ont exprimé des difficultés à gérer la situation après la sortie de piste. D'une part, en l'absence de relève à disposition, ils ont dû assurer leur fonction de contrôle de la TMA ainsi que les coordinations nécessaires à la gestion de la situation liée à l'accident, malgré l'impact psychologique subi. D'autre part, en raison de leur positionnement et de leurs moyens de communication, ils ont dû gérer un certain nombre de situations liées à l'organisation des secours sur la plate-forme qui ne leur incombaient pas directement (par exemple, la demande d'activation des moyens nautiques, coordinations pour résoudre les problèmes d'accès des moyens externes à la zone côté piste).

1.6 Renseignements sur l'aéronef

1.6.1 Cellule

Constructeur	BOEING		
Type	737 - 400		
Numéro de série	25856		
Immatriculation	EC-NLS		
Mise en service	1993		
Certificat de navigabilité	n° 8419	du 19 octobre 2020	
Certificat d'examen de navigabilité	n° ES.CM.047.RA.003	du 8 juillet 2022	au 3 août 2023
Utilisation au 24 septembre 2022	41 293 cycles, 57 687 heures de vol		
Propriétaire	West Atlantic Sweden		
Exploitant	Swiftair S.A.		

La masse maximale à l'atterrissage est de 54 884 kg.

²⁴ Cet appel téléphonique a en fait eu lieu à 19 h 32 (voir § 1.10.5.4).

1.6.2 Moteurs

	Moteur n° 1	Moteur n° 2
Constructeur	CFM International	CFM International
Type	CFM56-3C1	CFM56-3C1
Numéro de série	856740	858825
Date d'installation	20 juin 2022	11 avril 2017

1.6.3 Livret de suivi technique

Le livret de suivi technique de l'avion ne présentait aucune inscription relative à des défectuosités différencées au moment de la prise en compte par l'équipage au départ.

1.6.4 Équipements et/ou systèmes

1.6.4.1 Instrumentation

L'EC-NLS est équipé d'un EFIS, composé d'un instrument d'indication d'attitude (EADI - *Electronic Attitude Director Indicator*) et d'un instrument de navigation (EHSI - *Electronic Horizontal Situation Indicator*).

L'information de vitesse sol est affichée sur l'EADI.

L'EHSI peut afficher les informations du radar météorologique lorsque cette option est sélectionnée, ce qui était le cas lors de l'atterrissement de l'EC-NLS. Il fournit également une indication de vent, en bas à gauche de l'écran, composée d'une flèche orientée de manière relative au cap de l'avion et d'une information numérique de force et direction.

L'information de vent est également disponible sur le FMC lorsque la page *Progress 2* est sélectionnée, sous la forme d'une information de vent en direction et vitesse, ainsi que d'une décomposition en composantes de vent traversier et de vent de face ou vent arrière.

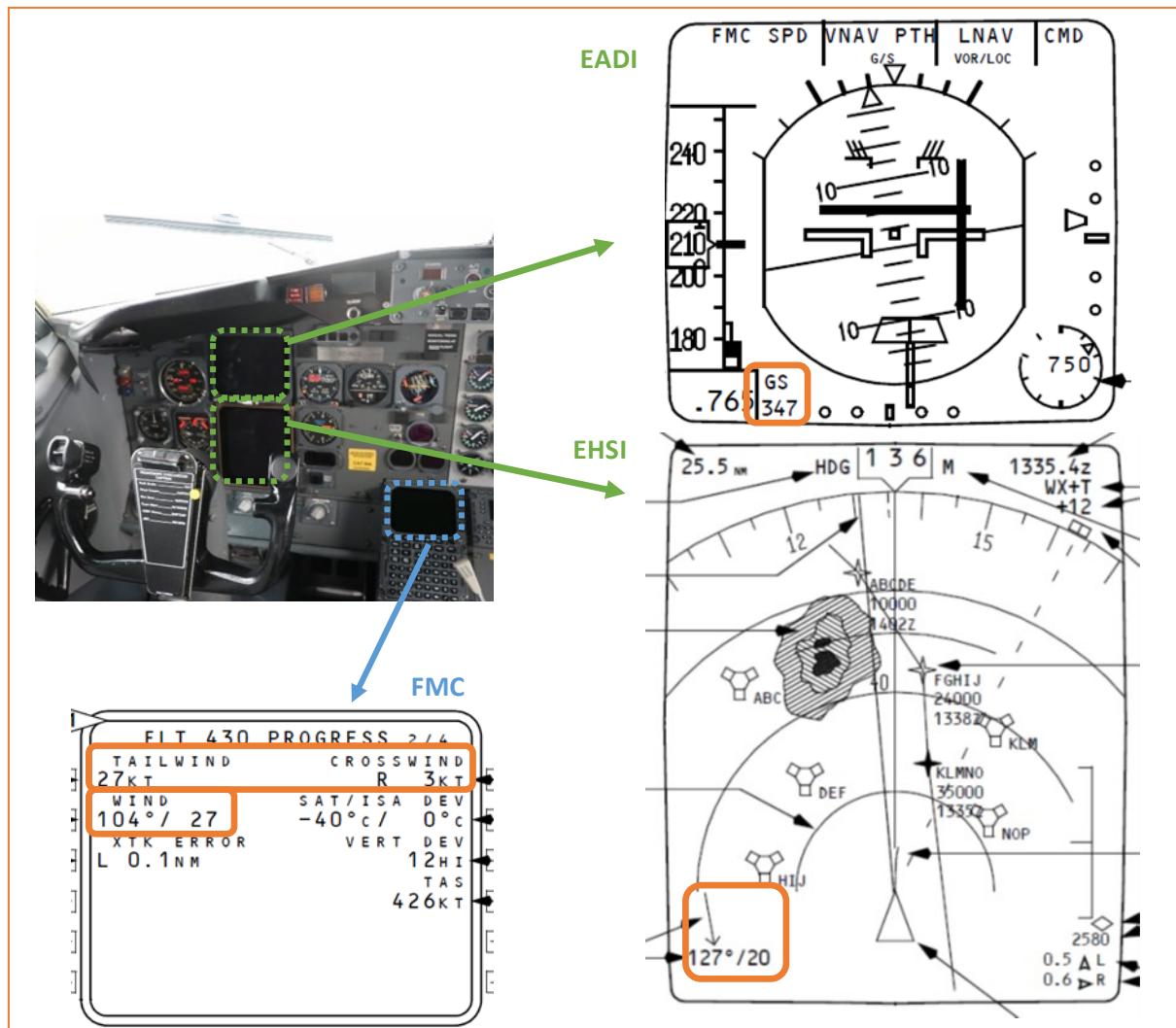


Figure 4 : affichage de la vitesse sol et du vent (Source : Boeing/BEA)

1.6.4.2 Système TAWS / fonctionnalité de détection de cisaillement de vent

L'EC-NLS était équipé d'un EGPWS Mark V, de marque Honeywell, qui intègre en sus de la fonction d'avertissement de proximité du relief, la fonctionnalité de détection réactive de cisaillement de vent.

1.6.4.2.1 Description de la fonctionnalité

Cette détection est active à une hauteur comprise entre 10 et 1 500 ft, pendant les phases de décollage et d'atterrissage. Elle est basée sur la comparaison entre les accélérations inertielles et celles liées à la masse d'air.

Sur le Boeing 737, des alarmes (*warning*) de cisaillement de vent sont générées quand le niveau de cisaillement de vent dépasse certaines valeurs, dans le plan horizontal ou dans le plan vertical (voir **Figure 5**, zone rouge du graphe). Les alarmes sont générées en cas de diminution du vent de face (ou augmentation du vent arrière) ou pour des situations de courant vertical descendant (*downdraft*).

L'EGPWS Mark V est capable de détecter et de générer des alertes (*caution*) en cas d'augmentation du vent de face (ou diminution du vent arrière) ou pour des situations de courant vertical ascendant (*updraft*). La fonctionnalité d'avertissement génère des alertes dans le poste de pilotage uniquement si elle est certifiée et configurée pour l'avion spécifique dans lequel l'EGPWS est installé. Cette fonctionnalité n'a pas été certifiée par Boeing sur le 737.

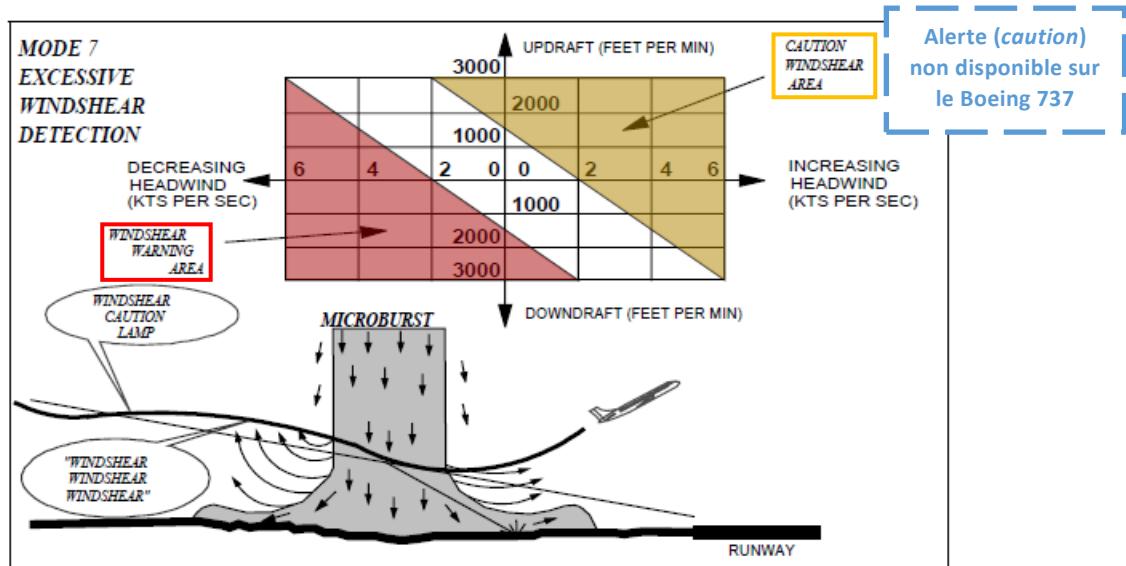


Figure 5 : modes de détection de cisaillement de vent²⁵ (Source : Honeywell, annotations BEA)

Ainsi, la fonctionnalité d'alerte de cisaillement de vent (*windshear caution*) n'était pas disponible sur l'EC-NLS. Pour cette raison, l'équipage n'a pas reçu d'alerte au moment de la détection du cisaillement par l'EGPWS, lors de la brusque réduction du vent arrière entre 200 et 100 ft (voir § 1.11.3).

Selon les critères de certification applicables à l'EC-NLS, cette fonctionnalité n'était pas obligatoire.

Note : La fonctionnalité d'alerte de cisaillement de vent (*windshear caution*) n'avait pas été certifiée par Boeing car elle avait été jugée inefficace lors du développement et de l'évaluation des fonctionnalités TAWS pour les avions Boeing.

1.6.4.3 Radar météorologique

L'EC-NLS est équipé d'un radar météorologique.

Ce radar n'est pas équipé d'un système prédictif de cisaillement de vent (fonction PWS - *Predictive Windshear System*).

Le radar permet d'afficher sur l'écran de navigation l'intensité des précipitations en affichant des couleurs contrastées sur un fond noir. Les zones de précipitations les plus abondantes apparaissent en rouge, le niveau de précipitations inférieur en jaune et le niveau de précipitations le plus faible en vert.

²⁵ Les valeurs des zones de déclenchement d'alertes fournies sur cette figure ne sont pas exactes, mais sont fournies pour illustration.

En mode WX/T, le radar affiche également les précipitations associées à des turbulences. Lorsque le radar détecte un flux horizontal de précipitations avec des vitesses de 5 m/s ou plus, l'affichage de la cible devient magenta. Cette zone magenta est associée à de fortes turbulences.

Le mode IDNT active la fonction de réduction de l'information liée au sol : les signaux qui sont déterminés comme ayant une forte probabilité de provenir de retours au sol sont automatiquement supprimés de l'écran. Le mode IDNT est prévu pour analyse par le pilote et n'est pas destiné à une utilisation continue, car certaines parties des cibles météorologiques peuvent voir leur intensité réduite dans ce mode, voire être supprimées.

Le panneau de contrôle du radar de l'EC-NLS n'est pas décrit dans le FCOM du 737-400 utilisé par Swiftair. D'autres panneaux de contrôle, correspondant à des radars de type différent, y sont décrits. Cette absence d'information est mentionnée dans le manuel de familiarisation de la flotte 737-CL de Swiftair, qui liste les différences entre avions de la flotte. Le panneau de contrôle du radar de l'EC-NLS est identique à celui qui équipe l'EC-NML, sur lequel le copilote avait réalisé 22 vols.



Figure 6 : panneau de commande du radar de l'EC-NLS photographié après l'accident (Source : BEA)

L'examen du panneau de commande du radar après l'accident permet les constatations suivantes :

- les modes WX/T et IDNT sont activés ;
- le tilt de l'antenne est réglé à droite sur une valeur supérieure à 5°.

Il n'a pas été possible de déterminer la valeur de *gain* sélectionnée.

Cet examen ne permet pas d'affirmer que ces réglages étaient ceux en cours pendant l'atterrissement.

1.6.5 Limitations

L'EC-NLS n'est pas approuvé pour la réalisation d'approches RNP²⁶.

1.6.6 Procédures opérationnelles

Les éléments de cette section s'appuient sur l'examen des manuels suivants²⁷ :

- manuel d'exploitation (OM – *Operations Manual*) de Swiftair;
- manuel de référence du pilote (PRM – *Pilot Reference Manual*) de Swiftair applicable à la flotte 737 ;

²⁶ De la flotte de douze 737-CL de Swiftair, cinq ne sont pas équipés pour les approches RNP. Les 737-NG le sont.

²⁷ Ces manuels sont rédigés en langue anglaise. Lorsque des extraits de ces manuels sont cités dans ce chapitre, il s'agit d'une traduction libre réalisée par le BEA. Le texte d'origine peut être consulté dans la version anglaise du rapport.

- manuel d'opération des équipages (FCOM – *Flight Crew Operations Manual*) de Boeing applicable au 737-CL ;
- manuel d'entraînement des équipages (FCTM – *Flight Crew Training Manual*) de Boeing applicable au 737-CL.

1.6.6.1 Briefing

Le briefing standard décrit par l'exploitant dans l'OM n'inclut pas le TEM.

Dans le cas d'une approche de non-précision, l'OM requiert d'inclure dans le briefing la détermination de la vitesse d'approche, basée sur la Vref et le vent, du taux de descente et de la puissance moteur moyenne en résultant. Les causes amenant à décider d'une approche interrompue doivent également être évoquées.

Un nouveau briefing doit être conduit en cas de changement de piste ou de procédure d'approche.

1.6.6.2 Choix de la configuration de volet pour l'atterrissement

Selon le FCTM, l'utilisation des volets 30 à l'atterrissement permet une meilleure réduction du bruit et une réduction des charges sur les volets, ainsi que de leur usure. Lorsque les critères de performance en montée en cas de remise de gaz sont remplis, le FCTM recommande d'utiliser les volets 40 dans le but de minimiser la vitesse et la longueur d'atterrissement.

Une note précise que la longueur et les conditions de piste doivent être prises en compte au moment de choisir la configuration de volets à l'atterrissement.

1.6.6.3 Vitesses d'approche

Le QRH permet de définir la vitesse de référence Vref en fonction de la masse prévue à l'atterrissement et de la configuration choisie.

WEIGHT (1000 KG)	FLAPS		
	40	30	15
70	155	159	177
65	149	154	171
60	143	147	164
55	137	141	156
50	130	134	149
45	124	127	141
40	116	119	132
35	109	111	123

Figure 7 : table de détermination de la Vref (Source : Boeing)

Dans les conditions du vol de l'accident, la masse estimée à l'atterrissement par l'équipage était de 51,5 t. L'équipage a choisi une valeur de Vref de 136 kt pour la configuration volet 30, en cohérence avec le tableau précédent.

Selon le FCTM, dans le cas d'une approche où il est prévu de désactiver l'automanette avant l'atterrissement, la méthode recommandée pour déterminer la Vapp est d'ajouter à la Vref la moitié de la composante prévue de vent de face et la valeur additionnelle de rafale, la valeur minimale de Vapp valant Vref + 5 kt.

L'équipage a choisi une valeur de Vapp de 143 kt, en cohérence avec la valeur de Vref choisie et le vent annoncé de 130° pour 14 kt.

1.6.6.4 Distance d'atterrissement

Selon l'OM, le calcul de la distance à l'atterrissement à l'heure d'arrivée (LDTA - *Landing Distance at Time of Arrival*) doit être réalisé en vol, avant de débuter l'approche, de préférence pas plus de 30 minutes avant l'heure d'atterrissement estimée, sur la base des informations météorologiques et du RCR actualisés. Des tables de calcul sont fournies dans le QRH, en fonction de la configuration, du mode de freinage, de la condition de piste et d'efficacité de freinage. Cette LDTA inclut une marge de sécurité de 15 % par rapport à la distance d'atterrissement théorique.

Le CdB a noté le résultat de son calcul sur l'OFP : il a évalué une LDTA de 4 580 ft (soit 1 396 m) avec une configuration volets 30, un mode de freinage « MAX MANUAL ». Il n'a pas été possible de confirmer quelles conditions exactes il avait prises en compte pour déterminer cette valeur.

