



Incident grave de l'avion BOMBARDIER CL-600-2E25 (CRJ-1000)
immatriculé **F-HMLD**
survenu le 20 octobre 2021
à l'approche de Nantes-Atlantique (44)

Heure	Vers 17 h 50 ¹
Exploitant	HOP!
Nature du vol	Transport commercial de passagers
Personnes à bord	Commandant de bord (PM), copilote (PF), 2 membres d'équipage de cabine, 98 passagers
Conséquence et dommages	Aucun

Note : un glossaire est disponible en annexe du rapport.

**Erreur de collationnement du calage altimétrique (QNH),
déclenchement d'une alarme MSAW en approche finale**

1	Déroulement du vol	- 2 -
2	Renseignements complémentaires	- 3 -
2.1	Renseignements sur l'aérodrome.....	- 3 -
2.2	Renseignements météorologiques	- 5 -
2.3	Renseignements sur les services de la navigation aérienne	- 6 -
2.4	Renseignements sur les opérations aériennes	- 13 -
2.5	Généralisation des approches RNP.....	- 19 -
2.6	Communications.....	- 19 -
2.7	Système EGPWS.....	- 22 -
2.8	Erreur de calage altimétrique.....	- 22 -
2.9	Événement similaire	- 24 -
3	Conclusions	- 26 -
4	Recommandations	- 29 -
4.1	Mise en cohérence des procédures et de la phraséologie en cas d'alarme relief	- 29 -

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.

1 DÉROULEMENT DU VOL

Note : Les informations suivantes sont principalement issues de l'enregistreur QAR, des témoignages, des enregistrements des radiocommunications, ainsi que des données radar. Les données de l'enregistreur phonique (CVR) n'ont pas été préservées (voir § 2.6.1).

L'équipage réalise le vol AF33CW depuis Lyon-Saint-Exupéry (69) à destination de Nantes-Atlantique (44).

Une forte dépression, baptisée Aurore, est active sur la moitié nord de la France.

À 17 h 39, en descente vers l'aérodrome de destination, le contrôleur demande à l'équipage de descendre à sa première altitude sous le niveau de transition et l'autorise à l'approche : « descendez vers l'altitude trois mille pieds QNH mille deux autorisé à la RNP² vingt-et-un ». L'équipage collationne de manière erronée en répondant « vers trois mille pieds mille vingt-et-un et on vous rappelle établi pour la... sur la RNP vingt-et-un ». Le contrôleur ne relève pas l'erreur de collationnement.

Huit minutes plus tard, l'équipage est transféré sur la fréquence du contrôle d'aérodrome alors qu'il a passé le repère d'approche finale (FAF) en finale sur la procédure d'approche RNP pour la piste 21 (voir *Figure 1*, point ①). L'équipage s'annonce « en finale sur la RNP vingt-et-un ». La contrôlease lui répond en l'autorisant à l'atterrissage piste 21 et en l'informant du vent (200°, 30 kt, rafale à 40 kt). L'équipage demande s'il y a eu des « reports de windshear ». La contrôlease lui répond de manière négative. L'équipage l'informe de variations de vent importantes entre 3 000 et 2 000 ft.

Près de deux minutes plus tard, à 17 h 49 min 48, alors que l'avion passe 788 ft³, une alarme sol de proximité du relief (MSAW) se déclenche sur le poste de la contrôlease (point ②). L'avion pénètre une zone où l'altitude minimale de franchissement d'obstacle est de 770 ft⁴. La contrôlease informe l'équipage de l'alerte relief : « Air France trente-trois Charlie Whisky euh vérifiez votre altitude, al... alerte relief ».

Le PM lui répond à 17 h 50 min 00 : « c'est pour le trente-trois Charlie Whisky ? nous passons mille deux cents pieds mille vingt-et-un ».

Simultanément, à 17 h 50 min 02, la PF applique une action à cabrer au manche (point ③). Quelques secondes plus tard, le taux de descente diminue et se stabilise vers des valeurs faiblement négatives.

À 17 h 50 min 04, la contrôlease répond : « reçu, j'ai une alerte relief sur votre vol, vérifiez votre altitude ». Le PM lui répond : « eh bien on vérifie ».

² Performance de navigation requise.

³ Cette valeur est l'altitude réelle de l'avion, au QNH du jour. Les altimètres de bord affichent 1 300 ft en raison de l'erreur de calage altimétrique.

⁴ La logique de détection n'est pas liée à la pénétration de la zone d'altitude minimale de franchissement d'obstacle de 770 ft (voir § 2.3.3.1).

À 17 h 50 min 11, la contrôleuse fournit la valeur du QNH : « mille deux le QNH monsieur ». Le PM lui répond : « mille vingt-et-un le QNH c'est correct ».

À 17 h 50 min 16, la contrôleuse redonne le QNH : « mille deux unité zéro zéro deux ». Simultanément, l'équipage corrige le calage sur ses altimètres (point 4) et corrige la trajectoire.

À 17 h 50 min 36, l'alarme MSAW est terminée et 12 secondes plus tard, à 1,7 NM du seuil, l'avion rejoint le plan de descente normal.

L'équipage poursuit ensuite l'approche avec les références visuelles vers la piste 21.

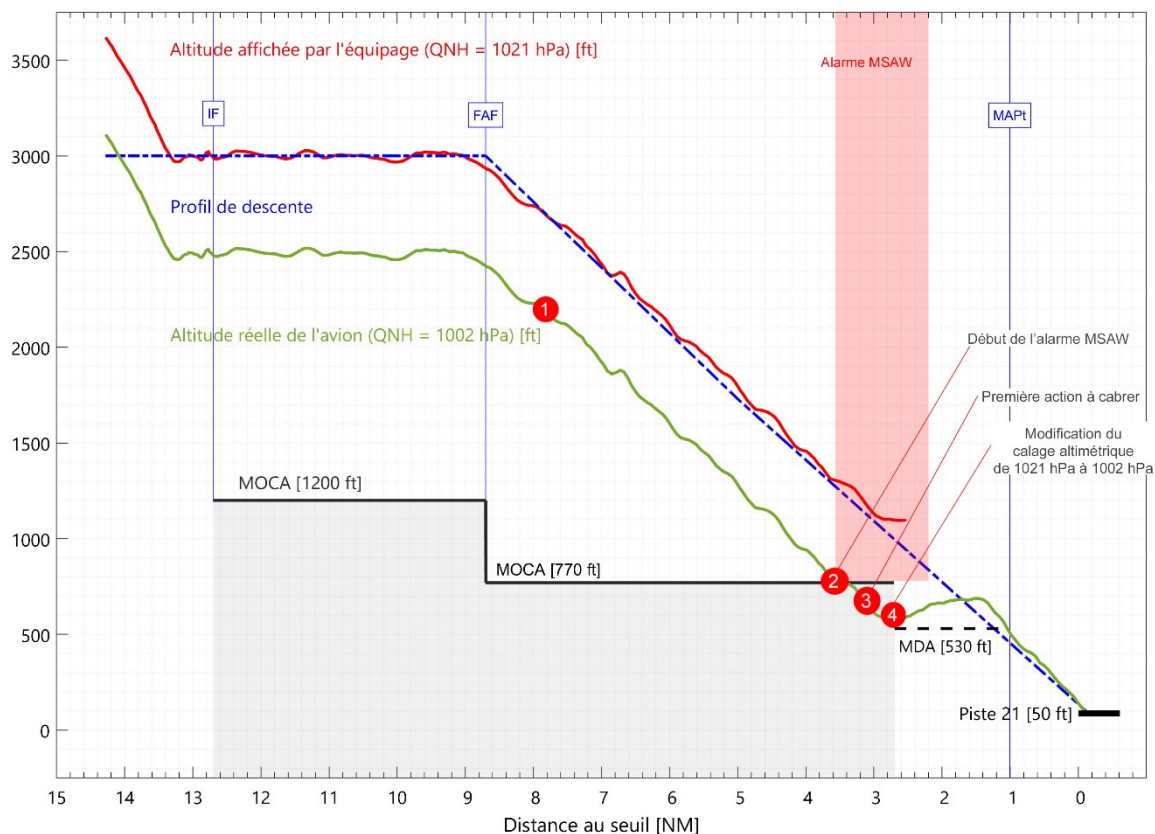


Figure 1 : trajectoire du F-HMLD dans le plan vertical (Source : BEA)

L'atterrissage est réalisé sans événement particulier, sous la pluie.