Un calcul similaire a été réalisé par le BEA en prenant en compte les conditions suivantes :

- masse prévue à l'atterrissement : 51,5 t ;
- configuration volets : 30 ;
- mode freinage : MAX MANUAL ;
- altitude : 0 ft ;
- vent : 130° / 14 kt (assimilé à 14 kt de vent de face pour le calcul) ;
- condition de piste et efficacité de freinage : piste mouillée, GOOD (RWYCC 5) ;
- pente : 0 % ;
- température : ISA+3 °C ;
- vitesse d'approche : 143 kt pour une V_{ref30} de 136 kt, soit $V_{ref30} + 7$ kt.

Le résultat de ce calcul fournit une valeur de LDTA de 4 840 ft (soit 1 475 m), valeur cohérente avec le calcul effectué par Boeing.

À titre indicatif, pour une configuration volets 40, la valeur de LDTA obtenue dans les conditions de la préparation de l'approche est de 4 750 ft (soit 1 448 m).

Bien que l'OM ne l'exige pas, une bonne pratique consiste à réaliser le calcul en prenant en compte une dégradation des conditions, de manière à connaître la distance nécessaire au cas où une telle dégradation surviendrait au cours de l'approche et ainsi faciliter la prise de décision. Cette pratique est particulièrement utile lorsqu'un équipage a connaissance de l'existence de conditions évolutives sur l'aérodrome, par exemple en présence de Cb.

Hypothèse de dégradation	LDTA correspondante (volets 30)
RWYCC 2 – Braking action MEDIUM TO POOR	6 883 ft (2 100 m)
Vent arrière 10 kt	5 800 ft (1 768 m)
Combinaison des 2 cas ci-dessus	8 791 ft (2 680 m)

1.6.6.5 Conduite d'une approche de non-précision (NPA)

Pour l'approche, hormis dans le cas d'une approche RNP, le PRM suggère que le PF affiche la page Progress 2 au FMC, sur laquelle figure l'information de vent²⁸.

Le manuel d'exploitation recommande de sélectionner initialement un taux de descente qui corresponde à la vitesse sol de l'avion, en s'appuyant sur les taux publiés sur la fiche d'approche. Cette recommandation est équivalente à celle du FCTM.

Le PRM mentionne, pour une NPA conduite avec le mode V/S, qu'en raison d'une réponse lente du pilote automatique, il faut sélectionner initialement 1 000 ft/min pour un plan à 3°.

Dans le cas du vol de l'accident et de l'approche VOR Z 12L (voir § 1.10.2), en prenant en compte l'information de vent au sol (130°/ 14 kt) fournie par le contrôleur au moment de la préparation de l'approche et la Vapp de 143 kt choisie par l'équipage, la vitesse sol aurait été d'environ 130 kt et la vitesse verticale pour suivre le plan de 3,66° aurait été de l'ordre de 840 ft/min²⁹.

Au moment du passage du FAF, la vitesse de l'avion était de 156 kt, la vitesse sol de l'ordre de 180 kt. Par conséquent, une vitesse verticale de 1 166 ft/min devait être sélectionnée pour suivre le plan de descente de 3,66° selon le cartouche fournissant le taux de descente en fonction de la vitesse sol disponible sur la carte d'approche publiée.

1.6.6.6 Critères de stabilisation

Le PRM rappelle qu'une « approche non stabilisée est plus susceptible d'entraîner un atterrissage dangereux, avec un risque élevé d'accident qui en résulte. La plupart des approches instables résultent d'un manque d'appréciation du niveau d'énergie de l'avion au début de l'approche et de l'incapacité qui en résulte à ralentir l'avion de manière contrôlée. La décision d'exécuter une approche interrompue n'est pas une indication de mauvaise performance. »³⁰

Concernant la stabilisation sur l'approche finale, le manuel d'exploitation mentionne les points suivants :

- dans le cas d'une approche NPA, la trajectoire doit être maintenue latéralement à moins de 5° de l'axe de piste ;
- l'avion doit être sur le plan d'approche correct ;
- seules de petites corrections en assiette et en roulis sont requises ;
- la vitesse est comprise entre Vref et Vref + 20 kt³¹ ;
- le taux de descente est inférieur à 1 000 ft/min – dans le cas d'une approche nécessitant un taux supérieur à cette valeur, un briefing spécial doit avoir été réalisé³².

²⁸ Selon le témoignage d'un instructeur de Swiftair, cette sélection est un point d'attention pour les instructeurs pendant les séances de formation. L'attendu consiste à ce que le PM surveille la composante de vent arrière sur cette page.

²⁹ Pour une approche avec les volets 40, la Vapp serait de 139 kt, la vitesse sol de 126 kt, et la vitesse verticale pour suivre le plan de 3,66° en prenant en compte l'information de vent au sol 130°/14 kt serait de l'ordre de 820 ft/min.

³⁰ Traduction libre du PRM rédigé en anglais.

³¹ Le PRM mentionne une vitesse entre Vref et Vapp + 10 kt.

³² Pendant la descente et au moment où le briefing pouvait être réalisé, avec les conditions de vent connues à ce moment, l'équipage ne pouvait pas anticiper cette condition.

Le manuel d'exploitation indique que les approches doivent être stabilisées à 1 000 ft AAL en IMC et à 500 ft AAL en VMC.

D'après le PRM, le PM doit annoncer « 1 000 ft » et « 500 ft » s'il n'y a pas d'annonce automatique. Le PF doit répondre à cette annonce de la manière suivante :

1 000 ft AAL	Si approche stabilisée : « <i>stabilized</i> » Si non stabilisée en IMC : « <i>not stabilized, go around</i> » Si non stabilisée en VMC : « <i>not stabilized</i> »
500 ft AAL	Si l'approche était stabilisée à 1 000 ft : « <i>checked</i> » Si l'approche n'était pas stabilisée à 1 000 ft, mais l'est désormais : « <i>stabilized</i> » Si non stabilisée : « <i>not stabilized, go around</i> »

Selon le manuel d'exploitation, pour une approche NPA conduite avec la technique CDFA (*Continuous Descent Final Approach* ou approche finale avec une descente continue), en cas de déstabilisation sous 1 000 ft en IMC ou sous 500 ft avec les références visuelles, l'approche doit être interrompue immédiatement.

Pendant l'approche, le PM doit annoncer « *speed* » à -5 kt ou +10 kt de la vitesse d'approche, « *bank* » en cas de roulis supérieur à 10° et « *sink rate* » si le taux de descente dépasse 1 000 ft/min.

Au passage du seuil, la vitesse doit être stabilisée à $V_{app} \pm 10$ kt, la trajectoire stable et telle que l'atterrissement soit réalisé dans la zone de toucher des roues (les premiers 3 000 ft ou le premier tiers de la piste, selon la valeur la plus courte)³³.

1.6.6.7 Atterrissage

Lors de l'atterrissement, le PM doit réaliser des annonces relatives :

- au déploiement des réducteurs de portance (*ground spoilers*) et des inverseurs de poussée ;
- à la désactivation de du freinage automatique (*autobrake*) ; et
- au passage de 80 kt puis 60 kt.

1.6.6.8 Utilisation des inverseurs de poussée et du freinage

L'OM souligne dans son chapitre relatif à l'utilisation des inverseurs de poussée, l'importance de vérifier les limitations imposées par les aérodromes (ces limitations ont pour but de limiter l'impact sonore additionnel généré par les inverseurs de poussée à l'atterrissement). Il est toutefois souligné que l'utilisation des inverseurs pour des raisons de sécurité des vols n'est pas limitée.

L'atterrissement ne peut plus être interrompu une fois que les inverseurs de poussée ont été appliqués.

Le PRM recommande l'utilisation du freinage automatique, en mode 1 ou 2 pour des opérations de routine et en mode 3 lorsque la distance disponible à l'atterrissement est limitée ou que l'efficacité de freinage est dégradée.

Dans le FCTM, Boeing informe que le mode 3 doit être utilisé sur des pistes mouillées ou glissantes ou lorsque la distance disponible à l'atterrissement est limitée. Si une distance d'atterrissement adéquate est disponible, le mode de freinage automatique 2 peut être approprié.

³³ Pour la piste 12L, la valeur correspondante serait de 2 843 ft, soit 866 m.

1.6.6.9 Interruption de l'atterrissement

Boeing inclut dans le FCTM des techniques relatives aux cas d'interruption d'atterrissement avant (*rejected landing*) ou après le toucher (*balked landing*). En cas d'interruption d'atterrissement avant le toucher, il est recommandé de suivre la procédure d'interruption de l'approche décrite dans le FCOM ou le QRH. En cas d'interruption de l'atterrissement après le toucher, la technique décrite dans le FCTM mentionne une remise de gaz avec maintien de la configuration et rappelle de prendre en considération le franchissement des obstacles, la longueur de piste disponible ou la transition depuis un état de faible énergie.

1.6.6.10 Permutation des rôles PF/PM

Selon le PRM, la permutation des rôles entre pilotes doit être exécutée de manière positive en utilisant la méthode standard de demande et réponse (*challenge and response*), « *I have control / you have control* ».

1.6.6.11 Utilisation du radar

Les manuels opérationnels ne fournissent pas de procédures détaillées ni de techniques recommandées pour utiliser le radar météorologique.

1.6.6.12 Cisaillement de vent

Dans le chapitre sur les conditions météorologiques défavorables, l'OM rappelle qu'« un Cb produisant des précipitations s'accompagne de forts courants descendants s'étendant latéralement sous la base qui provoquent de fortes rafales et des changements brusques de direction du vent dans les basses couches [...]. Ceci, combiné à une vitesse de vol et une altitude faibles, peut créer une situation dangereuse ; par conséquent, des précautions doivent être prises lors des approches, décollages ou atterrissages dans ces conditions, surtout si de nouvelles cellules orageuses se forment à proximité de l'aéroport. »

Dans des situations propices au phénomène de cisaillement de vent, l'OM indique qu'« un pilote doit toujours continuer à surveiller les instruments, même à vue. [...] Les pilotes ne doivent pas hésiter à exécuter des manœuvres d'approche interrompue lorsque le cisaillement du vent se produit en dessous de 1 000 ft, si la trajectoire d'approche est modifiée. Les approches interrompues sont beaucoup plus sûres que de tenter de retrouver la trajectoire d'approche. [...] Les pilotes doivent être prêts à exécuter des manœuvres d'approche interrompue lorsque des orages sévissent dans les zones immédiates. [...] Lorsque le vent annoncé à l'approche diffère de celui de la surface, anticipiez un éventuel cisaillement du vent. »

De même, dans le FCOM, Boeing explique que « l'équipage doit rechercher tout indice de la présence d'un cisaillement du vent le long de la trajectoire de vol prévue. Cette présence peut être associée en particulier à de l'activité orageuse ». Il est souligné que, « pour l'approche et l'atterrissement, la coordination et la sensibilisation de l'équipage sont très importantes, en particulier la nuit ou dans des conditions météorologiques marginales. Il faut surveiller de près les instruments de trajectoire de vol verticale tels que le variomètre et les altimètres. Le PM devrait signaler tout écart par rapport à la normale. »

Dans le QRH, il est précisé que les éléments suivants sont des indications que l'avion est en présence d'un cisaillement de vent :

- alarmes (*warning*) de cisaillement de vent ;
- écarts inacceptables de la trajectoire de vol.

Les « écarts inacceptables de la trajectoire de vol » sont décrits comme des changements incontrôlés par rapport aux conditions de vol normales en régime stabilisé en dessous de 1 000 ft sol, qui dépassent l'un des éléments suivants :

- vitesse indiquée de 15 kt ;
- vitesse verticale de 500 ft/min ;
- assiette en tangage de 5° ;
- déplacement d'un point par rapport au *glideslope* ;
- position inhabituelle du levier de poussée pendant une période significative.

1.7 Renseignements météorologiques

1.7.1 Informations reçues par l'équipage à la préparation du vol

Le dossier météorologique fourni à l'équipage à la préparation du vol contenait le message de prévision (TAF) de Montpellier de 20 h :

```
TAF LFMT 232000Z 2321/2421 14010KT 9999 BKN045 BKN055 TEMPO 2321/2323
14015G25KT 3000 TSRA SCT030CB BKN040 BKN050 TEMPO 2323/2402 01015G25KT
3000 TSRA BKN020 SCT030CB BKN040 BECMG 2402/2404 36010KT BECMG
2405/2407 28006KT TEMPO 2415/2417 22010KT TEMPO 2417/2420 27015G25KT RA
FEW045CB BKN090=
```

Ce TAF faisait apparaître pour l'heure prévue d'atterrissement à Montpellier, de manière temporaire, une visibilité réduite à 3 km, des averses orageuses, un plafond à 2 000 ft avec présence de cumulonimbus (Cb).

Le dossier contenait également la carte de prévision de temps significatif (TEMSI) EUROC valable à 0 h. Cette carte faisait apparaître une zone festonnée au niveau de Montpellier, avec prévision de Cb isolés et noyés dans la masse nuageuse, d'orages, d'averses et de pluie.

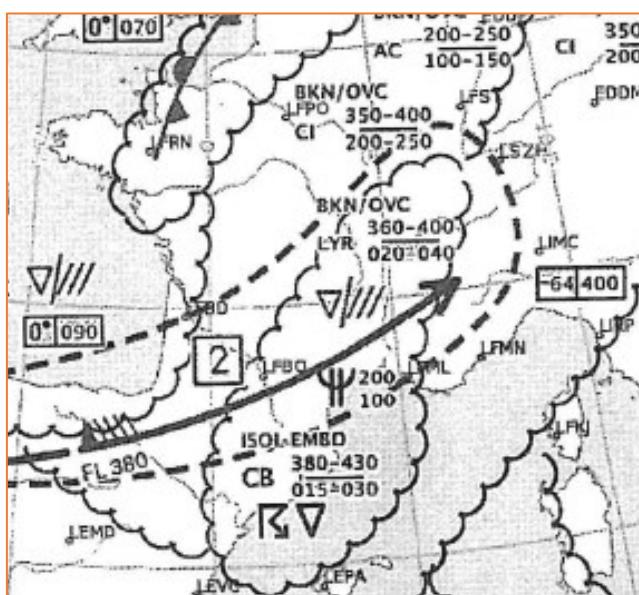


Figure 8 : extrait de la carte TEMSI EUROC du dossier de vol

Enfin le dossier météorologique incluait le SIGMET suivant, pour la FIR Marseille, valable au moment du vol, qui reportait l'observation d'orages, noyés dans la masse nuageuse, dans une zone délimitée par une série de points de coordonnées géographiques.

LFMM SIGMET 9 VALID 232200/240200 LFPW- LFMM MARSEILLE FIR/UIR EMBD TS
 OBS WI N4215 E00345 - N4215 E00230 - N4430 E00245 - N4500 E00315 - N4430
 E00415 - N4345 E00500 - N4245 E00445 - N4215 E00345 TOP FL380 MOV E 20KT NC=

L'aérodrome de Montpellier est inclus dans la zone du SIGMET.

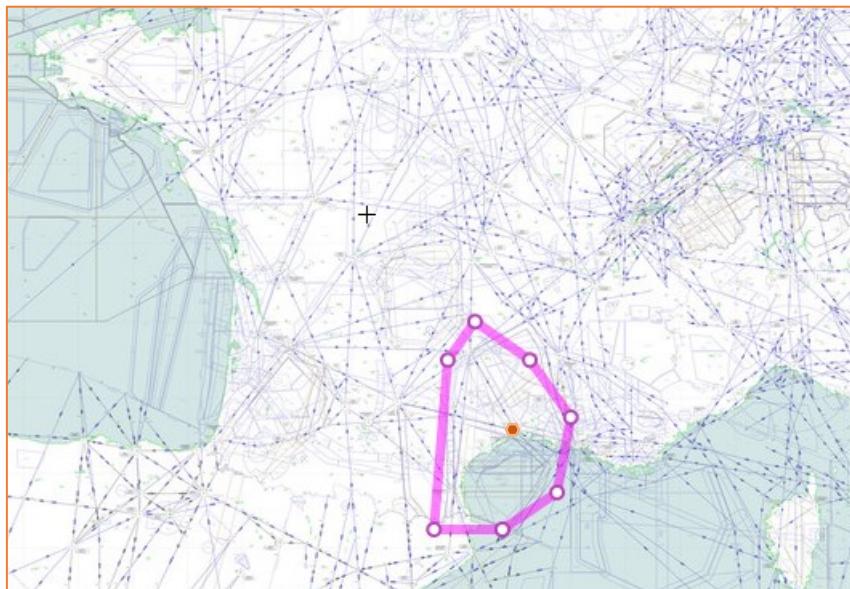


Figure 9 : zone d'applicabilité du SIGMET
(le point rouge correspond à LFMT)

1.7.2 Information météorologique reçue pendant le vol par l'équipage

À 0 h 02, l'équipage a contacté le contrôle de Montpellier afin d'obtenir une information météorologique actualisée.

L'information fournie incluait les éléments suivants : visibilité 2 700 m, pluie, brume, plafond nuageux dont la base était à 1 600 ft, présence de Cb, vent du 130° pour 14 kt, code d'état de piste 555.

Le report manuscrit de cette information sur l'OFP par l'équipage ne mentionne pas l'information de Cb.

TO	LFMT / MPL	ARR. CLEAR
ELEV/AB	17 / 14	
W/V	130 / 14	
VIS	2000	2000
CLD	CB 900	B1.5
TEMP	18 / 17	162 / 12
QNH	1014...	
R/W	12 / ...	
T/L	68 / ...	