2 RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES

2.1 Renseignements sur l'aérodrome

L'approche sur la piste 21 présente la particularité de survoler la ville de Nantes. Si le relief dans l'axe d'approche est relativement plat, certains édifices, comme la tour Bretagne, conditionnent le plan de descente et les altitudes minimales de cette approche.

Pour la procédure RNP21, l'interception du plan de descente finale s'effectue au point FRS21 à 3 000 ft, à 8,7 NM du seuil de piste. L'angle du plan de descente est de 3,1°. L'approche finale de la procédure RNP21 est désaxée de 12° par rapport à l'axe de piste⁵.

Deux repères de descente (SDF) sont publiés sur la carte d'approche finale :

- à 4 NM du seuil de piste, SDF à 1 460 ft – ce repère est associé à la note suivante : « Report 4NM to DTHR (MNM 1460) » sur la carte d'approche utilisée par les équipages de Hop!;
- à 2,7 NM, SDF à 1 020 ft.

L'obstacle d'une hauteur de 506 ft indiqué sur la carte à proximité de l'axe d'approche, à près de 4 NM du seuil, est déterminant pour la zone d'altitude minimale de franchissement d'obstacle (MOCA) de 770 ft entre le FAF et le point à 2,7 NM du seuil. Il correspond à la tour Bretagne⁶.

L'altitude minimale de descente (MDA) est fixée à 530 ft pour les avions de catégorie C, dont fait partie le CRJ-1000. Le point d'approche interrompue (MAPt, désigné MAPTS sur la carte) est situé à 1 NM en amont du seuil de piste 21. L'obstacle déterminant pour cette valeur de MDA est une antenne d'une altitude de 288 ft figurant sur la carte, à gauche de l'axe d'approche.

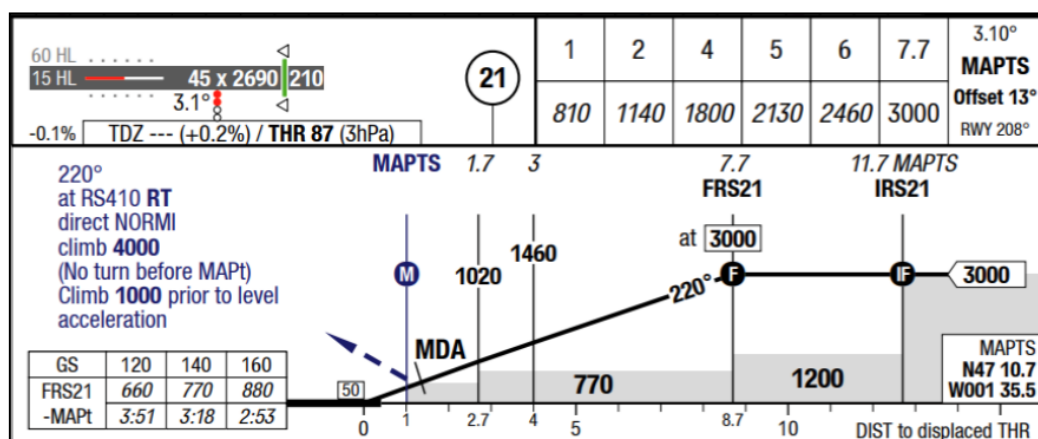
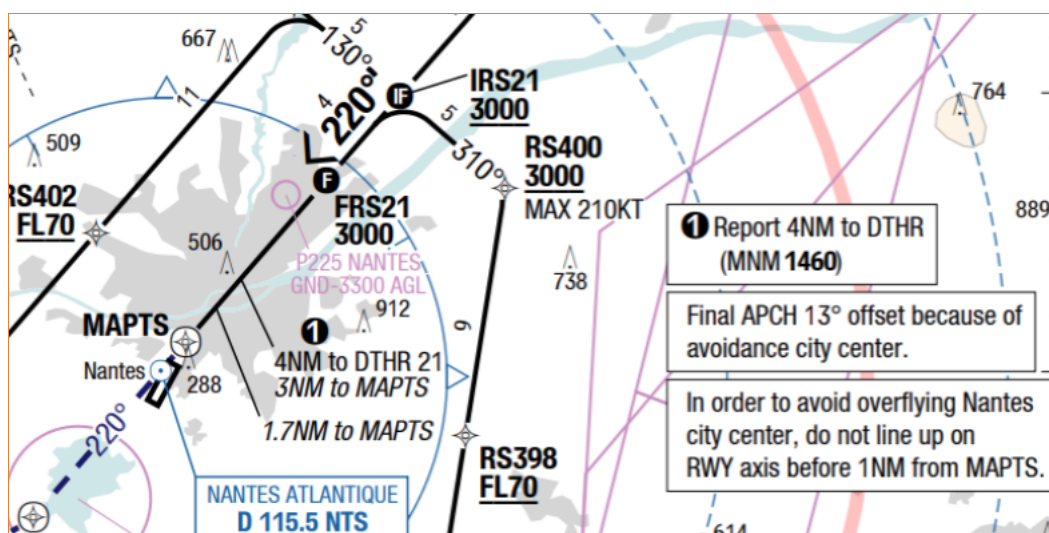


Figure 2 : extraits de la carte d'approche utilisée par l'équipage (Source : Lido)

⁵ La carte utilisée par l'équipage mentionne une valeur de 13° pour ce décalage.

⁶ La valeur d'altitude de la tour Bretagne prise en compte pour le calcul des aires de protections est de 522 ft. C'est la valeur figurant sur la carte d'approche publiée dans l'AIP.

2.2 Renseignements météorologiques

Le nord de la France subit les effets d'un rapide flux de sud-ouest s'enroulant autour de la dépression Aurore, centrée sur la Manche à 18 h.

Depuis le début d'après-midi, les pressions sont en baisse sur l'aérodrome Nantes-Atlantique. Le QNH était de 1 009 hPa à 13 h, heure à laquelle l'équipage a réalisé une première approche à Nantes, et de 1 002 hPa à 17 h 30.

L'équipage disposait des informations météorologiques actualisées avant le départ de Lyon-Saint-Exupéry. Il disposait en particulier du message de prévision de l'aérodrome Nantes-Atlantique qui annonçait le renforcement des vents et les passages de fortes averses de pluie à l'horaire prévu de l'atterrissage.

Au cours de la préparation de l'approche, l'équipage a noté sur le plan de vol l'information ATIS de 17 h 15 qui incluait les informations suivantes :

- vent 210°, 27 kt, rafales 40 kt ;
- visibilité 10 km ;
- plafond couvert à 2 300 ft ;
- QNH 1 003 hPa.

Au cours de l'approche, les informations de vent fournies à l'équipage par le contrôle ont été les suivantes :

Heure	Information de vent	
17 h 36	200°/25kt/G40kt	Passant le niveau 130 en descente
17 h 48	200°/30kt/G40kt	Autorisation à l'atterrissage

Tableau 1 : informations de vent fournies à l'équipage pendant l'approche

Les images du radar de précipitations montrent qu'à l'heure de l'arrivée du F-HMLD, un passage pluvieux s'approchait de l'aérodrome Nantes-Atlantique.

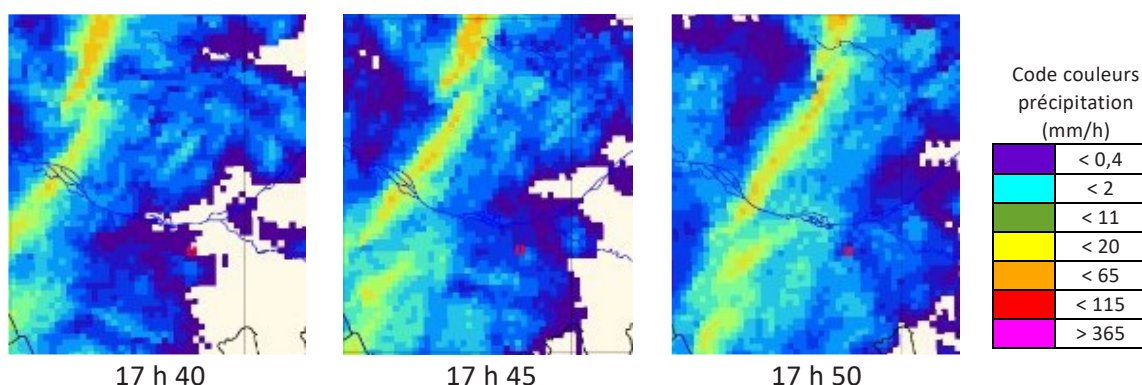


Figure 3 : images du radar de précipitation (Source : Météo-France)
(le point rouge correspond à l'aérodrome Nantes-Atlantique)

L'équipage a indiqué que l'atterrissage a été réalisé sous la pluie et que le débarquement a été interrompu en raison d'une averse de pluie battante.

L'heure du coucher du soleil à Nantes le jour de l'incident était à 17 h 09. Le passage pluvieux arrivant par l'ouest générait un obscurcissement additionnel.

L'équipage a indiqué avoir la vue du sol au moment de l'alarme MSAW et qu'il voyait l'indicateur de pente d'approche (PAPI) au moment de la correction de trajectoire (voir § 2.4.5). Les éléments recueillis n'ont pas permis d'établir avec précision les conditions de visibilité au cours de l'approche.

2.3 Renseignements sur les services de la navigation aérienne

2.3.1 Procédures générales

2.3.1.1 Organisation du contrôle

Lors d'une approche vers l'aérodrome Nantes-Atlantique, un trafic est pris en charge successivement par le contrôle d'approche (APP) puis par le contrôle d'aérodrome (LOC).

Le contrôle d'approche est responsable des régions de contrôle terminales (TMA) et du Service d'Information de Vol (SIV) de Nantes. En particulier, il est en charge des régulations finales de Nantes, de Saint-Nazaire et des montées et descentes de/vers les aérodromes proches des espaces de Nantes. La zone de responsabilité peut être divisée entre plusieurs contrôleurs, répartis par secteur. Au moment de l'événement, en raison du faible trafic, un seul contrôleur radariste, assisté d'un contrôleur coordonnateur, était en charge de l'ensemble des zones TMA et SIV.

Le contrôleur LOC est responsable des zones de contrôle (CTR), d'une partie de l'aire de manœuvre et, dans le cas d'utilisation de la piste 21, de la portion d'espace hors CTR englobant la finale des procédures d'approche 21. Le contrôleur LOC peut être assisté d'un assistant vigie. Ce n'était pas le cas au moment de l'événement en raison d'un trafic faible.

Au moment de l'événement, les deux contrôleurs APP et LOC étaient dans la vigie⁷.

2.3.1.2 Fourniture de l'information de calage altimétrique

Selon le règlement d'exécution (UE) n° 923/2012, dit « SERA » (Règles de l'air européennes normalisées)⁸, le contrôle aérien doit fournir aux équipages le calage altimétrique (QNH) à la première autorisation de descente vers une altitude qui se situe au-dessous du niveau de transition. Il n'est pas nécessaire de répéter ensuite le QNH lorsque le contrôleur sait que cette information a déjà été fournie à l'équipage lors d'une transmission qui lui était directement adressée⁹.

Le SERA, rédigé en langue anglaise, prescrit que le calage altimétrique doit être transmis en prononçant chaque chiffre séparément (exigence SERA.14035). La transposition de cette règle dans les textes français¹⁰ précise qu'en langue française, un nombre peut être transmis comme on l'énonce dans la vie courante ou comme une suite de nombres (FRA.14035).

⁷ En cas de trafic important, les contrôleurs d'approche assurent leur fonction depuis la salle IFR, séparée de la vigie.

⁸ [Version en vigueur le jour de l'incident.](#)

⁹ (EU) 923/2012 SERA.8015 (eb) (3) et (EU) 2017/373 ATS.TR.140 (d).

¹⁰ Arrêté du 11 décembre 2014 modifié relatif à la mise en œuvre du règlement d'exécution (UE) n°923/2012 ([Version en vigueur le jour de l'incident](#)).

2.3.1.3 Principes de responsabilité d'évitement du relief

Selon les règles européennes applicables aux prestataires de services de la circulation aérienne (IR ATM/ANS¹¹) et selon les règles de l'air (exigence SERA.7001), il n'entre pas dans les fonctions du contrôle de la circulation aérienne de prévenir en dehors de l'aire de manœuvre, les collisions entre les aéronefs et les obstacles.

Il appartient aux pilotes de s'assurer que les clairances émises par l'organisme de contrôle de la circulation aérienne ne compromettent pas la sécurité à cet égard, sauf lorsque l'aéronef en vol IFR est guidé ou lorsqu'il reçoit une instruction de parcours direct qui dévie cet aéronef de la route ATS prévue.

2.3.1.4 Fonction de surveillance

Selon l'exigence ATS.TR.155 du règlement IR ATM/ANS, les informations fournies par les systèmes de surveillance ATS devraient être utilisés dans la mesure du possible dans la fourniture des services de contrôle de la circulation aérienne afin d'améliorer la capacité et l'efficacité ainsi que de renforcer la sécurité.

En particulier, le moyen acceptable de mise en conformité (AMC) attendant à l'ATS.TR.155 détaille, parmi d'autres fonctionnalités, que les informations fournies par les systèmes de surveillance ATS pourraient être utilisées pour réaliser la surveillance de la trajectoire de vol.

Ces recommandations sont reprises dans le manuel d'exploitation du centre de contrôle d'approche de Nantes-Atlantique qui indique que les renseignements qui proviennent des systèmes de surveillance ATS et qui sont présentés sur un affichage de situation peuvent être utilisés pour exécuter certaines fonctions dans le cadre du contrôle de la circulation aérienne, et cite en particulier la fonction de surveillance de la trajectoire de vol.

Il ressort de la lecture des règlements et manuels que la surveillance de la trajectoire de vol par les contrôleurs aériens n'est pas une obligation légale, mais relève du domaine des bonnes pratiques.

2.3.2 Visualisation radar

Sur la visualisation radar, disponible sur les positions LOC et APP, l'altitude affichée est l'altitude-pression, correspondant au calage altimétrique standard (1 013 hPa), en centaine de pieds. Cette valeur est fournie par le système de traitement radar, qui s'appuie sur l'information d'altitude standard transmise par le transpondeur des aéronefs. Les contrôleurs disposent d'un bouton poussoir logiciel qui leur permet de remplacer temporairement l'affichage de l'altitude-pression par celui de la valeur d'altitude correspondant au QNH du moment¹².

¹¹ Règlement d'exécution (UE) 2017/373 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 la navigation aérienne ainsi que des autres fonctions de réseau de la gestion du trafic aérien, et à leur supervision ([Version en vigueur le jour de l'incident](#)).

¹² La valeur de QNH utilisée par le système de visualisation radar est fournie par un système interne aux services de la navigation aérienne, lié à la station météorologique.

La valeur d'altitude standard affichée sur l'écran radar pour le F-HMLD pendant le palier d'approche intermédiaire était 028¹³ (2 800 ft / QNH 1 021) alors qu'elle aurait dû être 033 (3 300 ft) si la valeur de QNH correcte avait été effectivement utilisée à bord de l'avion et la trajectoire publiée correctement suivie.

Cette visualisation basée sur le calage altimétrique standard ne permet pas aux contrôleurs de détecter de manière directe une erreur de trajectoire d'un aéronef qui utiliserait un calage altimétrique erroné.

2.3.3 Système d'alarme sol de proximité du relief (MSAW)

2.3.3.1 Description du système

Le MSAW permet d'alerter le contrôleur aérien du rapprochement dangereux d'un aéronef avec le sol et les obstacles. C'est un outil prédictif de prévention des collisions avec le relief sans perte de contrôle (CFIT). Il dispose d'une fonctionnalité de surveillance des plans de descente des aéronefs.

Cette fonctionnalité se base sur la valeur d'altitude-pression envoyée par les systèmes de l'aéronef, indépendante du calage altimétrique à bord, sur la valeur de QNH des systèmes des services de la navigation aérienne, et sur une base de données du relief et des obstacles à proximité de l'aérodrome.

Une alarme survient lorsque l'extrapolation de la position de l'aéronef pénètre une zone tampon de 300 ft au-dessus du relief ou d'un obstacle le cas échéant.

Une alarme MSAW se traduit par :

- l'affichage de la piste radar de l'aéronef sur les écrans des contrôleurs dans le cas où elle n'était pas affichée ;
- un libellé MSAW de couleur rouge clignotant à proximité de l'étiquette radar de l'aéronef ;
- l'affichage d'une fenêtre MSAW fournissant les caractéristiques de l'alerte ;
- une alarme sonore (message « alerte relief » répété deux fois).

L'alarme MSAW est basée sur un temps de préavis minimal, afin de laisser un temps de réaction suffisant aux différents intervenants (contrôleurs et pilotes). Ces temps se basent sur les valeurs suivantes :

- temps de réaction du contrôleur à l'alarme : 3 s ;
- temps de transmission de l'alarme du contrôleur à l'équipage : 10 s ;
- temps de réaction de l'équipage : 3 s ;
- temps nécessaire à la modification de trajectoire : 15 s ;
- temps de tour d'antenne du radar : 4 à 8 s.