Figure 10 : extrait de l'OFP, prise de note de la météorologie pour l'arrivée à LFMT

Après cette information initiale, le contrôleur a informé l'équipage que la visibilité s'améliorait et a reporté une valeur de 3 000 m. Il l'a également informé qu'un orage venait de passer sur l'aérodrome dix minutes plus tôt, que la situation s'était calmée, mais que les conditions météorologiques changeaient rapidement.

À 0 h 21, le contrôleur de Montpellier a informé l'équipage de l'amélioration de la visibilité à 4 500 m, d'un plafond nuageux à 1 300 ft, qu'il pleuvait encore et qu'il y avait de la brume. Le code d'état de piste a été confirmé à 555, avec l'information qu'un trafic précédent avait rapporté de l'eau stagnante au niveau de la zone de toucher de la piste 12L et que la condition de piste pourrait être à 255.

À 0 h 34, lorsque le contrôleur a autorisé l'équipage à atterrir, il lui a annoncé un vent du 040° pour 8 kt.³⁴

1.7.3 Message d'avertissement d'aérodrome

Météo-France a émis un message d'avertissement d'aérodrome le 23 septembre à 15 h, indiquant que des orages étaient prévus pour la nuit, entre 18 h et 3 h.

Le personnel des services de contrôle de la circulation aérienne a pris connaissance de ce message.

Certains personnels du SSLIA étaient destinataires de ce message. Tous n'en avaient pas pris connaissance.

1.7.4 Situation météorologique au moment de l'atterrissement

1.7.4.1 Conditions générales

L'examen des images satellites et radar met en évidence la présence d'un système convectif étendu des Cévennes au golfe du Lion. Les réflectivités suggéraient des précipitations soutenues, voire localement intenses, mais à l'exception de la bordure méridionale du système, au sud du golfe du Lion et sur la Catalogne, l'activité électrique était très sporadique.

Au niveau de Montpellier, l'image de réflectivité (voir **Figure 11**) met en évidence une zone étendue associée à des précipitations soutenues (en jaune et orange) et un noyau de précipitations plus intenses (en rouge et bistre) en bordure de l'aérodrome à 0 h 35.

³⁴ Le contrôleur doit fournir l'information de vent au moment de l'autorisation d'atterrissement, mais n'a pas d'obligation de suivre de cette information. L'équipage peut à tout moment demander une actualisation de l'information de vent (« *wind check* ») s'il a un doute sur l'évaluation de cette valeur au cours de l'approche.

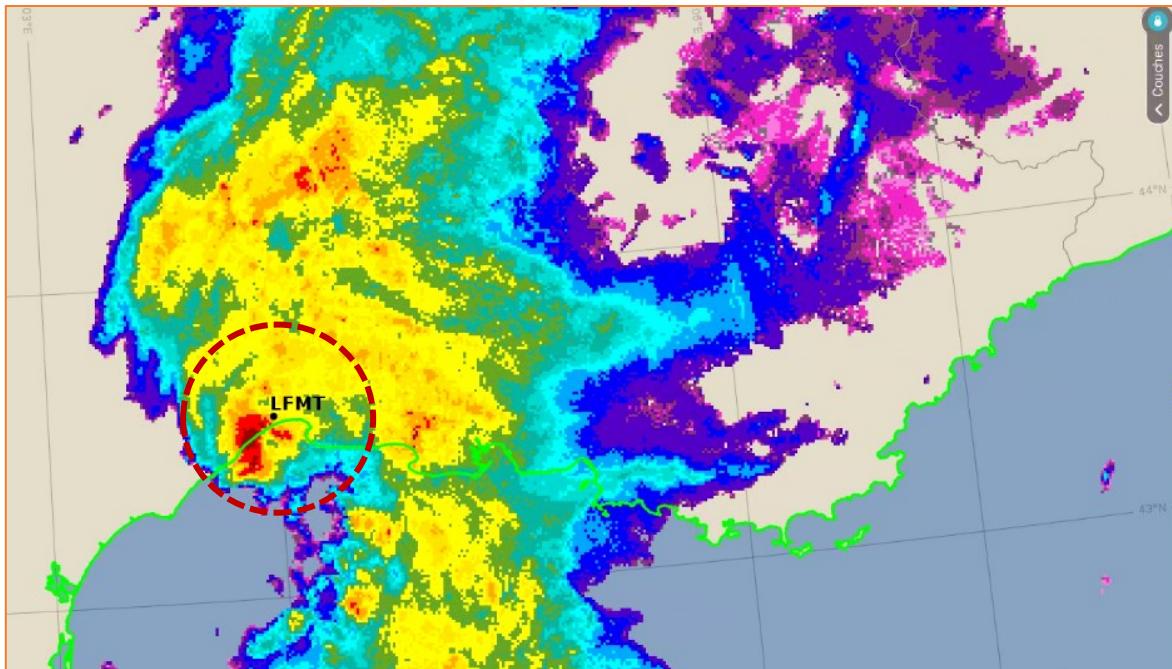


Figure 11 : image radar de réflectivité de précipitations à 0 h 35

(Source : Météo-France, annotée par le BEA)

(le cercle correspond à un rayon de 20 NM autour de l'aéroport)

1.7.4.2 Conditions de vent

L'enregistrement des mesures de vent aux seuils de piste 12L et 30R a été analysé par Météo-France, qui détaille trois phases entre 23 h et 2 h (voir **Figure 12**) :

Selon Météo-France, durant une première phase, de 23 h à 23 h 55, les conditions étaient à peu près les mêmes aux deux seuils de piste, avec un vent de sud à sud-sud-est entre 15 kt et 20 kt.

Une deuxième phase, entre 23 h 55 et 0 h 45, était marquée par une rotation du vent au secteur nord à nord-nord-est. Le changement était plus brutal au seuil de piste 12L qu'au seuil de piste 30R, le résultat étant un cisaillement horizontal de vent sur une grande partie de la période. Au moment de l'accident, le vent était de secteur nord-nord-est au seuil de piste 30R, alors qu'il était marqué par de brusques oscillations entre le secteur est et le secteur nord-nord-ouest au seuil de piste 12L.

Météo-France a conclu qu'il était probable que l'avion ait rencontré temporairement des vents traversiers sur la gauche lors de l'atterrissement, ainsi qu'un cisaillement de vent impossible à quantifier.

À partir de 0 h 45, le vent était de secteur nord à nord-nord-est aux deux seuils de piste, autour de 20 kt pour le seuil de piste 30R, et entre 10 kt et 15 kt pour le seuil de piste 12L.



Figure 12 : évolution du vent moyen sur deux minutes en force et direction³⁵ aux seuils de piste 12L et 30R (Source : Météo-France/BEA)

L'étude de l'enregistrement des rafales sur une minute montre que celles-ci « suivent les mêmes phases que le vent moyen. L'accident coïncide avec une rafale de 25 kt de secteur nord-nord-ouest au seuil de piste 12L à 0 h 37, alors que le vent ne dépassait pas 10 kt à 0 h 36 ».

1.7.4.3 Précipitations

Météo-France a également fourni les données de pluviométrie de la station météorologique de l'aérodrome.

³⁵ Pour éviter des discontinuités gênant la lecture, 360° ont été soustraits aux directions dépassant 180°.

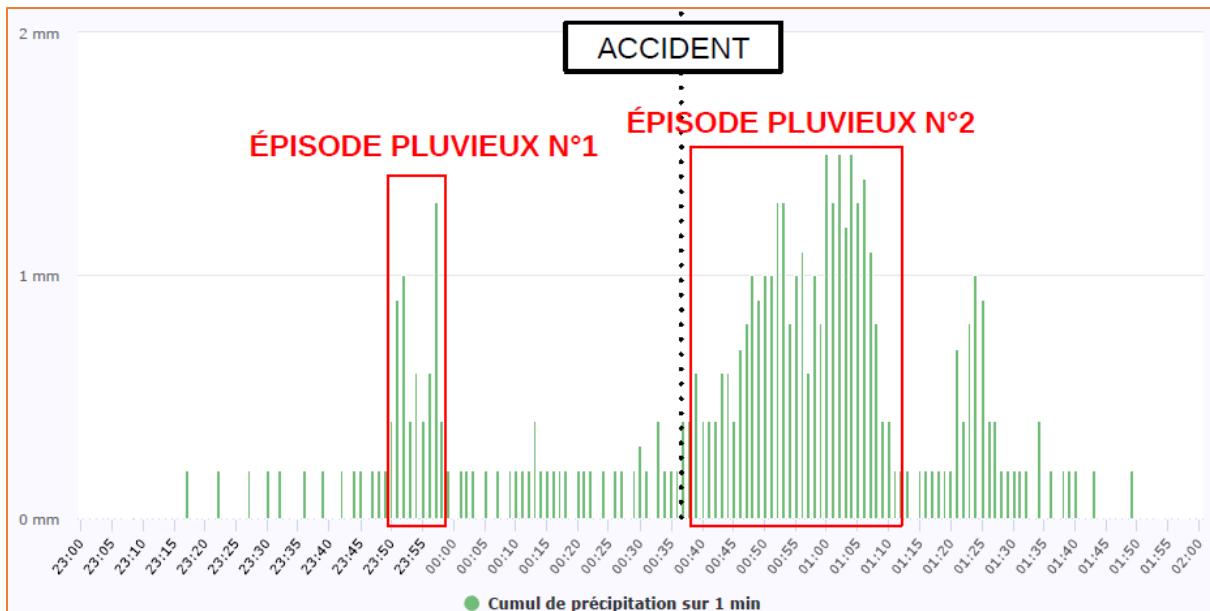


Figure 13 : cumul de précipitations par minute à la station de l'aérodrome (Source : Météo-France)

Météo-France décrit des précipitations faibles à modérées de 23 h 16 à 23 h 46, pour un cumul de 2,6 mm sur la période, suivies d'un fort épisode pluvieux jusqu'à 23 h 59, à l'origine d'un cumul de 6,8 mm. Entre 23 h 59 et 0 h 32, est survenue une accalmie avec maintien de précipitations modérées pour un cumul de 5,1 mm sur la période. À 0 h 32, a débuté un deuxième épisode pluvieux fort, d'intensité comparable au premier, mais beaucoup plus durable.

L'atterrissement a eu lieu au début de cet épisode pluvieux fort, ce qui est confirmé par l'examen des images de vidéosurveillance.

Météo-France indique que les intensités atteintes au cours des deux épisodes pluvieux étaient fortes à très fortes, mais ne présentaient pas de caractère exceptionnel. La situation était caractéristique des épisodes pluvieux orageux méditerranéens auxquels la région de Montpellier est confrontée plusieurs fois par automne.

Ces données permettent d'établir un cumul de précipitations sur différentes périodes définies par rapport à l'heure de l'accident, comme indiqué dans le tableau qui suit :

Période de cumul	Plage de cumul	Cumul
1 minute	0 h 36 – 0 h 37	0,4 mm
5 minutes	0 h 32 – 0 h 37	1,4 mm
15 minutes	0 h 22 – 0 h 37	2,7 mm

Une estimation des hauteurs d'eaux sur la piste a été réalisée à partir de ces données (voir § 1.16.3).

1.8 Aides à la navigation

1.8.1 Radiophare omnidirectionnel VHF

Le VOR-DME FJR est le moyen de radionavigation sur lequel s'appuie l'approche VOR Z 12L.

Le VOR est situé à environ 165 m de l'axe de piste et à 1 755 m du seuil de piste 12L (soit environ 0,9 NM).

1.9 Télécommunications

Pendant la croisière, alors que l'équipage était en contact avec le centre de contrôle en route de Bordeaux, le PM a utilisé la deuxième radio pour contacter la tour de Montpellier afin d'obtenir une information météorologique actualisée. Pendant la descente, l'équipage a été en communication avec le centre de contrôle en route de Marseille puis avec la tour de Montpellier.

1.10 Renseignements sur l'aérodrome

1.10.1 Généralités

L'aérodrome de Montpellier - Méditerranée (code OACI : LFMT, code IATA : MPL) est à proximité de l'agglomération montpelliéraine, située sous l'axe d'approche de la piste 12L, et en bordure de l'étang de l'Or, au sud-est.

L'altitude du seuil de piste 12L est de 17 ft.

La piste 12L-30R de l'aérodrome de Montpellier - Méditerranée est une piste revêtue de 2 600 m de longueur et 45 m de largeur, orientée au cap magnétique 123° ³⁶.



Figure 14 : piste 12L, marquage TDZ

L'aérodrome dispose d'une piste secondaire 12R-30L de 1 000 m de longueur et 30 m de largeur, utilisée uniquement pour l'aviation générale.

Aucune limitation n'est imposée à Montpellier eu égard à l'utilisation des inverseurs de poussée à l'atterrissement de nuit.

1.10.2 Procédures d'approche piste 12L

Les procédures d'approches disponibles pour la piste 12L sont des procédures d'approche de non-précision RNAV ou VOR.

³⁶ Orientation magnétique publiée à la date de l'accident.

L'équipage a réalisé l'approche à partir du repère d'approche initial (IAF) LEKLA.

La descente finale pour l'approche VOR Z 12L, suivie par l'équipage de l'EC-NLS, s'effectue suivant un plan de descente de $3,66^\circ$ ³⁷ (6,4 %) et selon un axe orienté au 120° , décalé de 3° par rapport à l'axe de piste. Cette approche respecte les conditions d'une approche finale avec une descente continue CDFA.

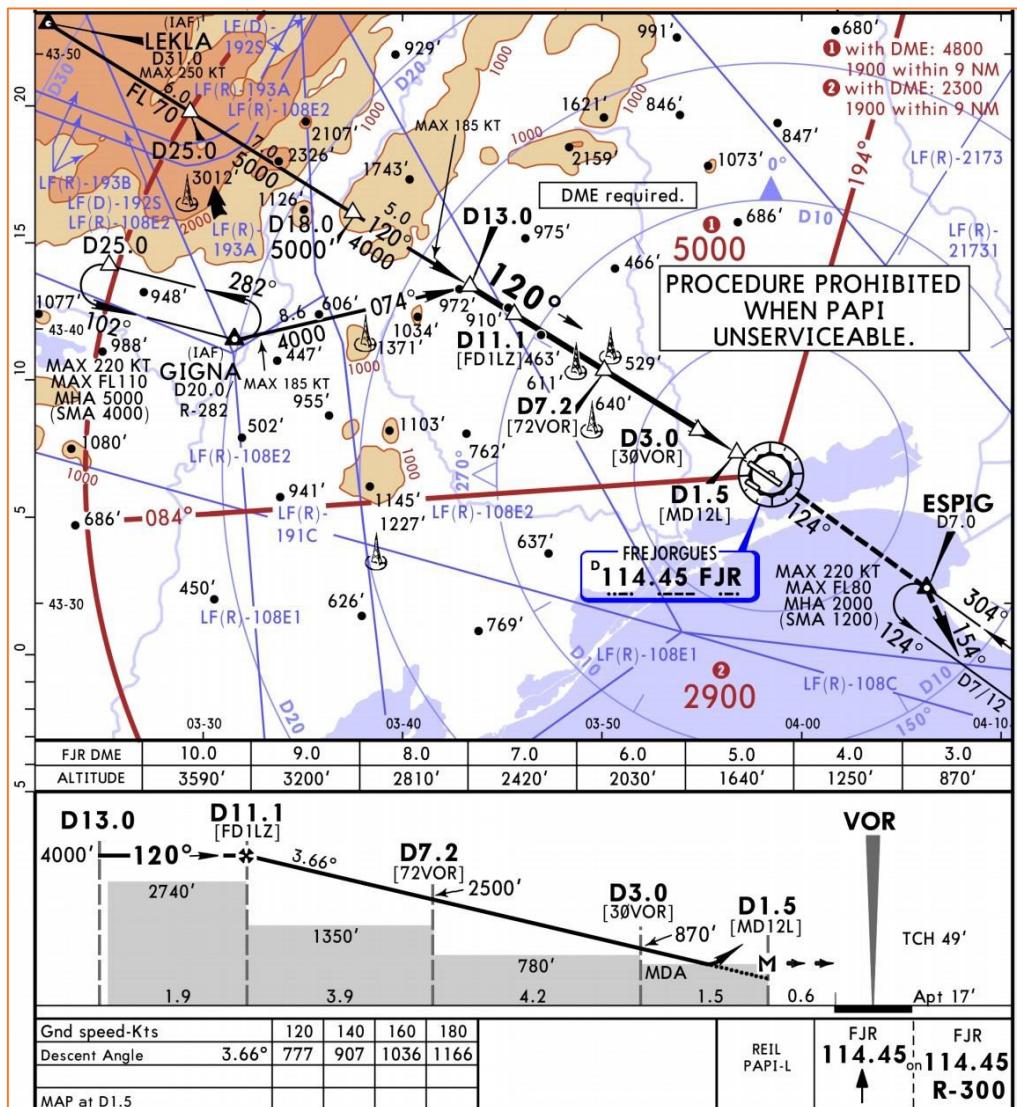


Figure 15 : extrait de la carte d'approche VOR Z 12L utilisée par l'équipage (Source : Jeppesen)

1.10.3 Balisage lumineux

Le balisage lumineux de la piste 12L est composé d'un PAPI³⁸, de lumières d'extrémité de piste (seuil et fin de piste) et de lumières de bord de piste. Les lumières de bord de piste sont blanches puis jaunes sur les 600 derniers mètres de piste.

³⁷ Le plan de descente publié dans l'AIP est de $3,7^\circ$ tandis que la valeur de $3,66^\circ$ est inscrite sur la carte Jeppesen utilisée par l'équipage. La valeur de $3,66^\circ$ est utilisée dans le rapport.

³⁸ Angle $3,7^\circ$, MEHT 69 ft (*Minimum Eye Height at Threshold*, hauteur la plus faible à laquelle le pilote percevra une indication « sur la pente » au passage du seuil).