À Nantes, ce temps de préavis est de 34 s.

¹³ Valeur vérifiée avec un outil de revisualisation des données radar.

2.3.3.2 Procédure

Selon le Doc 4444 de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI), *Procédures pour les services de navigation aérienne*, la procédure suivante dans le cas où un MSAW est généré pour un vol contrôlé doit être appliquée sans retard :

- si un guidage est assuré à l'aéronef, il lui est donné l'instruction de monter immédiatement au niveau de sécurité applicable et, si nécessaire pour éviter le relief, un nouveau cap lui est assigné ;
- dans les autres cas, l'équipage de conduite est immédiatement avisé qu'un avertissement d'altitude minimale de sécurité a été généré et il lui est donné l'instruction de vérifier le niveau de l'aéronef.

L'exigence FRA.11002 du supplément national au règlement européen SERA établit la procédure qu'un contrôleur doit appliquer dans le cas d'une alerte de proximité du relief pour un vol contrôlé comme suit :

- lorsque l'aéronef est en guidage radar, le contrôleur doit donner sans délai une instruction de monter immédiatement vers une altitude de sécurité et, si nécessaire, une instruction d'altération de cap ;
- lorsque l'aéronef n'est pas en guidage radar, le contrôleur informe sans délai le pilote commandant de bord qu'un avertissement de proximité du relief ou des obstacles artificiels s'est déclenché et lui demande de vérifier immédiatement le niveau de l'aéronef.

La seule différence notable entre la procédure décrite dans le Doc 4444 et celle du texte français réside dans la notion d'immédiateté de la vérification du niveau de l'aéronef.

Note : L'Agence européenne de la Sécurité Aérienne (AESA) n'a pas décrit de procédure spécifique à une alerte de proximité de relief dans le SERA, se basant sur le fait que la procédure recommandée par l'OACI ne diffère pas des principes généraux du contrôle aérien :

- un aéronef sous guidage radar reçoit une instruction du contrôle pour éviter la collision avec le terrain ou les obstacles ;
- dans le cas d'un aéronef hors guidage radar, le commandant de bord assumant la responsabilité du franchissement du relief et des obstacles, il est informé de l'alerte de proximité du relief en l'invitant à vérifier le niveau de l'aéronef.

2.3.3.3 Phraséologie MSAW

Les documents de référence montrent des disparités dans la phraséologie à utiliser par le contrôleur en cas d'alerte MSAW.

Documents de référence	Phraséologie d'alerte
<p>Doc 4444 OACI, 16^{ème} édition, 2006 – <i>Procédures pour les services de navigation aérienne</i>, Gestion du trafic aérien</p>	<p><u>Avertissement altitude basse</u> : (indicatif d'appel d'aéronef) AVERTISSEMENT ALTITUDE BASSE, VÉRIFIEZ VOTRE ALTITUDE IMMÉDIATEMENT, QNH (nombre) [(unité)]. [ALTITUDE MINIMALE DE VOL (altitude)]</p> <p><u>Alerte proximité du relief</u> : (indicatif d'appel d'aéronef) ALERTE RELIEF (suggestion de manœuvre du pilote, si possible)</p>
<p>Doc 9432 OACI, 4^{ème} édition, 2007 – <i>Manuel de radiotéléphonie</i></p>	<p><u>Alerte MSAW</u> :</p> <p>FASTAIR 345, <u>AVERTISSEMENT ALTITUDE BASSE</u>, VÉRIFIEZ VOTRE ALTITUDE IMMÉDIATEMENT, QNH 1006. ALTITUDE MINIMALE DE VOL 1 450 PIEDS</p> <p>FASTAIR 345 <u>ALERTE RELIEF</u>, MONTEZ À 2 000 PIEDS, QNH 1006</p>
<p>SERA, octobre 2017 et mars 2022</p>	<p><u>Low altitude warning</u> : (<i>aircraft call sign</i>) LOW ALTITUDE WARNING, CHECK YOUR ALTITUDE IMMEDIATELY, QNH IS (number)[(units)]. [THE MINIMUM FLIGHT ALTITUDE IS (<i>altitude</i>)]</p> <p><u>Terrain alert</u> : (<i>aircraft call sign</i>) TERRAIN ALERT, (<i>suggested pilot action, if possible</i>)</p>
<p>Arrêté du 11 décembre 2014 modifié relatif à la mise en œuvre du règlement d'exécution (UE) n° 923/2012, référencé par le Règlement de la circulation aérienne (RCA)</p>	<p><u>Avertissement altitude basse</u> : (indicatif d'appel d'aéronef) AVERTISSEMENT ALTITUDE BASSE, VÉRIFIEZ VOTRE ALTITUDE IMMÉDIATEMENT, QNH (nombre) [(unité)]. [ALTITUDE MINIMALE DE VOL (altitude)]</p> <p><u>Alerte proximité du relief</u> : (indicatif d'appel d'aéronef) ALERTE RELIEF (suggestion de manœuvre du pilote, si possible).</p>
<p>Manuel de phraséologie à l'usage de la circulation aérienne générale, 9^{ème} édition, 2021</p>	<p><u>Hors guidage radar</u> :</p> <p><i>Conditions d'utilisation</i> : Le contrôleur (1) avise immédiatement le pilote qu'une alerte relief a été générée, (2) donne l'instruction au pilote de vérifier immédiatement le niveau ou l'altitude de l'aéronef, (3) si nécessaire, fournit le QNH</p> <p><i>Actions contrôleur</i> : Il avise immédiatement le pilote en utilisant l'expression "alerte relief/terrain alert", il fournit le QNH.</p> <p><i>Phraséologie de base</i> : Rapidair 3245, alerte relief, vérifiez votre altitude immédiatement, Q_N_H 1 0 1 2</p> <p><u>En guidage radar</u> :</p> <p><i>Conditions d'utilisation</i> : Le contrôleur (1) donne au pilote l'instruction de rejoindre immédiatement un niveau supérieur ou égal à l'altitude minimale de guidage, (2) si nécessaire, fournit le QNH</p>

	<p><i>Actions contrôleur</i> : Il fournit le QNH.</p> <p><i>Phraséologie de base</i> : Rapidair 3245, alerte relief, immédiatement montez 5 000 pieds, Q_N_H 1 0 1 4, immédiatement / Rapidair 3245, alerte relief, immédiatement montez 5 000 pieds, Q_N_H 1 0 1 4, et tournez à droite immédiatement cap 2 7 0</p>
Consigne n° 05-25/21 relative à l'utilisation des alertes MSAW en SNA, émise par la Direction des Opérations de la DSNA ¹⁴ en mars 2021	<p><u>Hors guidage radar</u> : AFR 32 45, alerte relief, vérifiez votre altitude immédiatement</p> <p><u>En guidage radar</u> : AFR 32 45, immédiatement, montez 5 000 pieds Q_ N _H, immédiatement, cause relief</p>
Manuel d'exploitation du centre de contrôle d'approche de Nantes-Atlantique, version du 13 septembre 2021	<p><u>Hors guidage radar</u> : AFR 3245, alerte relief, vérifiez votre altitude immédiatement, QNH xxxx</p> <p><u>En guidage radar</u> : AFR 3245, alerte relief, immédiatement, montez 2 000 pieds QNH xxxx, immédiatement</p>

Tableau 2 : phraséologie MSAW¹⁵

Ainsi, alors que la majeure partie des documents cités incluent l'information du QNH dans le message, le manuel de phraséologie, référence au niveau national pour l'ensemble des services de la circulation aérienne, n'établit pas sans ambiguïté l'obligation de la mention de l'information de QNH. La consigne n° 05-25/21 émise par la Direction des Opérations de la DSNA en mars 2021 n'inclut pas l'information du QNH dans le message.

De même, le mot « immédiatement », utilisé en phraséologie lorsqu'une action immédiate est nécessaire pour des raisons de sécurité, n'apparaît pas dans les messages d'alerte proximité de relief fournis dans les documents OACI, dans le SERA ou dans l'arrêté du 11 décembre 2014. En revanche, le terme « immédiatement » apparaît dans les messages d'alerte basse altitude de ces mêmes documents.

En France, le terme « immédiatement » fait partie des messages décrits dans le manuel de phraséologie, la consigne opérationnelle ou le manuel d'exploitation cités pour les deux cas, hors guidage radar et en guidage radar.

De plus, certains de ces documents (Doc 4444 de l'OACI et règlement européen SERA) n'établissent pas de différence entre les cas en guidage radar ou hors guidage radar, mais se basent sur une notion de situation d'« avertissement altitude basse » ou d'« alerte de proximité de relief » qui n'est pas définie par ailleurs.

Dans la vigie de la tour de contrôle de Nantes, des autocollants ont été apposés sur le cadre supérieur de l'écran radar de la position LOC rappelant la phraséologie à utiliser en cas d'alarme MSAW, à la fois en français et en anglais. Il s'agit de la phraséologie pour un aéronef qui n'est pas en guidage radar. Les textes figurant sur ces autocollants sont les suivants :

Alerte Relief, Vérifiez votre altitude immédiatement, QNH... (étiquette à droite)

TERRAIN ALERT, check your altitude immediately, QNH... (étiquette à gauche)

¹⁴ Direction des Services de la Navigation Aérienne.

¹⁵ Une portion de texte entre crochets est, par convention dans ce tableau, facultative.



Figure 4 : position des autocollants sur l'écran radar de la position LOC (Source : SNA-O¹⁶)

2.3.3.4 Aérodomes équipés de système MSAW

Selon l'AIP en date du 21 avril 2022, sur le territoire métropolitain, sur 119 aérodomes pourvus d'approche IFR, 14 aérodomes sont équipés de système MSAW.

2.3.4 Témoignages

2.3.4.1 Contrôleur APP

Le contrôleur radariste en poste sur la position APP indique que sa vacation était calme. En raison de la tempête Aurore, il n'y avait pas de trafic VFR dans la zone. Il était en fin de vacation et ne ressentait pas de fatigue particulière.

Au moment de la prise en compte du F-HMLD, il était attentif à une possible situation de conflit de trafic au sud de la TMA. Ce conflit potentiel impliquait quatre aéronefs, dont un Boeing 737 à destination de Nantes en provenance du sud, un Beechcraft B300 privé à destination de Saint-Nazaire, un Boeing 737 au départ de Nantes vers le sud-est et un Airbus A320 à destination de Brest qui évoluait à un niveau intermédiaire dans la zone. La mise en œuvre de sa stratégie dépendait de l'heure effective du trafic au départ.

Il pense qu'il a focalisé son attention sur ce conflit potentiel et qu'il a peut-être été moins attentif au F-HMLD. La trajectoire du F-HMLD, qui arrivait du nord-est de la TMA, n'était pas conflictuelle par rapport à ces trafics qui évoluaient dans le sud de la TMA. Aucun trafic n'évoluait à proximité de la trajectoire du F-HMLD.

Le contrôleur a autorisé l'équipage du F-HMLD à descendre vers l'altitude de 3 000 ft au QNH 1 002 et l'a autorisé à l'approche RNP21. Le contrôleur explique qu'il n'a pas perçu l'incohérence d'altitude au palier de procédure en raison de la gestion en cours des trafics au sud de la TMA. Lorsqu'il a constaté que l'avion était aligné sur l'axe d'approche finale et établi en descente, il l'a transféré sur la fréquence LOC.

Il explique qu'il pensait être performant sur le problème de collationnement, mais la focalisation sur la stratégie de résolution de conflit sur les trafics dans le sud de la zone a probablement détourné son attention du collationnement de l'équipage du F-HMLD.

¹⁶ Services de la Navigation Aérienne – Ouest.

2.3.4.2 Contrôleur LOC

La contrôleur en poste sur la position LOC a commencé sa vacation en début d'après-midi. Quand l'événement est survenu, elle venait de reprendre la position après une pause.

Elle a expliqué avoir très peu de souvenir de la séquence des événements. Elle ne se souvient pas si elle a regardé la visualisation radar quand le F-HMLD a été transféré sur sa fréquence.

Elle a connaissance des autocollants sur l'écran de visualisation radar de la position LOC. Elle ne se souvient pas si elle s'est aidée de ces autocollants pour émettre le message d'alerte.

2.3.4.3 Subdivision Qualité de Service

Le témoignage d'une responsable de la subdivision Qualité de Service du service de la navigation aérienne de Nantes a également été recueilli dans le cadre de l'enquête.

Elle explique qu'avant la généralisation des approches en descente continue, les contrôleurs portaient peut-être plus d'attention à l'altitude des aéronefs lors du palier d'interception. C'était en particulier vrai lorsque plusieurs trafics se suivaient sur ce palier. Il était alors facile de détecter un aéronef qui avait une altitude différente des autres.

2.3.5 Analyse de l'événement par les services de la navigation aérienne

À la suite de cet événement, le service de navigation aérienne de Nantes a identifié, parmi d'autres éléments, le manque de cohérence entre les différents textes de référence établissant la phraséologie à utiliser en cas d'alarme relief pour un avion non guidé radar. Ce manque de cohérence a été signifié à la Direction Opérationnelle de la DSNA, au niveau national, à des fins d'harmonisation et dans le but d'effectuer une communication interne afin de clarifier la phraséologie préconisée sur la base de la recommandation de la direction.

La DSNA a décidé de maintenir le manuel de phraséologie en l'état, considérant qu'il est en conformité avec le règlement européen SERA ainsi que l'arrêté du 11 décembre 2014 relatif à la mise en œuvre du règlement d'exécution (UE) n° 923/2012.

2.4 Renseignements sur les opérations aériennes

2.4.1 Procédures de calage altimétrique

La procédure de calage altimétrique, figurant au chapitre relatif à la « prévention des abordages et des collisions avec le sol » de la partie A du manuel d'exploitation de Hop!, prévoit que les altimètres droit et gauche soient recalés au QNH lorsque l'équipage est autorisé à descendre vers une altitude ou au plus tard au niveau de transition. L'altimètre de secours est recalé à l'approche du niveau FL 100.

Il est précisé que, lors du passage du calage standard au QNH, la cohérence du QNH transmis par l'ATC doit être validée à l'aide d'une autre source (ATIS, METAR, dossier de vol, ACARS...).

Dans ce même chapitre, le manuel d'exploitation mentionne que, sur une approche classique (NPA) ou une approche avec guidage vertical (Baro-VNAV), la trajectoire verticale est influencée par les erreurs de calage altimétrique, et que ces erreurs ne peuvent pas être détectées par une vérification croisée entre l'indication de l'altimètre et les valeurs indiquées sur la carte d'approche (vérifications altitude – distance).

2.4.2 Procédures d'approche de non-précision RNP LNAV

L'approche RNP LNAV est une approche de non-précision, sans guidage vertical, pour laquelle le guidage latéral est effectué à l'aide du système RNAV utilisant le signal GNSS.

Selon les procédures de l'exploitant, sur CRJ-1000, la gestion verticale de la trajectoire pour ce type de procédure est effectuée à l'aide de la fonction Baro-VNAV. L'information de déviation par rapport au plan vertical est élaborée par calcul, à partir des informations de position horizontale du FMS/GNSS et des informations altimétriques barométriques. La trajectoire verticale ainsi élaborée est donc influencée par les erreurs altimétriques, et en particulier les erreurs de calage¹⁷.

Le contrôle de la trajectoire verticale en finale par l'équipage est effectué à l'aide de l'information de déviation verticale appelée *snow flake*¹⁸, consistant en une symbologie similaire à la représentation de déviation par rapport au *Glideslope* pour une approche ILS. Les altitudes minimales aux SDF doivent être annoncées et respectées.

2.4.3 Principe de stabilisation en approche

Le manuel d'exploitation de Hop! rappelle que la stabilisation des approches permet de prévenir le risque de CFIT. L'objectif de stabilisation est fixé à 1 000 ft au-dessus du niveau de l'aérodrome (AAL).

Deux butées sont établies à 1 000 ft et 500 ft AAL, avec des critères différents. Si les critères de stabilisation ne sont pas respectés au passage de ces butées et au-delà, une remise de gaz doit être effectuée.

Les critères permettant de juger de la stabilisation de l'approche sont des critères de vitesse, de puissance moteur, d'inclinaison, de configuration, de réalisation de la check-list avant atterrissage et de conformité de la trajectoire.

¹⁷ Le texte du manuel d'exploitation renvoie sur ce sujet au paragraphe lié au risque d'erreur de calage du chapitre relatif à la « prévention des abordages et des collisions avec le sol » mentionné au § 2.4.1 ci-dessus.

¹⁸ Information de déviation verticale par rapport au plan de descente calculé.

La consigne générale sur la trajectoire est la suivante : « être sur l'axe et sur le plan ». Toutefois des déviations maximales sont autorisées et établies en fonction du type d'approche. Pour les approches de non-précision, il est ajouté que les altitudes minimales de passage aux repères de descente (voir § 2.1) doivent être respectées. Si ce n'est pas le cas, les critères de stabilisation ne sont pas satisfaits.