Dans le cadre de la surveillance de la conformité de l'exploitation aéroportuaire par l'autorité, un audit avait été conduit du 12 au 15 septembre 2022. Un défaut de colorimétrie des feux de bord de piste jaunes avait été relevé : la vétusté des filtres couleur devenus orangés ne permettait pas une distinction claire entre les feux jaunes et les feux rouges.³⁹

Les angles de calage des lumières du PAPI avaient été vérifiés et considérés comme corrects lors de cet audit.

La piste 12L n'est pas équipée de balisage axial ni de balisage de zone de toucher des roues.

Concernant le balisage de la zone de toucher des roues, dont l'objectif est de fournir aux pilotes une meilleure conscience de la situation dans toutes les conditions de visibilité et de les aider à décider s'ils doivent commencer une remise des gaz si l'aéronef n'a pas atterri à un certain point sur la piste, la norme de spécification CS ADR-DSN.M.696 établit que des feux simples de zone de toucher des roues doivent être installés lorsque « l'angle d'approche est supérieur à 3,5° et/ou la distance d'atterrissement disponible combinée à d'autres facteurs augmente le risque de sortie longitudinale de piste »⁴⁰.

Antérieurement à l'accident, dans le contexte de la conversion des normes françaises vers la certification européenne, la compréhension par l'autorité locale de surveillance de cette norme de spécification, en particulier du « and/or », était telle qu'il avait été considéré que ce balisage n'était pas obligatoire dans le cas de la piste 12L de Montpellier. Un document d'harmonisation de l'interprétation des textes relatifs à la surveillance des aérodromes, publié en mai 2024 par les services compétents de la DGAC au niveau national et destiné aux services régionaux en charge de la cette surveillance, établit désormais, sans possibilité de biais d'interprétation, que cet équipement devrait être installé sur la piste 12L de Montpellier.

1.10.4 Aire de sécurité d'extrémité de piste (RESA)

L'objectif d'une RESA est de minimiser les risques pour l'avion et ses occupants en cas de sortie de piste. En particulier, les propriétés d'une RESA doivent être telles que, d'une part, elle permette une décélération suffisante de l'aéronef, et d'autre part, que ses qualités de portance évitent que le train avant d'un avion ne s'affaisse pendant sa course au travers de la RESA.

La piste 12L dispose en fin de piste d'une RESA de dimensions 90 m x 90 m, correspondant à la norme minimale exigée. Pour une piste de la catégorie de celle de la piste 12L-30R, la norme recommande que la longueur de la RESA soit, dans la mesure du possible, étendue à 240 m. Dans le cas de cette extrémité de piste, la présence de l'étang empêche d'avoir une RESA de dimension supérieure à la norme minimale.

Les observations réalisées sur le site et sur l'avion ont permis de conclure que le train avant s'est affaissé lorsque l'avion est sorti de la RESA, au moment où il est entré dans l'étang. Il apparaît donc que la RESA a répondu à son objectif de portance, mais que son objectif de décélération a été insuffisamment rempli au vu des circonstances de la sortie de piste et de sa longueur limitée.

³⁹ Selon le témoignage du CdB (voir § 1.5.1.1.2), ce défaut de colorimétrie n'a pas eu d'influence sur la perception de la zone de fin de piste.

⁴⁰ Traduction libre de la norme réalisée par le BEA. Le texte d'origine peut être consulté dans la version anglaise du rapport.

1.10.5 Rapport sur l'état des pistes

1.10.5.1 Définitions

Le rapport sur l'état des pistes (RCR) est un rapport normalisé relatif à l'état de surface des pistes et à son effet sur les performances de décollage et d'atterrissage des avions. Ce rapport d'état des pistes inclut un code pour chaque tiers de piste, qui décrit l'effet de l'état de surface des pistes sur les performances de décélération et le contrôle latéral des avions.

Le code d'état de piste (RWYCC) est un chiffre correspondant à l'état d'un tiers de piste. Le code d'état 6 correspond à une portion de piste sèche, le code 5 à une portion de piste mouillée avec moins de 3 mm d'épaisseur d'eau (ou d'autres cas non décrits dans ce rapport) et une bonne efficacité de freinage, le code 2 à une portion de piste mouillée avec une épaisseur d'eau supérieure à 3 mm (ou d'autres cas non décrits dans ce rapport) et une efficacité de freinage moyenne à médiocre.

1.10.5.2 Procédures

Les procédures permettant de publier le rapport sur l'état des pistes ont été mises en place sur l'aérodrome lors de la mise en application du GRF, en conformité avec les normes établies. Elles font l'objet d'un protocole entre l'exploitant d'aérodrome, qui est responsable de l'élaboration du RCR par l'intermédiaire du service SSLIA, et les services de la navigation aérienne.

Les informations du RCR sont réputées valides tant que l'exploitant ne les a pas amendées. L'exploitant a pour consigne de réaliser un suivi régulier du RCR : « Un RCR devra être rédigé lors de l'apparition/du changement de contaminant ou lors de changement du RWYCC. Le changement significatif de couverture de contaminant ou d'épaisseur de contaminant ainsi que l'arrivée de nouvelles informations pertinentes sont aussi des critères de rédaction d'un nouveau RCR. [...] Pour cela ils doivent suivre les nouveaux AIREP, analyser les phénomènes météorologiques observés et/ou prévus afin d'anticiper de potentiels changements de contamination, lancer, si nécessaire, une nouvelle inspection ou décider de la réalisation de mesures CFL afin de suivre la contamination [...]. »

Si les services de la navigation aérienne constatent une modification significative de l'état de surface non prise en compte par l'exploitant, ou une erreur manifeste dans le RCR transmis, ou de façon générale, une incohérence entre les données du RCR et l'état de la piste, ils doivent le reporter à l'exploitant en demandant confirmation du RCR en cours ou une nouvelle inspection de piste. Ces inspections doivent être réalisées dans les meilleurs délais et présentent un caractère prioritaire pour la sécurité des aéronefs à l'atterrissage.

En cas d'indisponibilité temporaire du RCR, cette situation doit être communiquée en fréquence ou sur ATIS. Dans le cadre de l'information de vol, et en vue de fournir toute information utile pour l'exécution sûre et efficace des vols, l'ATC peut communiquer aux équipages :

- ses propres observations immédiates, lorsque les conditions de visibilité et la configuration de l'aérodrome le permettent ;
- les observations des pilotes ;
- les reports éventuels d'équipages sur l'efficacité de freinage (AIREP) ;
- l'obsolescence d'un RCR en cours.

1.10.5.3 Phraséologie associée

Le Manuel de phraséologie à l'usage de la circulation aérienne générale⁴¹ indique, en conformité avec le Doc 4444 de l'OACI, que l'indisponibilité temporaire du RCR doit être communiquée en fréquence ou sur ATIS. Elle prévoit ainsi, dans la partie relative aux observations en langage clair, les messages standards suivants :

Message standard en langue française	Message standard en langue anglaise
[(lieu)] ÉTAT DE SURFACE PISTE (numéro) NON ACTUALISÉ	[(location)] RUNWAY SURFACE CONDITION RUNWAY (number) NOT CURRENT

Et dans le cas où l'information serait basée sur une observation de la tour ou d'un pilote :

LA TOUR OBSERVE (renseignements météorologiques)	TOWER OBSERVES (weather information)
UN PILOTE SIGNALÉ (renseignements météorologiques)	PILOT REPORTS (weather information)

1.10.5.4 Transmission de l'information la nuit de l'accident

Les agents du service SSLIA, en charge des inspections de piste, ont indiqué que lorsque la pluie a débuté et qu'ils se préparaient à aller faire une inspection de piste, ils ont reçu un appel d'un agent de la tour de contrôle au sujet du changement de la condition de piste et des conditions météorologiques prévues pour la nuit. Cet appel a eu lieu à 19 h 32. En raison d'une incompréhension, l'agent SSLIA en charge de l'équipe a annulé l'inspection de piste qui était sur le point de se réaliser, considérant que le code avait été mis à jour par l'agent ATC sur l'ATIS et que ce code était cohérent avec les conditions pluvieuses en cours.

À la suite de cette conversation téléphonique, le RWYCC de la piste 12L a été changé de 666 à 555 par les services ATC en absence d'une inspection de piste, et inclus dans le message ATIS Romeo enregistré à 19 h 35.

Le contrôleur aérien a enregistré un AIREP à 20 h 15 en lien avec l'information reçue de l'équipage d'un Airbus A320 qui avait atterri et rapporté de larges flaques au niveau de la TDZ de la piste 12L. De manière concomitante, le contrôleur a changé le RWYCC de la piste 12L à 255 dans le message ATIS Sierra enregistré à 20 h 15.

À 20 h 22, le message ATIS Tango a été enregistré avec le RWYCC 555 et la piste 30R en service.

À 23 h 54, le message ATIS Uniform a été enregistré avec le RWYCC 555, la piste 12L et un avis de pluie forte.

Ces codes de condition de piste ont été modifiés par les services ATC qui se sont basés principalement sur l'observation des conditions depuis la tour de contrôle alors qu'aucune évaluation n'a été réalisée sur la piste.

⁴¹ 10^e édition du 15 avril 2023, accessible sur :

https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Manuel_Phras%C3%A9ologie.pdf

L'étude des échanges entre le contrôleur et l'équipage montre que, en l'absence d'une information actualisée sur la base d'une inspection de piste, le contrôleur a cherché à informer l'équipage de la situation évolutive dans l'esprit des procédures, mais sans utiliser les expressions mentionnées au § 1.10.5.3.

Heure	Message du contrôleur à l'équipage
0 h 04	<i>[...] the weather storm above the field ten minutes ago but now it's quiet quieter so the the weather is quite changing very fast.</i>
0 h 21	<i>For information as well euh runway condition code is five five five but preceding traffic reported some standing water erh around touch down one two left so it's might be something like two five five.</i>

Une inspection de piste dure environ 15 minutes. Selon le témoignage d'agents SSLIA de l'aérodrome de Montpellier - Méditerranée pratiquant les inspections de piste et les mesures d'épaisseur d'eau sur la piste, les propriétés de drainage de la piste permettent l'évacuation de l'eau de telle manière que cinq minutes après un fort orage, l'épaisseur d'eau sur la piste est déjà inférieure à 3 mm, ce qui correspond à un code 5 (piste mouillée) pour la zone.⁴²

1.10.6 Services de sauvetage et de lutte contre l'incendie des aéronefs (SSLIA)

Le niveau d'intervention prévu entre 22 h et 5 h sur l'aérodrome est le niveau 5⁴³. Cela correspond à une capacité d'intervention d'un véhicule. Ce niveau d'intervention est compatible avec l'opération de transport de courrier réalisée par Swiftair au moyen d'un Boeing 737.

Selon les règles de l'exploitant d'aérodrome⁴⁴, deux personnes étaient en service pour assurer la capacité d'intervention et le maniement du véhicule.

L'exploitant de l'aérodrome a indiqué que le SSLIA dispose des moyens nautiques suivants :

- 8 plates-formes pour 30 personnes (6 opérationnelles, 2 de réserve) ;
- 2 barges en aluminium.

Entre 22 h et 5 h, le niveau d'intervention ne permet pas d'avoir de moyens humains pour mettre en œuvre ces moyens nautiques.

1.10.7 Système d'avertissement de cisaillement de vent

L'aérodrome de Montpellier n'est pas équipé d'un système d'avertissement de cisaillement de vent (voir § 1.17.2).

⁴² Ces informations n'ont pas été vérifiées par le BEA, mais le BEA a eu connaissance d'observations similaires, sur la base de retours d'expérience d'agents opérationnels impliqués dans l'application des procédures GRF sur d'autres aéroports. C'est le cas par exemple des aéroports de l'arc antillais lors du passage de grains, fréquents sur cette région à certaines époques de l'année.

⁴³ En dehors de cet horaire, le niveau RFFS est un niveau supérieur.

⁴⁴ Les règlements fixent la capacité d'intervention uniquement en matière de nombre de véhicules d'intervention et de caractéristiques techniques pour ces véhicules. Le nombre de pompiers nécessaire à l'intervention n'est pas fixé par le règlement, mais est le résultat d'une analyse de l'exploitant.

1.11 Enregistreurs de bord

1.11.1 Enregistreur de paramètres

L'EC-NLS était équipé d'un enregistreur Honeywell, modèle 4700 (numéro de type : 980-4700-003). Il s'agit d'un enregistreur à mémoire d'une capacité réglementaire d'enregistrement d'au moins 25 heures.

Un total de 53 h 47 de données de vol étaient enregistrées. 345 paramètres sont enregistrés.

Le BEA et Boeing ont recalculé le vent subi par l'avion en se basant sur les données enregistrées. Les valeurs de vent utilisées dans ce rapport sont celles résultant de ce calcul.

1.11.2 Enregistreur phonique

L'EC-NLS était équipé d'un enregistreur L3Harris, modèle A200S (numéro de type : S200-0012-00). Il s'agit d'un enregistreur à mémoire d'une capacité réglementaire d'enregistrement d'au moins 2 heures.

Les pistes suivantes étaient enregistrées :

- Piste 1 comprenant les communications radio et le signal des microphones du pilote en place gauche, d'une durée de 33 minutes ;
- Piste 2 comprenant les communications radio et le signal des microphones du pilote en place droite, d'une durée de 33 minutes ;
- Piste 3 comprenant les communications radio et le signal du microphone pour une personne assise sur le siège d'appoint du poste de pilotage, d'une durée de 33 minutes ;
- Piste 4 comprenant le signal du microphone d'ambiance, d'une durée de 33 minutes ;
- Piste 5 comprenant le mélange des signaux des pistes 1 à 3, d'une durée de 2 heures 6 minutes et 18 secondes ;
- Piste 6 comprenant le signal du microphone d'ambiance, d'une durée de 2 heures 6 minutes et 18 secondes.

Les deux enregistreurs contenaient les informations relatives au vol de l'accident.

La synchronisation CVR-FDR a été faite en utilisant les paramètres du bouton d'activation des radiocommunications et les informations d'horodatage des données issues du contrôle aérien.

1.11.3 Exploitation de l'EGPWS

L'EGPWS, situé en soute avionique, était immergé lorsque l'avant de l'avion était dans l'étang. Afin d'extraire le contenu de la mémoire interne de l'EGPWS, le composant mémoire a été débrasé puis lu par le laboratoire du BEA. Le contenu binaire de la mémoire a été ensuite envoyé à Honeywell pour décodage et analyse.

L'EGPWS enregistre des informations liées aux décollages (passage de 25 ft AGL) et aux atterrissages (passage de 50 ft AGL).

Dans le cas de l'atterrissement du vol de l'accident, le point de passage des 50 ft AGL a été enregistré à une position GNSS située à près de 310 mètres⁴⁵ après le seuil de piste 12L.

⁴⁵ Cette position est une position GNSS élaborée et enregistrée par l'EGPWS, pour laquelle l'incertitude est enregistrée et estimée à 8 m.

Une situation d'alerte de cisaillement de vent (*windshear caution*) a été détectée de manière interne par l'EGPWS. Cette situation n'a pas produit d'alerte en cockpit car cette fonctionnalité n'est pas installée sur le 737 (voir § 1.6.4.2.1). Elle a été enregistrée par l'EGPWS alors que l'avion était à 65 ft AGL⁴⁶, peu avant la détection de la situation d'atterrissement. L'avion était à près de 225 m après le seuil de piste 12L. Cette situation de cisaillement de vent correspond à une augmentation de 16 kt de la vitesse vraie de l'avion en trois secondes, sans accélération correspondante. Ce type d'alerte est typique de la zone frontale d'une microrafale. Cette détection est cohérente avec les informations météorologiques et l'évolution des paramètres FDR enregistrés.

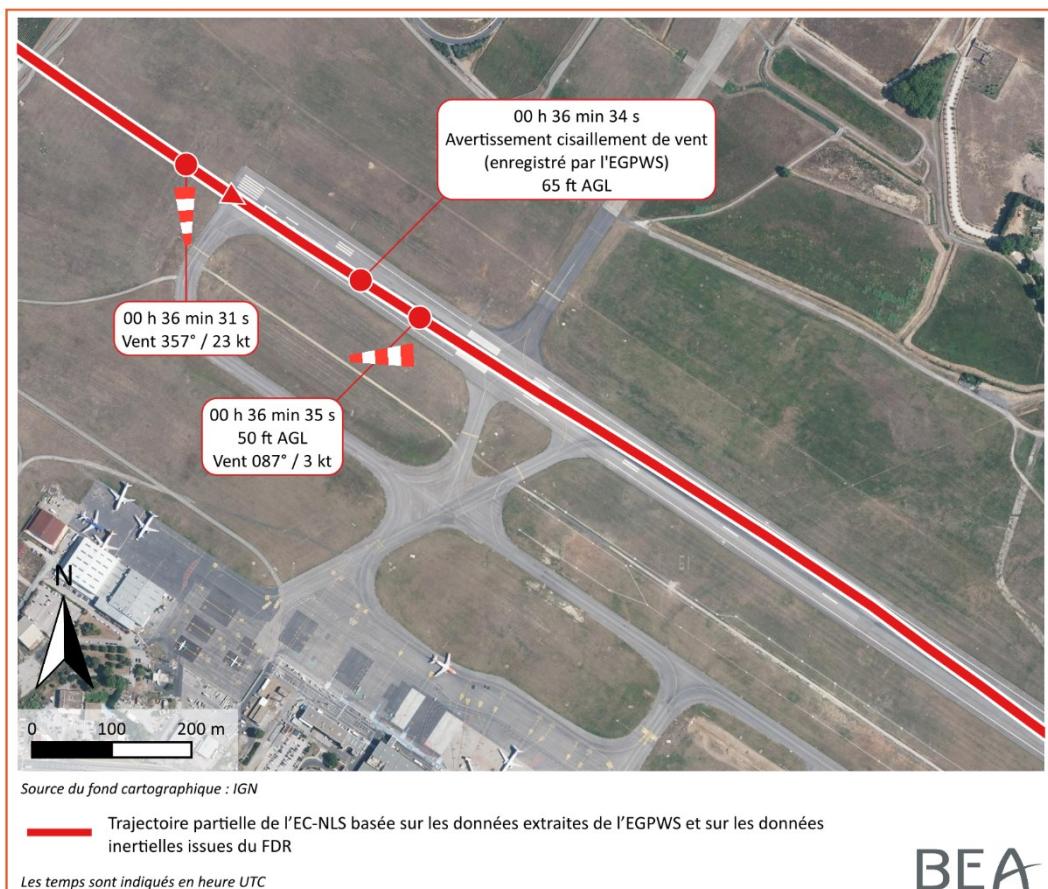


Figure 16 : événement enregistré par l'EGPWS

L'augmentation de la composante de vent arrière de 12 kt à 20 kt subie par l'avion alors qu'il descendait entre 250 et 210 ft n'a pas déclenché de détection de situation d'alerte en interne par l'EGPWS.

Les données enregistrées par l'EGPWS ont également permis de déterminer que l'affichage de l'information du radar météorologique était actif sur l'EHSI du copilote. L'examen des échelles d'affichage utilisées au cours de l'approche, qui sont enregistrées dans le FDR, montre que les échelles choisies permettaient de couvrir la zone où se situait la cellule orageuse située au sud-ouest de l'aérodrome (voir § 1.7.4).

⁴⁶ Cette alerte correspond à l'évolution des paramètres dans les trois secondes qui l'ont précédée, lorsque l'avion était entre 200 et 100 ft.

1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact

Les principaux dommages se situent dans la zone du train d'atterrissement avant et au niveau des moteurs.

Le train d'atterrissement avant s'est rétracté de l'avant vers l'arrière et s'est encastré dans la structure du fuselage en arrière du caisson de train, au niveau de la zone de la soute avionique. L'examen des traces au sol permet de conclure que ces dommages ont eu lieu au moment du basculement de l'avant de l'avion dans le dévers entre la fin de la zone herbeuse et la surface de l'eau de l'étang.

Des dommages sont présents sur les parties extérieures des deux groupes propulseurs au niveau des entrées d'air et des capotages inférieurs. Ces dommages sont la conséquence du frottement et de l'appui des capotages du moteur sur la surface herbeuse dans le dévers à proximité de l'étang. Des dommages sont également constatés en interne, au niveau du revêtement de l'intérieur du conduit d'entrée d'air de la soufflante, du fan et du stator. Ces dommages sont très probablement la conséquence de la pénétration de corps étrangers dans le conduit d'entrée d'air pour le moteur droit et d'une interaction entre les aubes et les matériaux abradables consécutivement aux déformations subies par le moteur gauche.

1.13 Renseignements médicaux et pathologiques

Sans objet.

1.14 Incendie

Sans objet.

1.15 Questions relatives à la survie des occupants

L'alerte des services SSLIA de l'aérodrome a été émise immédiatement après l'accident au moyen d'un bouton dédié à cette alerte et disponible sur le poste du contrôleur aérien. L'activation de ce bouton déclenche une sirène dans les locaux SSLIA. Le premier contact entre le contrôleur et les agents du SSLIA a été établi par radio environ 2 min après la sortie de piste.

La nuit de l'accident, deux agents SSLIA étaient en service, conformément au niveau 5 en cours (voir § 1.10.5.4). Deux autres agents étaient présents dans les locaux des services SSLIA, pour des raisons personnelles, mais n'étaient pas en service. Ces deux derniers ont répondu au déclenchement de l'alerte et ont assisté leurs collègues en service pendant les opérations, en utilisant un deuxième véhicule d'intervention.

Les agents SSLIA ont indiqué que cet apport a facilité la mise en place simultanée des actions de coordination (coordination entre agents SSLIA sur site, activation des moyens de secours externes, coordination avec la tour), de sécurisation du site par le positionnement et la mise en attente d'un des véhicules de lutte contre l'incendie avec son opérateur, et d'assistance à l'équipage.

Le CODIS a été avisé à 0 h 39. Des moyens externes de sauvetage et de lutte contre l'incendie ont été activés immédiatement.

Les personnels SSLIA qui sont intervenus après l'accident ont cherché à évacuer les membres d'équipage par les portes arrière et les portes sur les ailes. Ils ont constaté que ces portes étaient bloquées par le chargement à bord de l'avion. Les personnels SSLIA n'avaient pas connaissance de cette particularité qui est propre à l'opération des avions de transport de fret ou de courrier. Les seules portes accessibles depuis l'intérieur de l'avion étaient les deux portes avant.

Ayant réussi à communiquer avec l'équipage et ayant constaté que l'équipage n'avait pas besoin d'assistance immédiate, et en l'absence de danger apparent nécessitant une évacuation immédiate, les personnels SSLIA ont décidé d'attendre les moyens nautiques pour procéder à l'évacuation de l'équipage tout en maintenant une vigilance au cas où la situation évoluerait.

Les moyens nautiques ont été activés à 0 h 50.

Les moyens externes ont rencontré des difficultés à accéder à la zone côté piste de l'aérodrome dont l'accès est réglementé et normalement uniquement accessible aux personnes munies d'un badge d'accès.

Les premiers moyens nautiques sont arrivés sur le site à 1 h 33.

L'équipage a été évacué par la porte avant droite de l'avion au moyen d'une des embarcations mises en place par les services de sauvetage et de lutte contre l'incendie. En raison d'une part de l'urgence relative après l'accident en absence d'incendie, et d'autre part de la hauteur limitée du seuil de porte par rapport au niveau de l'eau, le toboggan d'évacuation d'urgence n'a pas été activé.



Figure 17 : issue de secours après l'accident (Source : BEA)

Selon un relevé bathymétrique de l'étang réalisé en 2005⁴⁷, la profondeur moyenne de l'étang est de 1,1 m, avec des valeurs maximales de l'ordre de 1,4 m en face de la piste et à distance de la berge.

Lorsque les agents du CODIS ont progressé à pied autour du nez de l'avion pour réaliser des vérifications, il a été constaté qu'ils s'enfonçaient dans la vase, mais l'eau ne dépassait pas leur bassin.

⁴⁷ Source [Syndicat Mixte du Bassin de l'Or](#).

1.16 Essais et recherches

1.16.1 Détermination de la trajectoire de l'avion

Les positions issues du FMS enregistrées dans le FDR n'étaient pas utilisables en raison d'un biais sur les valeurs enregistrées au moment de l'atterrissage.

Les trajectoires décrites dans ce rapport ont été déterminées sur la base, d'une part, des positions enregistrées par l'EGPWS autour de l'alerte cisaillement de vent enregistrée par ce système, et d'autre part, en amont et en aval de la phase d'enregistrement de positions par l'EGPWS, d'un calcul basé sur la vitesse sol et le cap, paramètres enregistrés par le FDR. La portion d'enregistrement de données par l'EGPWS a par ailleurs permis de valider la seconde méthode.

1.16.2 Mesures d'adhérence fonctionnelle de la piste

Des mesures ont été réalisées après l'accident sur la piste pour évaluer les propriétés de macrotexture de la piste. La macrotexture est le principal facteur qui détermine la capacité de drainage de l'interface pneumatiques-sol aux vitesses élevées et donc le risque d'aquaplanage.

Ces mesures ont été réalisées par une société agréée, mandatée pour réaliser le dégommage de la piste par l'exploitant de l'aérodrome. Ce dégommage avait été programmé avant l'accident et correspondait à un entretien régulier, prévu en fonction du taux d'utilisation de la piste.

Le rapport de mesure a été expertisé par le Service Technique de l'Aviation Civile (STAC), expert national en la matière, pour vérification des méthodes et outils utilisés par la société.

Les mesures ont été considérées valides par le STAC et ont montré que l'adhérence globale de la piste était correcte et de nature à permettre un bon freinage des avions. L'engommage de la piste au niveau du seuil 30R, seuil préférentiel, semblait limité en volume et n'a pas dû réduire significativement la capacité de drainage de la piste liée à la macrotexture.

1.16.3 Évaluation des conditions de piste

Une étude a été conduite par le STAC pour estimer la hauteur d'eau sur la piste au moment de l'atterrissage de l'avion, en fonction des mesures de pluviométrie disponibles, des caractéristiques géométriques de la piste et de plusieurs scénarios de valeurs de profondeur moyenne de profil, basés sur les données de profondeur de texture mesurées en différents points de la piste après l'accident.

Cette étude conclut que :

- au début du second épisode pluvieux, deux minutes avant l'atterrissage, la hauteur d'eau moyenne sur la piste devait être comprise entre 0,5 et 1 mm ;
- au moment de l'atterrissage, la hauteur d'eau avait nécessairement augmenté du fait de la pluviométrie cumulée durant ces deux minutes, mais les modèles utilisés fournissent des valeurs de hauteur d'eau inférieures à 1,5 mm jusqu'à 4 m de l'axe de piste et inférieures à 2 mm entre 7 et 10 m de l'axe de piste.

Le STAC avertit toutefois que les modèles utilisés pour réaliser ces évaluations n'ont pas été confrontés, calibrés et/ou validés à l'aide de données expérimentales et/ou issues d'essais in situ et que, bien que les résultats obtenus ne paraissent pas aberrants, il est difficile de dire si le modèle est juste et suffisamment précis (non-quantification des incertitudes).

1.16.4 Aquaplanage

Boeing a réalisé une étude du coefficient de freinage sur la base des données enregistrées par le FDR. Cette étude n'est valable que sur la portion du roulement à l'atterrissement sur les derniers 180 m de la piste, lorsque le freinage a été appliqué de manière symétrique. Sur cette portion, les calculs démontrent que l'avion a pu maintenir un coefficient de freinage moyen d'environ 0,4, ce qui correspond à des valeurs d'action de freinage équivalente à des conditions de piste sèche.

La pression des pneumatiques du train principal relevée lors de la vérification quotidienne, mesurée et notée sur le compte-rendu de vérification le jour de l'accident, était de 200 psi. Pour une telle pression, la vitesse théorique d'aquaplanage est réputée comprise entre 85 et 128 kt⁴⁸. L'avion a touché la piste avec une vitesse de 150 kt et a franchi le seuil de piste 30R avec une vitesse de l'ordre de 70 kt.

L'examen des traces de roulement sur la piste a révélé des zones blanchies par le passage des pneumatiques du train principal de l'EC-NLS (phénomène connu comme *vapor cleaning*). Ces marques peuvent correspondre à une situation d'aquaplanage. Cependant, l'examen des pneumatiques de l'avion n'a pas mis en évidence de marque caractéristique d'aquaplanage (*tread rubber reversion*) qui aurait confirmé de manière certaine l'aquaplanage de l'avion.



Figure 18 : marques similaires à un cas de « vapor cleaning » (Source : BEA)

⁴⁸ Ces valeurs sont basées sur une plage de valeurs expérimentales comme indiquée dans le document NLR-TP-2001-242 « Hydroplaning of modern aircraft tires ».

1.17 Renseignements sur les organismes et la gestion

1.17.1 Renseignements sur Swiftair

1.17.1.1 Généralités

L'exploitant Swiftair réalise des opérations de transport international de passagers et de fret avec des aéronefs de type ATR42 et 72, Boeing 737 et 757 et Embraer EMB-120. Les opérations de transport de passagers sont effectuées uniquement avec les ATR72.

La flotte de Boeing 737 de Swiftair est composée de douze 737 « *classic* », « 737-CL », (-300 et -400)⁴⁹ et de cinq 737 nouvelle génération, « 737-NG », (-800), tous en version cargo.

Les opérations de transport de fret, essentiellement composé de courrier, sont conduites en grande majorité de nuit.

Note : La livrée de l'EC-NLS est celle de West Atlantic. L'avion avait été transféré en 2020 de West Atlantic UK à Swiftair, les deux compagnies appartenant au même groupe. Le vol était effectué sous numéro de vol West Atlantic Sweden (indicatif d'appel *Air Sweden*) dans le cadre d'un contrat entre les deux exploitants.

1.17.1.2 Entraînement des équipages

Les programmes d'entraînement des équipages et les supports utilisés ont été passés en revue dans le cadre de l'enquête. De manière générale, ces programmes sont conformes aux attendus et abordent les thèmes d'intérêt mis en évidence dans cette enquête :

- CRM ;
- GRF, évaluation des distances d'atterrissage ;
- principes de stabilisation ;
- identification, évitement et récupération du cisaillement de vent ;
- familiarisation aux différences entre avions de la flotte.

Les points suivants ont été relevés :

- la spécificité du radar météorologique qui équipait l'EC-NLS est identifiée, mais il n'y a pas d'information relative à son utilisation ;
- l'absence de fonctionnalité de détection prédictive sur les 737-CL de la flotte utilisée par Swiftair est rappelée aux équipages pendant les sessions de formation annuelles au sol, en particulier dans le cours sur les conditions météorologiques défavorables et potentiellement dangereuses. La fonctionnalité de détection réactive n'est pas mentionnée pendant ce cours ;
- l'absence d'avertissement par rapport aux possibles limitations du GRF. En particulier, les supports de formation n'incluent pas les cas d'indisponibilité temporaire du RCR et ne font pas mention de la phraséologie associée.

Swiftair inclut dans le programme d'entraînement des équipages des exercices de remise de gaz à différentes phases de l'approche, parmi lesquels, des exercices d'« interruption d'atterrissage entre l'altitude de décision et le toucher des roues ou après le toucher des roues »⁵⁰.

⁴⁹ Mentionné comme 737-CL dans ce rapport.

⁵⁰ Le BEA n'a pas vérifié comment sont appliqués ces programmes en pratique, ni si des exercices d'interruption d'atterrissage après le toucher des roues sont effectivement réalisés.

1.17.1.3 Gestion du risque, FDM

Swiftair a mis en place un système de gestion de la sécurité opérationnelle (SGS). Un des outils mis en place dans le cadre de ce SGS est le FDM (*Flight Data Monitoring*), ou analyse systématique des données de vol, basé sur les enregistrements de données disponibles.

Swiftair a fourni au BEA les informations sur les résultats du FDM. Pour la flotte 737, le taux de récupération des données est de près de 91 %⁵¹.

L'examen des statistiques sur les 12 derniers mois (septembre 2021 à août 2022) fait ressortir une moyenne de 2,4 % d'approches non stabilisées, pour 11 091 vols analysés⁵². Aucune tendance particulière ne se détache par rapport à l'exploitation sur l'aérodrome de Montpellier.

La détection des atterrissages longs avait été implémentée récemment dans le cadre du FDM, en juillet 2022, et était en cours de mise au point.

La détection de cisaillement de vent n'était pas implantée – cette détection peut être basée sur des paramètres d'alarme correspondant quand les avions sont équipés de système de détection de cisaillement de vent, ou sur l'évolution de certains paramètres (composante de vent longitudinal, vitesse verticale). Le nombre d'événements de cisaillement de vent rapporté par les équipages de la flotte 737 est d'un par an sur les quatre dernières années.

1.17.2 Renseignements sur la fourniture d'informations météorologiques

Le règlement d'exécution (UE) 2017/373⁵³ définit trois niveaux d'exigences applicables aux centres météorologiques d'aérodrome qui sont relatives aux phénomènes de cisaillement de vent sur aérodromes (MET.OR.235). En particulier, un centre météorologique d'aérodrome doit :

- fournir des avertissements d'aérodrome concernant la présence de cisaillement de vent lorsque cette présence est connue ;
- préparer des avertissements relatifs au cisaillement du vent pour les aérodromes où le cisaillement du vent est considéré comme un facteur à prendre en compte, conformément aux arrangements locaux avec l'organisme ATS approprié et les exploitants concernés ;
- émettre, sur les aérodromes où le cisaillement du vent est détecté par des équipements automatisés, terrestres de détection ou de télédétection du cisaillement du vent, des alertes relatives au cisaillement du vent générées par ces systèmes.

La première exigence peut reposer sur l'information fournie par les pilotes. Les deux exigences suivantes s'appliquent uniquement pour des aérodromes où le cisaillement du vent est considéré comme un « facteur à prendre en compte ».

⁵¹ 80 % est considéré comme une valeur minimale pour que le FDM soit efficace d'après le forum EOFDM de l'AESA (<https://www.easa.europa.eu/en/downloads/134273/en>).

⁵² Dans le cadre de l'enquête sur l'[incident survenu à l'Airbus A318 immatriculé F-GUGM exploité par Air France le 12 septembre 2020 à Paris - Orly \(94\)](#), le BEA avait obtenu des informations de 42 exploitants qui montrait un pourcentage d'environ 4 % d'approches non stabilisées. Ce pourcentage n'est pas basé sur l'analyse des données de vol, mais sur des observations de type LOSA.

⁵³ Règlement d'exécution 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 ([Version en vigueur à la date de l'accident](#)).