Repères de descente à Nantes	MOCA publiée (ft) [hauteur correspondante]	Altitude affichée (QNH 1 021) (ft)	Altitude réelle (QNH 1 002) (ft)
FRS21	1 200 [1 110]	2 934	2 424
D3 MAPTS ¹⁹	770 [680]	1 457	942
D1.7 MAPTS		1 098	582

Tableau 3 : altitudes de passage et altitudes minimales aux SDF et au point D3 MAPTS

2.4.4 Procédures à proximité du sol

2.4.4.1 Procédure MSAW

Le manuel d'exploitation de Hop! décrit la procédure MSAW comme suit :

Sans guidage radar

En cas d'alarme, l'ATC alerte l'équipage dès que possible en employant la phraséologie suivante :

« AF XXX ALERTE RELIEF, VERIFIEZ VOTRE ALTITUDE IMMEDIATEMENT »,

« AF XXX TERRAIN ALERT, CHECK YOUR ALTITUDE IMMEDIATELY ».

Avec guidage radar

« IMMEDIATEMENT, MONTEZ XXX FT QNH, IMMEDIATEMENT, CAUSE RELIEF »,

« IMMEDIATELY, CLIMB TO XXX FT QNH, IMMEDIATELY, DUE TERRAIN ».

Dans tous les cas, les pilotes doivent appliquer la procédure faisant suite à l'alarme GPWS PULL-UP.

2.4.4.2 Surveillance des informations de la sonde altimétrique

La sonde radio-altimétrique s'active et apparaît sur les PFD lorsque sa valeur est inférieure à 2 500 ft. La procédure du manuel d'exploitation de Hop! prévoit que :

- le PM annonce alors « sonde active » ;
- l'équipage vérifie l'altitude minimale de sécurité (MSA) et corrige la trajectoire si besoin ;
- si l'annonce n'est pas cohérente avec la situation, l'équipage doit appliquer sans délai la procédure correspondant à l'alarme « GPWS Pull-Up ».

2.4.5 Témoignages

L'équipage à bord du F-HMLD avait débuté la journée par un aller-retour Lyon-Nantes, dont le premier décollage était programmé à 12 h. L'incident a eu lieu lors de la troisième étape²⁰. La copilote était PF sur cette étape.

¹⁹ Le point D3 MAPTS ne correspond pas à la définition d'un SDF. C'est cependant le point qui correspond à l'obstacle déterminant la valeur de MOCA du segment d'altitude minimum de 770 ft.

²⁰ Décollage prévu à 16 h, réalisé à 16 h 50.

La copilote se souvient que lors de l'approche réalisée à Nantes au cours du premier vol de la journée, vers 13 h 15, le QNH était de 1 009 et le vent était déjà fort, avec 25 kt, rafale à 40 kt²¹.

Au cours du briefing pour l'approche du vol de l'incident, l'équipage avait évoqué la menace liée au vent et à la possibilité de « *windshear*²² ».

Le CDB explique que normalement, au moment de recalibrer l'altimètre de secours au passage du FL 100, il vérifie la valeur du QNH sur le plan de vol. Lors de ce vol, ayant été autorisés à descendre à la première altitude alors qu'ils approchaient le FL 100, le recalage de l'altimètre de secours avait eu lieu en même temps que le recalage des autres altimètres. Il ajoute qu'il n'a pas sorti le plan de vol, comme il en a l'habitude, conformément aux procédures de calage altimétrique, car ils étaient « brassés » en raison des conditions aérologiques. La comparaison altimétrique avait été effectuée, les trois altimètres avaient été vérifiés.

Dans le compte rendu (ASR) rédigé après l'événement, l'équipage mentionne des conditions particulièrement turbulentes avec « 60 kt en rafale entre 3 000 et 5 000 ft ».

Au sujet de l'alarme MSAW, la copilote explique que le ton de la contrôleuse était faible et qu'elle ne l'entendait pas très bien. Elle se rappelle avoir demandé au CDB : « qu'est-ce qu'elle a dit ? ». Le CDB mentionne que la contrôleuse n'avait pas eu une voix ferme pendant le message. Il avait ressenti une incompréhension totale de la situation par rapport à cette alerte. Il explique qu'ils étaient stables sur la trajectoire et en vue du sol, qu'il connaît bien Nantes et qu'il était en mesure de se situer par rapport à la tour Bretagne, qui était selon lui le seul obstacle.

Lorsqu'ils ont corrigé le QNH, ils étaient en VMC, en vue de la piste et du PAPI, au point d'ouverture. La copilote ne se rappelle pas comment le *snow flake* s'était comporté au moment du changement de calage altimétrique. Le CDB ne se rappelle plus quelles couleurs présentait le PAPI au moment de l'alerte²³, mais il se rappelle qu'il était repassé très rapidement à deux blanches et deux rouges lorsqu'ils ont corrigé la trajectoire.

Le CDB explique qu'ils auraient dû appliquer la procédure GPWS et remettre les gaz. Mais il ajoute qu'il lui paraissait déraisonnable d'interrompre l'approche : cela impliquait d'afficher une assiette à cabrer de l'ordre de 20°, alors qu'ils étaient à 500 ft avec des rafales à 70 kt et de rester avec les volets 20 avec ce vent. Il ajoute qu'un cumulonimbus (CB) arrivait sur le terrain, il était visible sur son ND sur lequel était affichée l'information du radar météorologique. Il lui semblait donc plus raisonnable de poursuivre et d'atterrir. Il ajoute que s'ils avaient été en IMC, ils auraient appliqué la procédure GPWS.

²¹ Les METAR de 13 h et 13 h 30 indiquaient un vent variable du sud-ouest de 14-15 kt, avec un BECMG 23015G30KT.

²² Cisaillement de vent.

²³ Un calcul de positionnement de l'avion par rapport aux faisceaux de couleur du PAPI montre que l'avion évoluait dans une zone où les quatre lumières du PAPI étaient rouges pendant toute la durée de la descente finale. En raison des conditions météorologiques, il est cependant impossible d'établir à quelle distance l'équipage a pu avoir visuel sur le PAPI.

2.4.6 Formation des équipages

Dans le cadre de l'enquête sur cet incident, les programmes de formation et les documents utilisés par l'opérateur pour ces formations ont été consultés.

La formation initiale sur les opérations PBN²⁴, qui inclut les aspects relatifs aux approches RNP, ainsi que les cours annuels de rafraîchissement des connaissances, comportent un rappel des menaces liées aux erreurs de calage altimétrique en opération Baro-VNAV.

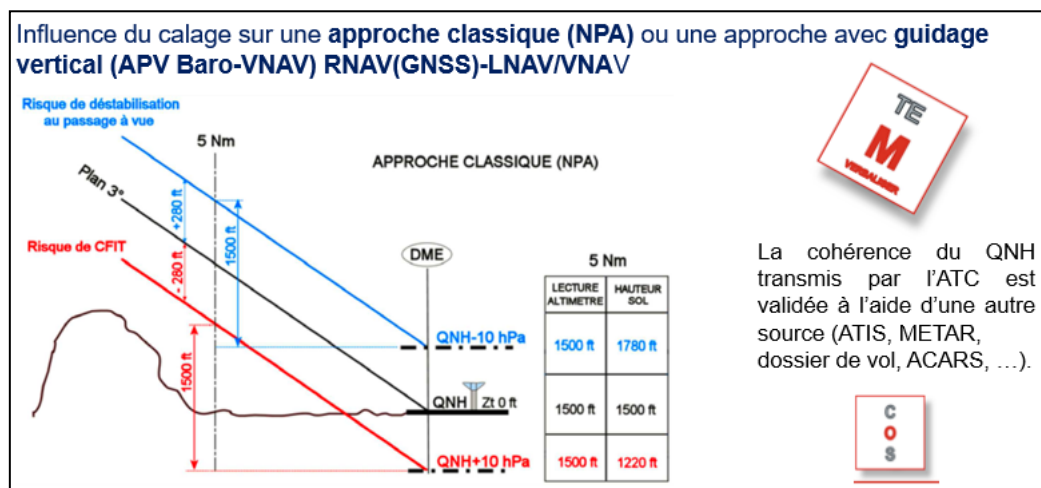


Figure 5 : extrait du support de formation utilisé en 2020-2021 par l'exploitant pour l'entraînement périodique (Source : Hop!)

Au cours de la formation récurrente dispensée en 2020-2021, sur le sujet des compétences en NPA, était présentée une analyse des incidents et accidents dans le cadre des approches NPA qui soulignait que la mise en place récente des terminologies « opération 2D/3D » pouvait conduire les équipages à assimiler une approche de non-précision conduite en « 3D » à une approche de précision. Elle mentionnait également les erreurs les plus courantes, parmi lesquelles l'erreur de QNH.

Il est également rappelé lors de la formation récurrente qu'en cas d'alerte MSAW il est attendu de l'équipage qu'il applique la procédure « GPWS Pull Up ».

²⁴ Navigation basée sur la performance.

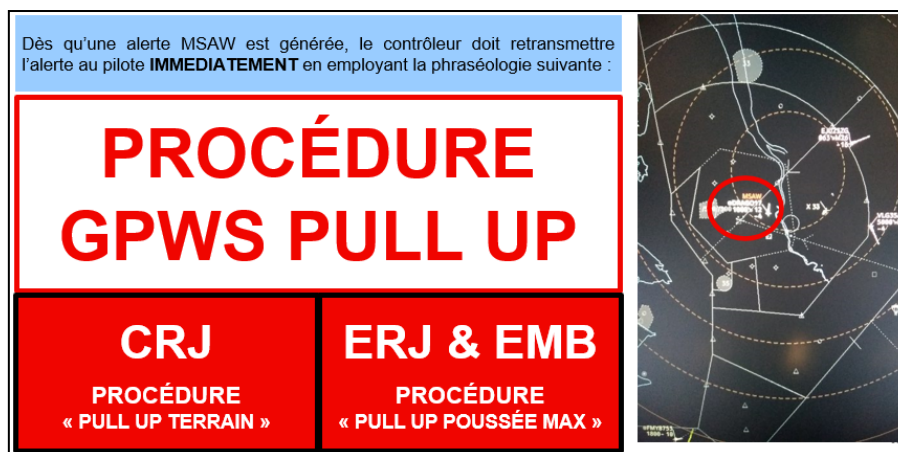


Figure 6 : extrait du support de formation utilisé en 2020-2021 par l'exploitant pour l'entraînement périodique (Source : Hop!)

Le CDB avait suivi la formation récurrente RNP une semaine avant l'événement. La copilote l'avait suivie en mai 2021.

2.4.7 Autres événements

À travers son système de gestion de la sécurité, l'exploitant avait déjà identifié des événements liés à des erreurs de calage altimétriques. Des publications de sécurité internes à destination des équipages avaient été diffusées à la suite de ces événements.

La dernière publication avant l'incident du F-HMLD datait de juin 2021. Elle mentionnait deux événements au cours desquels le QNH fourni à l'équipage par le contrôleur était erroné. Dans les deux cas, il s'agissait d'une erreur de -10 hPa. L'équipage avait pourtant bien noté la valeur correcte du QNH du jour, à l'écoute de l'ATIS. La publication rappelait la procédure (voir § 2.4.1) et l'importance de la validation de l'information de QNH transmise par l'ATC, par vérification avec une autre source d'information.

Une note temporaire²⁵ en date du 6 mai 2021 avait été ajoutée à la partie A du manuel d'exploitation. Elle faisait ressortir le texte lié à la validation de la cohérence du QNH transmis par l'ATC. Le texte était désormais encadré, en rouge et en gras.

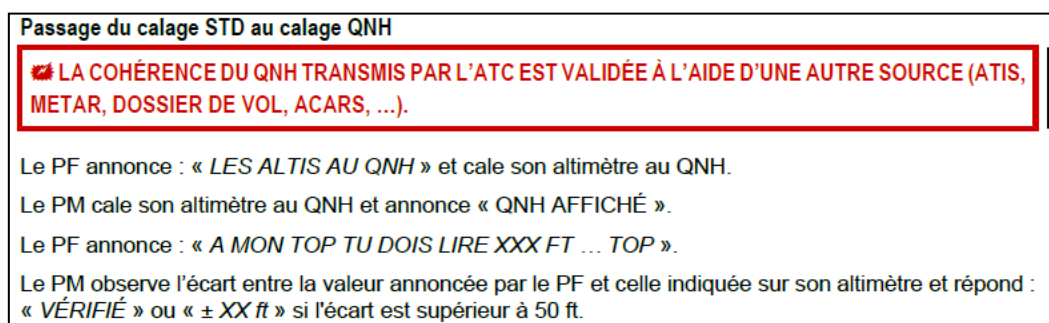


Figure 7 : modification du texte de la procédure de changement de calage altimétrique (Source : Hop!)

²⁵ Les notes temporaires ont pour objet de communiquer une consigne opérationnelle ou technique sur un thème particulier, dans des délais plus courts que ceux observés dans le processus de publication d'une révision complète du manuel d'exploitation.

La modification introduite par cette note temporaire a été intégrée dans le texte principal de la nouvelle révision du manuel d'exploitation, publiée le 21 octobre 2021, au lendemain de l'incident.

Depuis l'événement, le BEA a été informé par l'exploitant de deux autres cas d'erreurs de calage altimétrique.

L'examen de la liste des événements d'erreur de calage altimétrique ne fait pas ressortir de spécificité par rapport au type avion ou à l'aéroport pour lesquels ces événements sont survenus.

2.5 Généralisation des approches RNP

Le règlement d'exécution (UE) 2018/1048²⁶ établit un usage exclusif de la PBN à partir de 2030. Cela conduit les services de la navigation aérienne à ne maintenir en service, à terme, que les aides radio à la navigation (ILS, VOR, DME) nécessaires à la navigation aérienne dans le cas d'une perte d'ampleur du GNSS. Ces évolutions ont pour conséquence de faire disparaître les approches conventionnelles au profit des approches RNP.

Dans le bilan d'activité 2020-2021, la DSNA indique que quasiment 100 % des extrémités de pistes IFR non encore dotées d'approche de précision disposent, fin 2021, de procédures d'approche satellitaires.

Cette stratégie d'implémentation du PBN comporte des avantages potentiels en termes de minima réduits et d'un meilleur accès aux aéroports qui ne disposent pas de capacités d'approche et d'atterrissage de précision. Elle est censée également, d'après la résolution A37-11 de l'OACI, améliorer la sécurité car elle s'appuie sur le principe d'approches directes, nettement plus sûres que les approches indirectes. Elle va aussi dans le sens d'une réduction des coûts associés à la maintenance des systèmes de navigation basés sur les ILS, les VOR, les DME ou les NDB.

Cependant, si l'objectif final est d'aboutir à une utilisation généralisée des approches LPV (avec SBAS²⁷ VNAV)²⁸, non sujettes à la menace liée à un mauvais calage altimétrique, les approches Baro-VNAV se maintiendront pendant la période de transition vers cet objectif, et pourront même devenir prédominantes pendant cette phase si le taux d'équipement des aéronefs en avionique SBAS est insuffisant.

2.6 Communications

2.6.1 Exploitation des communications enregistrées

Les communications ont été analysées sur la base de l'enregistrement des radiocommunications, fourni par les services de la navigation aérienne. L'enregistrement du CVR n'était plus disponible lorsque le BEA a été informé de l'événement.

²⁶ Règlement de la Commission européenne du 18 juillet 2018 fixant des exigences pour l'utilisation de l'espace aérien et des procédures d'exploitation concernant la navigation fondée sur les performances (PBN) ([Version en vigueur le jour de l'incident](#)).

²⁷ *Satellite-Based Augmentation System* (Système d'augmentation de la précision de navigation basée sur les satellites).

²⁸ Comme indiqué sur la [page Internet de l'AESA traitant de la transition vers les opérations PBN](#).

Les communications pertinentes pour la compréhension de l'événement figurent au § 1. Pendant l'approche du F-HMLD, l'information de QNH n'a été communiquée à aucun autre aéronef sur la fréquence.

2.6.2 Erreur de *read-back* / *hear-back*

En 2004, Eurocontrol avait lancé l'*Initiative pour l'amélioration de la sécurité des communications air-sol*²⁹. Un plan d'action avait été établi, visant à proposer des recommandations et des solutions, sur la base d'une analyse approfondie des causes des problèmes de communication. Les éléments qui suivent s'appuient sur les informations publiées par Eurocontrol dans le cadre de cette étude. Les communications entre pilotes et contrôleurs s'appuient sur une boucle de communication qui assure une communication efficace, incluant le principe de collationnement (*read-back*) et vérification de ce collationnement (*hear-back*). En situation normale, et plus spécifiquement en présence de facteurs adverses pouvant affecter les communications, le processus de confirmation/correction est une ligne de défense contre les erreurs liées aux communications.