Météo-France a réalisé une étude afin de déterminer la liste des aérodromes qui répondrait à ce critère. En l'absence d'une définition objective de ce critère par la réglementation, Météo-France a basé son étude sur :

- les événements contenus dans la base de données ECCAIRS pour lesquels le cisaillement de vent apparaît comme un facteur contributif ;
- pour les aérodromes disposant de plusieurs capteurs de vent, une étude historique sur 12 mois des cas de cisaillement non convectif, basée sur la comparaison des vecteurs vent sur ces capteurs ;
- pour les aérodromes disposant d'un seul capteur de vent, en complément du nombre d'occurrences de la base de données ECCAIRS, les retours des contrôleurs aériens et des prévisionnistes locaux ;
- une étude complémentaire, pour le cisaillement convectif, basé sur les statistiques d'apparition du mot Cb dans les METAR sur deux ans.

Les résultats sont pondérés en fonction du trafic passager afin de formaliser un niveau de risque.

L'aérodrome de Montpellier - Méditerranée ne figure pas, selon les critères de cette étude, comme un aéroport où le cisaillement de vent présente un risque tel que des mesures supplémentaires doivent être mises en place au sens de l'exigence MET.OR.235.

Note : Conscient des limites de l'étude, Météo-France se dit ouvert à l'amendement de la liste des aéroports établie au terme de cette étude. En ce sens, les résultats de l'étude ont été largement diffusés vers les usagers et Météo-France a indiqué qu'elle étudierait toutes nouvelles propositions d'amendements de la liste. Ainsi, depuis l'étude initiale, des études complémentaires ont été réalisées pour deux aérodromes, et un aérodrome a été ajouté à la liste initiale des aérodromes concernés par les exigences additionnelles.

1.18 Renseignements supplémentaires

1.18.1 Évaluation de la fatigue

L'équipage n'a pas fait mention de fatigue lors des entretiens après l'accident.

Les temps de mise en place, de repos et de service étaient conformes aux règles de l'exploitant, qui étaient elles-mêmes en conformité avec les règles fixées par le règlement (UE) n° 965/2012 modifié dit « AIR OPS⁵⁴ ».

L'approche a été réalisée dans le creux circadien principal d'hypovigilance (2 h à 6 h locale).

En raison de la mise en place réalisée tôt le matin dans la nuit précédant la nuit de l'accident, le copilote a pu souffrir d'un déficit de sommeil.

Les deux membres d'équipages reprenant les vols après une semaine sans vol, cette reprise a pu avoir un impact sur leur rythme de sommeil, en l'absence de réacclimatation aux horaires de vol nocturnes caractéristiques des opérations de transport de courrier.

L'examen du CVR met en évidence un seul bâillement, à 0 h 19, sans qu'il soit possible de déterminer s'il s'agissait du CdB ou du copilote.

⁵⁴ Règlement de la Commission du 5 octobre 2012 déterminant les exigences techniques et les procédures administratives applicables aux opérations aériennes ([Version en vigueur le jour de l'accident](#)).

Ces éléments montrent un possible état de fatigue légère de l'équipage au moment de l'approche, en particulier du copilote, sans que celui-ci en soit conscient.

1.19 Techniques d'enquête utiles ou efficaces

Sans objet.

2 ANALYSE

2.1 Introduction

Dans la nuit du 23 au 24 septembre 2022, l'équipage du Boeing 737-400 immatriculé EC-NLS, exploité par Swiftair, effectuait un vol de transport de courrier entre Paris - Charles de Gaulle et Montpellier - Méditerranée. Le CdB, en place gauche, était PM, le copilote, en place droite, était PF. Un mécanicien était également à bord de ce vol, assis en zone cargo.

Après avoir préparé et briefé l'approche pour la piste 30R, l'équipage a été informé du changement de piste en service. Il a préparé l'approche VOR-DME pour la piste 12L, mais n'a pas briefé cette approche de manière formelle.

Une cellule orageuse approchait l'aéroport de destination depuis le sud-ouest. Au moment de l'approche, l'équipage avait une faible conscience de la présence de cette menace météorologique, malgré les informations à leur disposition.

En courte finale, le CdB et le copilote ont échangé leur rôle d'un commun accord. Le copilote désormais PM n'a pas assuré les tâches de surveillance.

Lors du passage du seuil, l'avion a subi un cisaillement de vent. L'équipage n'a pas détecté ce phénomène et n'a pas perçu son impact sur les paramètres de vol. En particulier il n'a pas remarqué que l'avion dépassait la zone de toucher sans entrer en contact avec le sol.

La distance restante au moment du toucher ne permettait très probablement pas d'arrêter l'avion dans les limites de la piste.

L'avion est sorti longitudinalement de piste et a terminé sa course dans l'étang qui se trouve à cet endroit.

L'analyse de l'occurrence porte sur les points suivants :

- la conscience de la situation météorologique ;
- la préparation insuffisante de la nouvelle approche et les conséquences sur la réalisation de l'approche ;
- la prise en compte des critères de stabilisation ;
- l'échange de fonctions PM/PF en courte finale ;
- l'absence de détection du cisaillement de vent ;
- la non-perception de l'atterrissage long ;
- la condition de piste au moment de l'atterrissage et la conscience de celle-ci de la part des différents acteurs du GRF.

2.2 Conscience de la situation météorologique

2.2.1 Prise en compte de l'information météorologique

L'examen des informations météorologiques fournies à l'équipage montre que celui-ci pouvait avoir conscience des menaces liées à la présence de cumulonimbus (Cb) au moment de l'approche.

À la préparation du vol, TAF, TEMSI et SIGMET mentionnaient la présence de Cb.

Pendant le vol, lorsque l'équipage a contacté les services du contrôle de Montpellier pour actualiser les informations sur l'aérodrome, le contrôleur les a informés de la présence de Cb et que les conditions changeaient rapidement.

Cependant, lors de sa prise de note, au moment de cette prise d'information, le PM n'a pas noté la présence de Cb. Il ne l'a pas rapportée au PF⁵⁵.

De plus, à la fin de cet échange, le contrôleur a également indiqué que la visibilité s'améliorait, qu'un orage venait de passer sur l'aérodrome dix minutes plus tôt et que la situation s'était calmée. Il est possible que l'équipage ait privilégié inconsciemment cette information d'amélioration qui lui a été fournie en fin de message, malgré l'information additionnelle que les conditions changeaient rapidement.

Enfin, l'information qui a semblé retenir principalement l'attention de l'équipage à l'issue de cette prise d'information auprès du contrôleur était le changement de piste : les discussions en poste, à la suite de la prise des informations sur l'aérodrome, hormis l'évocation de la visibilité, se sont focalisées sur le changement de piste et le changement de programmation du FMS.

Ces éléments tendent à montrer comment, malgré les informations à disposition, l'équipage semble avoir de manière inconsciente insuffisamment pris en compte ces informations qui auraient pu le préparer aux conditions météorologiques qu'il allait rencontrer pendant l'approche. Comme indiqué dans le manuel d'exploitation (OM) ou le manuel de référence du pilote (PRM) (voir § 1.6.6.12), la conscience de la situation et des menaces, combinée à l'identification par anticipation d'une situation propice au phénomène de cisaillement de vent, revêt une grande importance pour qu'un équipage détecte une situation de cisaillement.

2.2.2 Utilisation du radar

Par la suite, il est probable que les réglages du radar n'aient pas permis à l'équipage de détecter la présence de la cellule orageuse à proximité de l'aérodrome au moment de l'approche. En effet, à moins d'un hypothétique dysfonctionnement du radar, une cellule aussi chargée d'eau que celle qui s'approchait de l'aérodrome, comme le démontrent les données de précipitation sur l'aérodrome et les images radar de Météo-France, devait pouvoir être détectée.

L'hypothèse de dysfonctionnement du radar semble pouvoir être écartée en raison de la discussion sur les réglages de celui-ci, survenue juste avant la descente, et en raison de quelques échanges au cours de la descente entendus dans l'enregistrement du CVR.

L'hypothèse du masquage (effet *shadowing*) de la cellule qui se situait à proximité de l'aérodrome au moment de l'atterrissement peut également être écartée. L'effet *shadowing* correspond au masquage de la cellule par une autre masse chargée d'eau au premier plan. Or l'équipage dans son témoignage a indiqué ne pas avoir perçu d'écho particulier sur l'image radar.

La discussion sur les réglages du radar, qui a eu lieu après avoir réalisé la checklist avant descente peut être l'illustration d'une maîtrise insuffisante des techniques d'utilisation et d'interprétation de l'outil.

⁵⁵ Il n'a pas été possible de déterminer si le PF écoutait la communication avec Montpellier au moment de cet échange. Les échanges enregistrés sur le CVR montre qu'il était en écoute de la fréquence active, avec le contrôle en route de Bordeaux, mais cette écoute n'empêche pas systématiquement l'écoute simultanée de la seconde fréquence.

L'absence de description du boîtier de contrôle du radar dans la documentation opérationnelle mise à disposition de l'équipage par l'exploitant a pu contribuer à une connaissance insuffisante des particularités des réglages de l'outil.

D'après leur témoignage sur les réglages du radar, chaque membre d'équipage savait qu'il fallait adapter le réglage du tilt du radar pendant l'approche et qu'il fallait régler le tilt à 1° environ pour l'approche finale. Après l'accident, les réglages du boîtier radar n'étaient pas cohérents avec ces valeurs.

Il n'a pas été possible de confirmer les réglages du radar choisis par l'équipage pendant l'approche : aucun échange à ce sujet n'est entendu dans l'enregistrement du CVR sur la fin de l'approche et aucun paramètre relatif à ces réglages n'est enregistré dans le FDR. Au vu des réglages constatés sur le boîtier, il est probable que l'équipage ait oublié de réaliser le réglage du radar au cours de l'approche en raison de la charge de travail.

Il est également probable que le mode IDNT de réduction de l'information liée au sol ait été activé, par oubli ou par méconnaissance du système. Le mode IDNT, dont le but est d'activer la fonction de réduction de l'information liée au sol, n'est pas destiné à une utilisation continue, car certaines parties des cibles météorologiques peuvent voir leur intensité réduite dans ce mode, voire être supprimées.

Par ailleurs, la documentation opérationnelle fournit peu d'informations sur les réglages à adopter au cours du vol.

De manière plus générale, l'insuffisance de la formation sur l'utilisation du radar météorologique a été pointée du doigt à plusieurs reprises par l'industrie. L'AESA a ainsi cité ce point dans son [Strategy Paper](#) sur l'information météorologique pour les pilotes. L'agence propose que les exploitants fournissent une formation formelle initiale et périodique sur les radars météorologiques et qu'ils s'assurent que le manuel d'exploitation de l'aéronef fournit une description claire des techniques recommandées pour utiliser le radar météorologique.

L'utilisation du radar météo faite par l'équipage ne lui a ainsi pas permis de prendre conscience de la présence d'un grain important à proximité immédiate de l'aéroport.

2.3 Préparation de l'approche

2.3.1 Changement de piste, particularités de la nouvelle approche

Une première préparation de l'approche et un briefing relativement complet ont été réalisés pour l'approche ILS sur la piste 30R. Lorsque l'équipage a été informé du changement de piste, le PF a réalisé une nouvelle préparation de l'approche avec une pression temporelle plus importante.

Bien que le PF ait souvenir d'avoir réalisé le briefing pour la nouvelle approche, l'enregistrement du CVR montre qu'il a en fait modifié la programmation du FMS en énonçant les changements à voix haute et en vérifiant de manière informelle la nouvelle trajectoire. Une discussion au cours de cette préparation s'est portée sur le choix du mode de descente pour l'approche finale, mais aucune décision claire n'a été prise. De même, les particularités de l'approche n'ont pas été discutées, qu'il s'agisse du plan à 3,66° et des conséquences de ce plan sur la vitesse verticale pendant l'approche finale, de l'axe final d'approche décalé ou du balisage lumineux.

S'agissant d'une approche de non-précision, l'évocation pendant le nouveau briefing du taux de descente ainsi que les critères amenant à décider d'une approche interrompue auraient pu permettre de :

- commencer l'approche finale avec une idée relativement précise de la vitesse verticale nécessaire pour suivre le plan de descente et de moduler la vitesse verticale de l'avion autour de cette vitesse verticale de référence en fonction des conditions de vent et des éventuels écarts détectés au cours de l'approche finale ;
- anticiper que le critère de stabilisation de 1 000 ft/min devait être révisé, puisque le suivi du plan d'approche nécessitait un taux de descente proche de ce critère.

Ainsi, au cours de la descente finale, alors que le PM demande au PF d'augmenter le taux de descente pour revenir sur le plan, celui-ci répond en paraissant exprimer une interrogation sur le fait d'utiliser une vitesse verticale de 1 000 ft/min. Cela pourrait illustrer qu'une partie de ses ressources cognitives pendant l'approche finale, phase de vol particulièrement chargée en cas d'approche de non-précision avec vérifications altitude-distance, étaient utilisées pour résoudre un questionnement qui aurait dû être abordé et résolu pendant le briefing.

Ces éléments tendent à montrer comment l'absence de briefing a eu pour effet d'augmenter la charge de travail sur la courte finale.

2.3.2 Gestion des menaces et des erreurs (*Threat and Error Management ou TEM*)

Le principe du TEM est intégré dans le cours CRM des équipages de Swiftair, conformément au contenu des formations requis par l'AESA.

Swiftair n'avait pas, au moment de l'accident, intégré de recommandation opérationnelle spécifique par rapport à l'application des principes du TEM. Il n'existe pas d'obligation en ce sens dans la réglementation.

Le BEA a souligné à travers diverses enquêtes que l'absence ou la mise en œuvre incomplète de la démarche TEM pouvait être un facteur contributif à un incident ou à un accident.

Dans le document Info Sécurité DGAC n° 2020/01⁵⁶ dont l'objectif est de promouvoir les bonnes pratiques d'utilisation de la méthode TEM, la DGAC recommandait aux exploitants d'aéronefs :

- de déterminer les conditions de déclenchement d'un échange TEM entre les membres d'équipage, afin de réactualiser l'identification des menaces, erreurs et mesures associées pendant toute la durée du vol ; elle doit être prise en compte en début d'analyse pour installer le contexte lors des briefings ou lors d'événements particuliers ;
- de structurer ces échanges TEM, afin de garantir l'identification de mesures pertinentes ;
- de décrire la démarche TEM ainsi retenue dans leur manuel d'exploitation ;
- d'inclure la démarche TEM dans la formation des équipages et la standardisation des instructeurs ;
- de s'assurer lors des entraînements et contrôles que cette démarche est appliquée correctement pendant toutes les phases du vol ;
- d'intégrer les principes du TEM dans les communications de sécurité de la compagnie.

⁵⁶ Document disponible en français uniquement.

Dans le cas de l'accident de l'EC-NLS, l'examen des faits montre que plusieurs menaces pouvaient être prises en compte par l'équipage sur la base des informations dont il disposait, afin d'élaborer des stratégies pour gérer ces menaces :

- présence de Cb à proximité de l'aérodrome :
 - risque de cisaillement de vent associé à cette présence,
 - menaces liées à la distance d'atterrissage en regard des évolutions possibles des conditions réelles au moment de l'atterrissage,
- particularités de l'approche (plan à 3,66°, balisage lumineux limité sur le seuil 12L) ;
- menaces liées à la charge de travail augmentée en raison du type d'approche réalisée et les modes choisis pour conduire cette approche ;
- menaces liées au fait que le copilote avait une faible expérience sur l'avion et sur ce type d'approche.

2.4 Réalisation de l'approche

2.4.1 Charge de travail

La réalisation d'une approche de non-précision avec le contrôle de plan de descente basé sur les vérifications altitude-distance induit une charge de travail importante⁵⁷.

Cette charge de travail a pu être augmentée en raison de l'absence de briefing formel et de prise en compte des particularités de l'approche (voir § 2.3). Le choix de conduire l'approche finale avec le mode V/S eu lieu du mode VNAV a également pu contribuer à l'augmentation de la charge de travail, et ce de surcroit en l'absence d'une détermination préalable du taux de descente adapté aux conditions de l'approche.

Les conditions météorologiques (variations de vent pendant l'approche finale) ont également été un facteur d'augmentation de la charge de travail.

La faible expérience du copilote (type avion, aérodrome, type d'approche), dans les conditions particulières de cette approche, a également pu contribuer à une augmentation de la charge de travail du CdB, comme exprimé dans le témoignage de ce dernier, au cours duquel il a expliqué que sa fonction de surveillance du vol pendant l'approche lui avait pris beaucoup de ressources.

Sur l'approche finale, un certain nombre d'annonces standard ont été omises :

- le contrôle altitude distance à 4 NM n'a pas été réalisé ;
- l'annonce de stabilisation à 1 000 ft n'a pas été réalisée. Le passage de l'altitude de stabilisation a été concomitant avec la transition visuelle et la discussion sur l'identification de la piste, ainsi qu'à la déconnexion du PA et le passage en vol manuel. À cet instant, l'avion était près de 200 ft au-dessus du plan et le PAPI devait probablement montrer quatre lumières blanches (voir également § 2.4.2) ;
- l'absence des annonces « *300 ft above minimums* », « *approaching minimums* » et « *minimums* » ;
- à 500 ft, l'équipage n'a pas réalisé d'annonce de stabilisation : le passage de cette altitude a été réalisé au moment où l'équipage a discuté de l'échange des fonctions PM/PF.

⁵⁷ Etude de l'ATSB [Perceived Pilot Workload and Perceived Safety of RNAV \(GNSS\) Approaches](#).

Ces omissions peuvent être une illustration supplémentaire de la dégradation de la performance de l'équipage liée à la forte charge de travail. L'absence de ces annonces a également favorisé une diminution de la conscience de la situation vis-à-vis des critères de stabilisation.

2.4.2 Difficulté d'appréciation des critères de stabilisation pendant l'approche

L'industrie⁵⁸ a établi des critères de stabilisation en cherchant à établir des conditions communes à tous les types d'approche, de manière à simplifier leur appropriation et leur utilisation par les équipages.

L'examen des critères de stabilisation établis par les manuels de l'exploitant, qui sont cohérents avec ceux recommandés par l'industrie, montre que la prise en compte de ces critères peut nécessiter des ressources importantes dans une situation où la charge de travail est déjà élevée.

En particulier, dans le cas de cet accident :

- après la transition visuelle, l'axe de piste étant différent de l'axe d'approche finale, le critère d'alignement à moins de 5° de l'axe de piste n'était plus appréciable par examen de la déviation VOR ;
- dans le plan vertical, concernant le critère lié au plan d'approche, il n'existe pas de critère numérique lié à la déviation en altitude aux points de contrôle altitude-distance.

Subsistaient sur la partie finale de l'approche :

- l'appréciation de l'ampleur des corrections requises en assiette et en roulis pour maintenir l'axe et le plan, qui peut être difficile à appréhender ;
- la prise en compte du PAPI.

Ainsi, au fur et à mesure que l'avion approche de la piste, d'une part la disponibilité de l'équipage diminue, et d'autre part, certains critères à prendre en compte pour apprécier la stabilisation nécessitent des ressources cognitives plus importantes.

2.4.3 Critères de stabilisation mixtes IMC/VMC

Swiftair utilise deux butées différentes de stabilisation selon que les conditions sont VMC (500 ft) ou IMC⁵⁹ (1 000 ft). Il existe également dans le manuel d'exploitation une différentiation, pour une approche NPA conduite avec la technique CDFA, basée sur les références visuelles au lieu des conditions VMC.

Dans la dernière édition en date du document⁶⁰ édité par l'IATA sur les approches non stabilisées, proposant des politiques, procédures et bonnes pratiques d'atténuation des risques, il est souligné que l'utilisation d'altitudes de stabilisation, variables selon les types d'approche (précision/non-précision) et/ou les conditions météorologiques (IMC/VMC), peut être une source de confusion potentielle.

⁵⁸ On peut citer par exemple les travaux de la *Flight Safety Foundation*, qui sont repris par l'IATA, les exploitants ou par les avionneurs au niveau des procédures, techniques ou recommandations opérationnelles.

⁵⁹ La distinction IMC/VMC est la conséquence d'une définition réglementaire, basée sur les conditions de visibilité et de distance aux nuages en fonction de la classe d'espace réglementaire.

⁶⁰ [IATA Unstable Approaches: Risk Mitigation Policies, Procedures & Best Practices, 3rd Edition](#).

Ainsi, l'application d'un principe d'approche stable sans distinction entre les approches VMC et IMC et en utilisant une unique altitude de stabilisation, facilite le suivi de la conformité à l'aide des outils de FDM, alors que l'utilisation de différentes altitudes nécessite que l'analyste FDM sache quel type d'approche a été effectué et dans quelles conditions.

Le document indique que de nombreuses compagnies aériennes ont mis en œuvre un ensemble unique de critères pour une approche stable et que les retours des pilotes ont été extrêmement positifs.

2.4.4 Échange de fonctions PF/PM

Après l'échange de fonction PF/PM, l'absence de surveillance du PM n'a pas permis de détecter la déstabilisation de la trajectoire en courte finale.

Comme souligné dans le « Guide pratique pour l'amélioration de la surveillance de la trajectoire de vol »⁶¹ produit par la *Flight Safety Foundation* (FSF), une surveillance efficace de la trajectoire de vol est primordiale pour une opération sûre. Les équipages de conduite doivent utiliser cette surveillance pour les aider à identifier, prévenir et atténuer les événements susceptibles d'avoir un impact sur les marges de sécurité.

Dans le cas de cet accident, le témoignage du copilote montre qu'après la reprise des commandes par le CdB, il n'a pas assuré la tâche de surveillance qui lui incombaît et son regard est resté focalisé sur les repères extérieurs sur lesquels il était concentré lorsqu'il était PF.

Ce phénomène a déjà été identifié, comme l'illustre la traduction de cet extrait de l'[AC 120-123](#) de la FAA sur le sujet de la gestion de la trajectoire.

« Grâce à l'analyse des accidents et des incidents, des situations sont identifiées où les deux pilotes ont fini par agir comme PF alors que la surveillance était négligée. Cela pourrait se produire lorsque le PM prend le contrôle de l'avion au PF à un moment critique, y compris le décollage et l'atterrissement. Normalement, il est plus facile pour le PM de revenir à PF que pour le PF de revenir instantanément à PM. Une des raisons à cela est que le PM peut prendre une décision et agir pour devenir le PF, tandis que le PF peut être surpris, perdre conscience de la situation ou essayer de comprendre pourquoi le PM a pris le relais, mais ne pas penser à changer de rôle et être le PM. »

Afin de préparer les équipages à réagir de manière adaptée à de telles situations, la FAA recommande que l'échange des rôles, ou le transfert des contrôles, soit inclus spécifiquement dans l'entraînement des pilotes en proposant différents scénarios qui amènent à cette situation.

Par ailleurs, la FAA recommande dans cette AC un processus en trois étapes positives pour le transfert des commandes de vol entre pilotes décrit comme suit :

- lorsqu'un pilote demande à l'autre pilote de prendre le contrôle de l'avion, le premier pilote dira « *You have controls* » ;
- le deuxième pilote accuse immédiatement réception en disant « *I have controls* » ;
- le premier pilote dit à nouveau : « *You have controls* » et confirme visuellement le transfert de contrôle.

⁶¹ [A Practical Guide for Improving Flight Path Monitoring](#).

La procédure de Swiftair est similaire, mis à part qu'elle n'utilise que les deux premières étapes.

Ces méthodes et les annonces associées, dont un des objectifs est de s'assurer qu'il n'y ait jamais de doute quant à savoir qui est aux commandes comme indiqué dans l'AC 120-123, se concentrent uniquement sur la fonction PF. Ces annonces ne mentionnent pas la fonction PM dans le transfert de fonctions.

Au vu de l'importance de la fonction PM, décrite par de nombreuses études, il paraît également important de s'assurer que le membre d'équipage qui remet les contrôles assume le rôle de surveillance ensuite.

Un individu, dans une situation de forte concentration sur son rôle de PF, liée à une situation de charge de travail importante, peut avoir besoin d'un stimulus qui ne se réduise pas à lui indiquer que l'autre membre d'équipage reprend la fonction de contrôle des commandes de l'avion, mais qui lui rappelle de manière positive, voire active, qu'il doit désormais assurer une nouvelle fonction, celle de PM.

2.4.5 Détection du cisaillement de vent

La FSF a produit des notes d'information pour aider à prévenir les accidents en approche et à l'atterrissement (ALAR - *Approach-and-Landing Accident Reduction*). Parmi ces notes, la [note 5.4](#) fournit des informations sur la menace liée aux cisaillements de vent.

Du point de vue des procédures opérationnelles, la FSF souligne, entre autres, l'importance des points suivants :

- pour la conscience de la menace et son évitemment, l'importance du briefing :
 - évaluer les conditions de l'approche et de l'atterrissement en fonction, par exemple, des bulletins et prévisions météorologiques les plus récents ou des observations visuelles ;
 - envisager de retarder l'approche et l'atterrissement jusqu'à ce que les conditions s'améliorent, ou envisager de se dérouter vers un aéroport approprié ;
 - se préparer à réagir sans délai en cas de cisaillement par l'application des procédures idoines ;
- pour la détection de la menace :
 - l'utilisation du radar météorologique pour s'assurer que la trajectoire est dégagée de tout danger potentiel ;
 - une répartition des tâches adaptée avec un monitoring efficace, avec une surveillance attentive de la vitesse et de la vitesse sol ainsi que leurs tendances d'évolution, et le respect des annonces standard ;
 - une bonne gestion de l'énergie pendant l'approche ;
 - une approche stabilisée avec le respect des fenêtres.

Dans le cas de l'accident de l'EC-NLS, plusieurs de ces barrières ont failli :

- l'absence de briefing formel à la suite du changement de piste ainsi que la conscience situationnelle insuffisante de la situation météorologique n'ont pas permis une préparation adéquate de l'équipage ;
- l'absence de TEM a pu contribuer à cette préparation partielle ;
- la déstructuration du CRM à la suite de l'échange de fonctions au sein de l'équipage a résulté en l'absence de surveillance active du PM.

2.4.6 Non perception de l'atterrissage long

L'atterrissage a été réalisé sous une averse de pluie, avec les essuie-glaces en fonctionnement, par nuit noire.

Une étude⁶² montre que la pluie affecte la visibilité de diverses manières, et que cet effet est particulièrement important la nuit : l'efficacité des phares est réduite et les gouttes de pluie dispersent la lumière (effet de rétrodiffusion dû à la réflexion de la lumière des phares sur les gouttes, effet d'éblouissement lié à cette rétrodiffusion qui affecte la visibilité des contrastes, effet d'obstruction du retour de lumière des objets éclairés), réduction de la visibilité liée à la présence d'eau sur le pare-brise.

L'effet miroir dû à la présence d'eau sur la piste, amplifié par la réflexion des phares, peut également contribuer à diminuer la perception des objets. Ces effets sont influencés par l'intensité de la pluie, la vitesse de l'avion, la vitesse des essuie-glaces et leur efficacité.

De plus, de nuit, la perception de la profondeur et des distances est affectée.

Au niveau de la zone de toucher, la piste dispose de lumières de bord de piste et du marquage de zone de toucher des roues, mais ne dispose pas de balisage lumineux spécifique à cette zone. Visuellement, la principale référence permettant de percevoir l'atterrissage long se réduisait à la perception du marquage de la zone de toucher des roues.

L'avion a survolé la zone de marquage de toucher des roues à une altitude plus importante que sur une trajectoire nominale. Ceci a aussi eu pour effet de diminuer la perception de ce marquage.

Tous ces éléments vont dans le sens de la difficulté de la perception visuelle de l'atterrissage long. L'équipage aurait pu être alerté par le rythme inhabituel des annonces (voix synthétique) du radio-altimètre pendant l'arrondi et par la durée de l'arrondi.

2.5 Atterrissage, sortie de piste

La distance de piste restante au moment du toucher des roues était très probablement insuffisante pour que la sortie de piste puisse être évitée : l'avion a touché à 1 100 m du seuil de piste opposé, alors que la LDTA a minima peut être considérée de l'ordre de 1 560 m, ce qui correspond à une distance de roulement théorique à l'atterrissage de 1 056 m⁶³.

2.5.1 Conditions de piste

Quelques dysfonctionnements ont été identifiés au cours de l'enquête concernant l'application des procédures liées au GRF et à l'information de conditions de piste par les acteurs impliqués sur l'aérodrome. En effet, c'est le contrôleur, selon sa propre appréciation depuis la tour de contrôle, qui a modifié le RCR le soir de l'accident. Cette pratique n'est pas prévue.

⁶² Morden J. N., Caraffini F., Kypraios I., Al-Bayatti A. H., Smith R., Driving in the Rain: A Survey toward Visibility Estimation through Windshields, International Journal of Intelligent Systems, 2023, 9939174, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/9939174>.

⁶³ Cette valeur correspond à la valeur calculée de LDTA de 1 560 m calculée avec la configuration choisie, dans des conditions de vent traversier et état de piste 555, de laquelle ont été retranchés les 15 % de marge de sécurité et 300 m liés à l'arrondi pour obtenir une distance théorique de roulement à l'atterrissage.

Il semble cependant que ces dysfonctionnements ne sont pas directement contributifs à l'accident : bien que certains éléments, tels que la vitesse théorique d'aquaplanage ou les marques de « *vapor cleaning* » sur la piste, tendent à montrer une probabilité de diminution de l'efficacité de freinage, l'évaluation théorique de la hauteur d'eau sur la piste réalisée par le STAC (voir § 1.16.3) et l'étude du coefficient de freinage de l'avion sur les derniers 180 m de piste réalisée par Boeing (voir § 1.16.4) ne vont pas dans le sens d'une contamination de la piste qui aurait pu impacter de manière significative la capacité de freinage de l'avion par rapport à l'estimation faite de la LDTA, réalisée sur la base d'un code RCR 555.

Les constatations réalisées pendant l'enquête reflètent cependant un décalage entre les procédures d'évaluation des conditions de piste et la réalité des conditions pratiques de cette évaluation. La durée d'une inspection de piste pour évaluer le code RCR de celle-ci, de l'ordre de 15 minutes, paraît peu adaptée si on la compare à la durée nécessaire à l'évacuation de l'eau, liée aux propriétés de drainage de la piste. Ceci peut aboutir naturellement à une situation réelle sur la piste différente de la situation rapportée en application des procédures.

De la même façon, l'apport au GRF que constituent les comptes-rendus fournis par les équipages après l'atterrissement se trouve limité lorsqu'il n'y a pas eu un atterrissage précédent immédiatement l'atterrissement en question : dans le cas de l'atterrissement de l'EC-NLS, aucun atterrissage n'a eu lieu dans la demi-heure qui le précédait.

Ainsi, malgré les améliorations qu'a apporté la mise en place du GRF, un équipage qui atterrit pendant ou peu après une averse orageuse peut ne pas disposer d'une valeur de condition de piste réelle.

Dans le document « *Implementation of Global Reporting Format for Runway Surface Conditions (GRF) – Guidance based on management of change (MOC)* », l'OACI identifie cette menace parmi les tâches attribuées aux services de navigation aérienne et propose des défenses comme suit :

Tasks	Hazards	Defences
Inform rapid changes in runway condition observed from TWR (unofficial information)	RCR is not issued when there is a rapid change in runway condition	<ul style="list-style-type: none"> • Ensure ATCOs are trained to identify a rapid changes (e.g. weather) which could adversely affect RCR and inform airport operator • Develop policy and procedures for ATCOs to inform flight crew of tower observations of runway surface conditions (e.g. use of phraseology plain language remarks) • Use standard terminology and phraseology

Ces défenses sont intégrées en pratique dans les procédures et la phraséologie (voir § 1.10.5).

Il apparaît toutefois que les acteurs de premières lignes n'ont pas encore complètement assimilé et pris en compte ces situations météorologiques dynamiques et leur impact sur le GRF et ne maîtrisent pas encore pleinement les procédures associées à ces situations particulières.

Pour rappel, le GRF est rentré en vigueur en août 2021 dans les États membres de l'Union européenne. Cet accident survient près d'un an après cette implémentation. Il convient donc désormais, comme prévu par l'OACI dans le document cité plus haut, dans le cadre du suivi de l'implémentation du GRF et de la gestion du changement associé, de prendre en compte les déficiences identifiées pour y remédier.

2.5.2 Facteurs opérationnels aggravant la sortie de piste

En raison de la distance de piste restante au moment du toucher des roues, l'enquête n'a pas cherché à évaluer de manière précise et exhaustive les facteurs qui ont pu affecter la distance de roulement à l'atterrissement.

Toutefois, les facteurs suivants ont pu diminuer l'efficacité de la décélération de l'avion et aggraver les conséquences de la sortie de piste :

- application tardive des inverseurs de poussée : les manettes de commande des inverseurs de poussée ont été positionnées sur REV IDLE près de quatre secondes après le toucher des roues puis sur REV MAX trois secondes plus tard. Le CdB a émis l'hypothèse liée à l'habitude de ne pas utiliser les inverseurs à pleine puissance dans le cadre des opérations de nuit, en raison du bruit associé, pour expliquer ce délai ;
- en raison de cette activation tardive des inverseurs de poussée, le régime N1 des moteurs est passé de *High Idle* à *Low Idle* (valeurs de logique interne correspondant respectivement à un ralenti vol en approche et un ralenti sol). Une fois la manette positionnée sur le cran REV MAX, la montée en puissance⁶⁴ a été allongée d'environ deux secondes du fait de cette demande de puissance sur la base d'un niveau de puissance inférieur au niveau ralenti vol.

2.5.3 Moyens d'atténuation

Les constatations réalisées sur le site de l'accident ont permis de constater que la RESA a partiellement rempli son rôle. Si l'avion n'a pas été endommagé pendant sa course au travers de la RESA, il n'a pas été suffisamment freiné par celle-ci.

Les dimensions de la RESA répondent à la norme minimale, mais elles ne peuvent pas être augmentées en raison de la proximité avec l'étang de l'Or.

Au vu des conséquences potentielles d'une sortie de piste au seuil 30R mises en évidence par cet accident (dommages importants sur l'avion qui ont conduit à son démantèlement, fermeture de l'aéroport sur une période importante, difficultés de mise en œuvre de moyens nautiques, possibilité de pollution d'un site protégé⁶⁵), il pourrait être utile de conduire une étude pour évaluer les possibilités d'améliorer le compromis entre les propriétés de résistance à l'avancement et de portance de la RESA, y compris via la mise en place d'un dispositif d'arrêt à matériau absorbant.

⁶⁴ Il n'existe pas de requis de certification pour les délais de transition de la puissance ralenti à la puissance REV MAX. Il en existe en ce qui concerne la transition de la puissance ralenti vol à la puissance de remise des gaz.

⁶⁵ L'étang de l'Or est un site protégé Natura 2000.

3 CONCLUSIONS

3.1 Faits établis par l'enquête

- L'équipage détenait les licences et qualifications nécessaires pour effectuer le vol.
- Le copilote avait une faible expérience sur Boeing 737.
- L'avion avait un certificat de navigabilité en état de validité ; il était équipé et entretenu conformément aux règlements en vigueur et aux procédures approuvées.
- L'avion était équipé d'un EGPWS avec fonctionnalité d'alarme de détection de cisaillement de vent (*windshear warning*), mais sans fonctionnalité d'alerte de détection de cisaillement de vent (*windshear caution*) car cette fonctionnalité n'est pas certifiée sur le 737.
- L'avion n'était pas équipé d'un système prédictif de cisaillement de vent.
- Le copilote était PF ; le CdB était PM, jusqu'à environ 500 ft pendant l'approche finale.
- L'équipage a réalisé un briefing pour l'approche ILS en piste 30R.
- À la suite du changement de piste en service, l'équipage a repris la préparation de l'approche, mais n'a pas réalisé formellement un nouveau briefing pour l'approche VOR Z 12L ; aucune décision n'a été prise concernant le mode de descente, la vitesse d'approche et le taux de descente pour l'approche finale.
- Les performances d'atterrissement étaient compatibles avec l'atterrissement sur la piste 12L dans les conditions prévues de vent et de condition de piste.
- L'information météorologique à disposition de l'équipage incluait la présence de Cb à proximité de l'aérodrome de Montpellier ; l'équipage n'a pas suffisamment pris en compte cette information, et n'a pas élaboré de stratégie de gestion de cette menace tant en matière de détection que de réaction aux phénomènes liés.
- Les procédures de l'exploitant ne prévoient pas que le TEM soit intégré au briefing.
- Une cellule orageuse avec de fortes précipitations était présente à proximité immédiate de l'aérodrome au moment de l'atterrissement.
- L'équipage n'a pas détecté la présence de cette cellule avec les réglages utilisés pour le radar météorologique.
- La description du panneau de contrôle du radar et des fonctionnalités associées n'était pas incluse dans la documentation de l'exploitant mise à disposition de l'équipage.
- Le manuel d'exploitation de l'aéronef ne fournit pas une description claire des techniques recommandées pour utiliser le radar météorologique.
- Passant 1 000 ft AAL, l'avion était 200 ft au-dessus du plan.
- Après l'acquisition des références visuelles, sous 1 000 ft AAL, le PF a désengagé le pilote automatique et l'automanette.
- Pendant la phase de recherche de l'axe de piste, le taux de descente a augmenté ; cette déstabilisation a fait l'objet d'une annonce par le PM et d'une correction par le PF ; l'approche n'a pas été interrompue.
- Lorsque les références visuelles sont établies pendant l'approche, le manuel d'exploitation de Swiftair permet à un équipage de continuer l'approche jusque 500 ft AAL malgré une déstabilisation sous 1 000 ft AAL.
- En courte finale, vers 500 ft AAL, l'équipage a permuted les fonctions PM/PF.
- À l'issue de cette permutation, le copilote qui a pris la fonction de PM est resté focalisé sur les références extérieures et n'a pas assumé une des tâches principales du PM consistant à surveiller les paramètres à travers les instruments de bord.
- En raison d'un ajout de poussée, la vitesse de l'avion a augmenté ; cette augmentation n'a pas été détectée.

- Alors que l'avion passait le seuil de piste, il a subi un cisaillement de vent, avec une diminution forte de la composante de vent arrière, ce qui a créé une augmentation de la performance de l'avion (vitesse air et portance).
- Le cisaillement de vent et les conséquences sur les paramètres de vol n'ont pas été détectés par l'équipage.
- L'arrondi a été commencé à 100 ft avec une vitesse supérieure de 34 kt à la Vref ; les manettes de poussée n'ont pas été positionnées sur IDLE à ce moment.
- Neuf secondes plus tard, les manettes de poussée ont été positionnées sur IDLE alors que l'avion était à 20 ft de hauteur.
- Le toucher des roues a eu lieu à environ 1 500 m du seuil de piste 12L, soit 1 100 m de l'extrémité de la piste avec une vitesse de Vref + 8 kt.
- L'atterrissement a eu lieu par nuit noire, sous une averse importante.
- Le seuil de piste 12L n'est pas équipé de balisage lumineux de zone de toucher des roues ni de ligne centrale.
- Selon les normes de certification d'aérodrome applicables à la piste 12L de Montpellier - Méditerranée, dont l'angle d'approche est supérieur à 3,5°, des feux simples de zone de toucher des roues doivent être installés afin de fournir aux pilotes une meilleure conscience de la situation dans toutes les conditions de visibilité, et de les aider à décider s'ils doivent remettre les gaz si l'aéronef n'a pas atterri à un certain point sur la piste.
- L'atterrissement long n'a pas été détecté par l'équipage ; l'équipage n'a pas interrompu l'atterrissement.
- Boeing décrit des techniques d'interruption d'atterrissement dans le FCTM ; certaines de ces techniques font référence à la procédure d'interruption de l'approche décrite dans le FCOM.
- La longueur disponible après le point de toucher des roues n'était très probablement pas suffisante pour que l'avion puisse être arrêté dans les limites de la piste de manière sûre.
- Les procédures GRF ne permettent pas de fournir une valeur en temps-réel de l'état de piste dans des conditions météorologiques qui varient fortement sur des délais courts.
- Les personnels impliqués dans le GRF sur l'aérodrome de Montpellier (agents aéroportuaires, contrôleurs de la circulation aérienne et pilotes) ne paraissent pas suffisamment préparés à ces situations marginales en lien avec ces conditions météorologiques variables.
- La vitesse de l'avion élevée pendant la phase de roulement a pu favoriser une situation d'aquaplanage.
- L'avion a franchi l'extrémité de piste 12L à une vitesse de l'ordre de 70 kt.
- L'avion a subi des dommages importants après avoir dépassé l'aire de sécurité d'extrémité de piste (RESA), lorsqu'il a basculé vers l'avant et s'est immobilisé avec la partie avant immergée dans l'étang.
- Les agents du service SSLIA ont été avertis immédiatement de l'accident et ont déclenché l'intervention d'assistance avec des moyens doubles de ceux prévus pour la première intervention.
- Les premiers moyens nautiques sont arrivés sur site près d'une heure après l'accident.

3.2 Facteurs contributifs

La sortie longitudinale de piste est survenue en raison d'un atterrissage long avec une vitesse importante, principalement due au cisaillement de vent subi par l'avion. L'atterrissement n'a pas été interrompu car l'équipage n'a pas détecté ces deux conditions.

Ont pu contribuer à l'absence de détection de l'atterrissement long par l'équipage :

- l'absence de surveillance du PM ;
- l'absence de balisage de zone de toucher des roues ;
- les conditions environnantes (nuit noire, averse importante) ;
- l'absence de prise en compte des menaces liées à la présence d'orage à proximité de l'aérodrome.

Ont pu contribuer à l'absence de détection de la vitesse importante au moment de l'arrondi :

- une focalisation par le PF sur le maintien de la trajectoire de l'avion en raison de conditions de vent changeantes au moment de la phase d'atterrissement, dans des conditions où les références extérieures étaient marginales (nuit noire, averse importante, absence de balisage axial) ;
- l'absence de surveillance du PM.

Ont pu contribuer à l'absence de détection du cisaillement de vent par l'équipage :

- l'absence de surveillance par le PM ;
- l'absence de prise en compte des menaces liées à la présence d'orage à proximité de l'aérodrome.

L'absence de surveillance pendant cette phase de vol est très probablement liée à un échange de tâche non anticipé, survenu en courte finale. Le copilote, passant de PF à PM, n'est pas revenu dans le rôle qui lui incombeait à la suite de l'échange de tâche et semble avoir maintenu son attention sur les références extérieures qu'il utilisait alors qu'il était PF.

L'analyse de l'accident montre que l'équipage a subi une forte charge de travail au cours de l'approche liée à une préparation insuffisante de cette approche, qui n'a pas été briefée formellement et dont certains points clés n'ont pas été évoqués en amont de la réalisation de l'approche, et à une prise en compte insuffisante des conditions météorologiques.

Ont pu contribuer à la faible conscience de la situation météorologique :

- une focalisation sur le changement de piste, qui avait une influence immédiate sur le plan d'action en cours que constituait la préparation de l'approche, au détriment de la conscience globale de la situation qu'impliquaient les informations de changement de vent et la présence de Cb à proximité de l'aérodrome ;
- une conscience situationnelle biaisée par la prise en compte de l'information d'amélioration des conditions au détriment de la prise en compte de la menace que constitue la présence de Cb à proximité de l'aérodrome ;
- une utilisation inadaptée du radar de bord, liée à :
 - une connaissance insuffisante du boîtier de contrôle du radar qui n'était pas décrit dans la documentation de l'exploitant mise à disposition de l'équipage ;
 - l'absence de procédures détaillées ou de techniques recommandées concernant l'utilisation du radar ;
 - une charge de travail importante qui a laissé peu de disponibilité à l'équipage pour adapter les réglages du radar pendant l'approche.

Ont pu contribuer à la faible préparation de l'équipage :

- l'absence d'un nouveau briefing à la suite du changement de piste ;
- l'absence de gestion des menaces et des erreurs (TEM) dans le briefing.

3.3 Enseignements de sécurité

Importance du briefing

Alors que l'équipage n'avait pas de pression temporelle particulière, en dehors du respect de l'itinéraire, le changement de piste a résulté en la réalisation d'une approche alors que le briefing pour cette nouvelle approche n'avait pas été formellement réalisé.

Un briefing permet de mettre en commun un projet d'action, de discuter les points de particularité d'une approche, d'anticiper les menaces et de se préparer à faire face à ces menaces. C'est également un moment d'échange qui peut aboutir à une discussion et une décision lorsque certains aspects n'ont pas été analysés à la préparation.

L'accident illustre la nécessité de ne pas débuter une approche sans prendre le temps de cet échange au sein de l'équipage.

Interruption de l'approche

Le principe de l'approche stabilisée est basé entre autres, sur l'objectif de donner de la disponibilité à un équipage pour faire face à un imprévu.

L'examen détaillé du déroulement du vol et l'analyse qui en découle mettent en évidence, a posteriori, un certain nombre de signaux qui, dans leur ensemble, aurait pu inciter l'équipage à interrompre l'approche : la déstabilisation sous 1 000 ft, la constatation de conditions de vent différentes de celles annoncées, l'averse importante, la décision d'échanger les fonctions PF/PM.

Dans la dynamique de l'approche, avec une charge de travail importante, l'équipage a pu ne pas percevoir ces signaux. Si on prend en compte la butée de stabilisation de 500 ft, prévue par l'exploitant en cas de références visuelles, les marges par rapport aux critères de déstabilisation étaient faibles.

L'équipage a ainsi abordé la courte finale avec un avion dans un état d'énergie relativement important, sans surveillance active. Le passage dans la zone de cisaillement de vent a alors été le facteur qui a rendu l'atterrissement impossible. L'équipage n'avait probablement plus les ressources pour identifier cette menace additionnelle.

Permutation des rôles PF/PM

Les signaux qui ont amené le CDB à proposer de permuter les rôles auraient probablement pu l'amener à reconsidérer la poursuite de l'approche.

Même si la décision de permutation des rôles a été concertée, elle n'a pas été anticipée par le copilote et cela a pu créer un effet de surprise qui l'a empêché de se remobiliser pour assumer la tâche de surveillance.

L'annonce standard d'échange de tâches PF/PM, conforme aux préconisations de l'industrie, se concentre uniquement sur la tâche de PF. Cet accident met en évidence qu'ainsi, elle n'a pas provoqué un stimulus suffisant pour sortir le PM de l'effet de surprise.

En ce sens, il pourrait être intéressant d'évaluer si l'ajout du transfert de la fonction de monitoring à l'annonce de transfert de commandes (par exemple « *I have controls, you monitor* ») peut, sur la base d'une annonce standard, ramener un membre d'équipage surpris par le changement de fonction à un niveau de conscience suffisant pour qu'il assume positivement la nouvelle fonction qui lui incombe désormais (effet performatif de l'annonce).

GRF

Le GRF est entré en vigueur en 2021 au niveau mondial, sous l'impulsion de l'OACI. Sa mise en place, comme pour tout changement, est le fruit d'une appropriation progressive par les utilisateurs, à travers la mise en application pratique des procédures auxquelles ils ont été formés, dans des circonstances qui peuvent parfois être plus complexes que celles qui leur ont été enseignées de

manière théorique. Il est important de souligner que le GRF s'appuie sur des acteurs de première ligne de métiers et profils différents : les agents chargés d'évaluer sur piste les niveaux de contaminant, les contrôleurs de navigation aérienne et les pilotes.

L'OACI avait anticipé certains risques liés à ce changement, tels que celui associé aux situations météorologiques pendant lesquelles les conditions de piste changent rapidement. Il était également prévu une phase de « monitoring » pendant laquelle de nouveaux risques allaient être identifiés au travers des systèmes de gestion de sécurité des intervenants, à tout niveau (États, opérateurs).

La durée d'une inspection de piste, de l'ordre de 15 minutes, semble peu adaptée au vu des propriétés de drainage d'une piste, qui peuvent permettre l'évacuation de l'eau de telle manière que cinq minutes après un fort orage, l'épaisseur d'eau sur la piste est déjà inférieure à 3 mm.

Le cas de l'[incident grave survenu à l'Embraer EMB145 immatriculé F-HYOG exploité par Amelia le 20 octobre 2022 à Paris - Orly \(94\)](#), avait également mis en évidence que les procédures ne permettaient pas d'actualiser de manière fidèle à la réalité l'information de code de condition de piste, malgré la présence de sondes de mesure automatique, en raison de limitations techniques liées aux sondes et à la rapidité et l'intensité du phénomène météorologique.

Ainsi, les utilisateurs nécessitent encore de parfaire leur maîtrise du GRF et plus particulièrement de son application dans les situations marginales, et assimiler les limitations inhérentes à ce système dans de telles situations. Cet événement pourrait être utilisé lors des futures formations, initiales ou de rafraîchissement, pour sensibiliser et mieux préparer les utilisateurs du GRF en ce sens.

4 MESURES DE SÉCURITÉ PRISES DEPUIS L'OCCURRENCE

4.1 Mesures de sécurité prises par l'exploitant Swiftair

Dans un rapport préliminaire interne émis en novembre 2022, l'exploitant a rappelé l'importance d'interrompre l'approche en cas de déstabilisation.

L'exploitant a informé le BEA qu'il a par la suite pris les mesures additionnelles suivantes :

- mise en place de limitations de vent plus restrictives que celle de Boeing avec une clarification de ces limitations dans les différents manuels opérationnels de l'exploitant ;
- homogénéisation des manuels pour clarifier l'interdiction d'opérer si le RCR est inférieur à 3 ;
- ajout de la description du panneau de contrôle du radar et des fonctionnalités associées, dans un document de familiarisation avec les différences entre les avions Boeing 737 de la flotte, disponible dans la documentation de la bibliothèque EFB⁶⁶ ;
- évaluation de modèles pour appliquer de manière opérationnelle les principes du TEM ;
- intégration dans le programme d'entraînement du semestre suivant l'accident d'un scénario de session d'entraînement en simulateur incluant des aspects identifiés par l'exploitant dans l'événement, comme une remise de gaz sous les minimas, voire après le toucher des roues, focus sur la stabilisation et la décision de remise de gaz en cas de déstabilisation, évocation de principes TEM dans les briefings, situation de cisaillement de vent ;
- intégration dans le cycle à venir de cours CRM au sol des aspects CRM liés au transfert de contrôle à faible altitude.

L'équipage a suivi un réentraînement incluant des cours théoriques au sol sur des thèmes liés à l'événement (GRF, évaluation de la LDTA, pistes contaminées, conditions météorologiques défavorables incluant le cisaillement de vent, conduites d'approche de non-précision, LVO et performances), ainsi qu'un réentraînement en ligne suivi d'une évaluation jugée positive.

4.2 Mesures de sécurité prises par l'exploitant d'aérodrome

L'exploitant de l'aérodrome a informé le BEA qu'il a pris les mesures de sécurité suivantes :

- diffusion d'une note de service aux agents du SSLIA, complétant les consignes opérationnelles, rappelant et précisant les conditions d'une visite de piste GRF ;
- rappel aux chefs de quart de leur rôle de surveillance par rapport au GRF ;
- sensibilisation du personnel SSLIA aux outils météorologiques disponibles sur le portail Météo-France ;
- amélioration du processus de diffusion des messages d'avertissement d'aérodrome et des messages AIREP vers les services SSLIA, avec mise en place d'alerte de réception de ces messages ;
- souscription auprès de Météo-France d'une prestation d'alerte météorologique en cas de précipitation supérieure à 0,4 mm, incluant une prévision à 3 h. Cette alerte est envoyée sur le numéro du téléphone mobile du chef de manœuvre ;
- à la suite d'une notification de non-conformité par la DSAC à l'exploitant concernant l'absence de feux simples de zone de toucher des roues sur la piste 12L (voir § 1.10.3), l'exploitant a informé le BEA qu'il prévoyait d'installer ces feux lors de la prochaine réfection de piste qui devrait avoir lieu avant 2030.

⁶⁶ Un autre aéronef de la flotte de Swiftair est équipé du même panneau de contrôle radar que l'EC-NLS.

4.3 Mesures de sécurité prises par les services de navigation aérienne

Les services de navigation aérienne de Montpellier - Méditerranée ont informé le BEA qu'ils ont pris les mesures de sécurité suivantes :

- une nouvelle série de briefings a été menée auprès des contrôleurs sur le GRF afin d'en rappeler les principes fondamentaux et les modalités concrètes d'application ;
- à l'occasion de ces briefings, un mémo en synthétisant le contenu est fourni ;
- le GRF a été intégré dans le programme de maintien de compétences des contrôleurs ;
- le GRF a été ajouté au programme de formation initiale des chefs de tour⁶⁷.

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.

⁶⁷ Le chef de tour, étant contrôleur, avait suivi la formation initiale GRF.