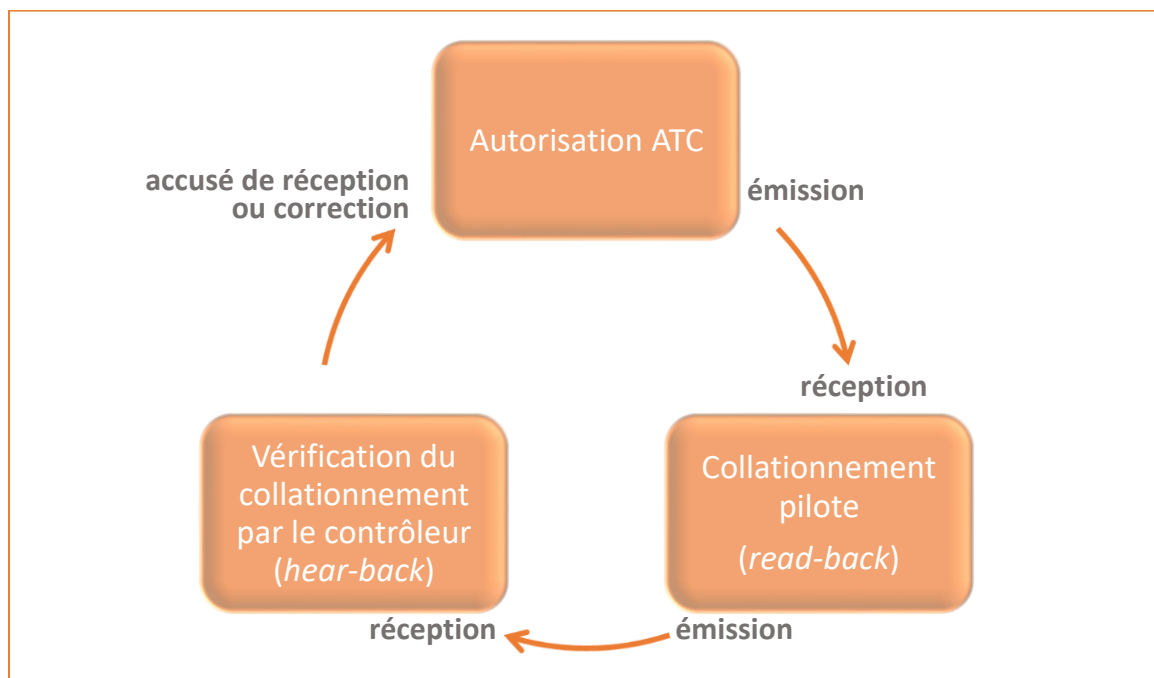


Figure 8 : boucle de communication pilote-contrôleur (Source : BEA)

Une absence d'accusé de réception ou de correction de la part du contrôleur est perçue implicitement par le pilote comme une confirmation du collationnement.

Une étude³⁰ réalisée par le centre aérospatial néerlandais (NLR) en 2004 pour Eurocontrol avait montré, sur la base de l'analyse d'un échantillon de 444 incidents³¹ liés aux communications entre pilotes-et contrôleurs, que l'erreur de *read-back* / *hear-back* était la plus commune (31 %) parmi les erreurs identifiées.

²⁹ [Air-Ground Communication \(AGC\) Safety Improvement Initiative.](#)

³⁰ [Air-ground Communication Safety Study: An analysis of pilot-controller occurrences.](#)

³¹ Incidents survenus en 2002-2003, en Europe, impliquant des avions de masse maximum au décollage supérieure à 5,7 t et exploités en transport commercial.

Les conséquences de ces erreurs de *read-back* / *hear-back* résultent pour 38 % en un écart d'altitude.

Les facteurs les plus communs influençant les erreurs de *read-back* / *hear-back* sont une forte charge de travail, la fatigue, les distractions ou les interruptions.

Dans le cas de l'incident grave faisant l'objet de ce rapport, survinrent :

- une erreur de collationnement par le PM, conséquence d'une transposition/répétition d'un nombre du message reçu, qui peut être liée à un effet de charge de travail ou de distraction ;
- une non-détection de cette erreur par le PF, probablement liée également à des effets similaires ;
- une absence de vérification et de correction de l'erreur de collationnement par le contrôleur, probablement liée à un effet de distraction ou de focalisation sur l'anticipation de la résolution d'un conflit en devenir impliquant d'autres aéronefs.

2.6.3 Prise en compte de l'alarme MSAW

La durée entre le déclenchement de l'alarme MSAW sur le poste du contrôleur et la compréhension de l'erreur de calage altimétrique et sa prise en compte par l'équipage a été de l'ordre de 30 secondes. La comparaison de cette durée avec le temps de préavis calibré sur le système MSAW, établi à 34 secondes à Nantes, a motivé le classement en incident grave de l'événement³².

Si l'on examine en détail la raison de cette durée, on note les facteurs suivants :

- de manière générale, le texte du message d'alerte que doit transmettre un contrôleur ne donne pas une indication claire de la situation et de l'action à suivre, contrairement à la majeure partie des alarmes nécessitant une réaction rapide de l'équipage. Il nécessite au contraire une analyse de la situation par l'équipage, dans une situation de stress importante³³. En comparaison, le message d'alerte lorsque l'avion est en guidage radar fournit une instruction appropriée à la situation et simple à comprendre par l'équipage ;
- dans le cas de l'événement du F-HMLD, sans mention du QNH dans le premier message d'alerte, l'équipage n'avait à sa disposition aucun élément pour comprendre la raison de l'alerte ;
- la contrôleuse n'a pas utilisé le mot « immédiatement » dans le message d'alerte ;
- si le PM a répondu en indiquant son altitude et le QNH, la contrôleuse n'a pas relevé à ce moment-là l'erreur de QNH et a répété le message d'alerte sans information supplémentaire ;
- lorsque la contrôleuse a pris conscience de l'erreur de calage altimétrique et a redonné la valeur exacte du QNH, le PM a répété le QNH de manière erronée, probablement en lisant son affichage.

³² Il est important cependant de noter que la PF a commencé à réduire le taux de descente près de deux secondes après le premier message d'alerte MSAW, soit 14 s après le déclenchement de l'alarme MSAW.

³³ Une problématique similaire avait été mise en évidence avec certaines alarmes TCAS. [L'incident grave survenu en vol le 23 mars 2003 aux avions immatriculés F-GPMF et F-GHQA exploités par Air France](#) en est une illustration.

Ce n'est vraisemblablement qu'à la deuxième répétition, avec insistance, de la contrôleuse de la valeur du QNH que l'équipage a pris conscience de l'erreur. Le fait que la contrôleuse ait prononcé de manière différente le QNH (prononciation du nombre comme une suite de chiffres « unité zéro zéro deux » au lieu de « mille deux ») au cours de ce message a pu également avoir une influence sur la prise de conscience de l'équipage.

Ont pu contribuer à ce délai de compréhension de la situation par l'équipage l'effet de surprise et une difficulté additionnelle liée à la qualité de la communication, exprimée par les deux membres d'équipage dans leur témoignage. Ces éléments montrent que la mention du QNH dans l'alerte relief est un élément important qui peut aider à une compréhension rapide de la situation, dans le cas d'une erreur de calage altimétrique³⁴. Cependant, il ne suffit pas à pallier le délai additionnel lié à l'effet de surprise généré et à l'éventuelle incompréhension de la situation d'un équipage par rapport à cette alerte.

2.7 Système EGPWS

Le F-HMLD était équipé d'un EGPWS Mark V d'Honeywell.

Dans les circonstances de l'événement, l'EGPWS n'a pas émis d'alarme. Ce comportement a été vérifié et est cohérent avec les définitions des enveloppes de déclenchement d'alertes.

Considérant que le MSAW est l'élément de sécurité qui a permis d'interrompre la séquence de l'événement et qu'un cas similaire pouvait se produire sur un aéroport non équipé de MSAW (voir § 2.3.3.4), une simulation a été conduite sur l'hypothèse que l'équipage aurait poursuivi l'approche sur une trajectoire correspondant au calage altimétrique erroné. Cette simulation suppose des conditions de visibilité telles que l'équipage n'aurait pas vu la piste avant d'atteindre la MDA. Cette simulation a montré qu'une alarme EGPWS aurait très probablement été émise à environ 1,6 NM du seuil de piste 21, à une radio-altitude d'environ 110 ft.

2.8 Erreur de calage altimétrique

Les éléments d'analyse suivants s'appuient sur différentes références qui traitent le thème des erreurs de calage altimétrique. La principale source utilisée est l'étude ALAR³⁵ de la Flight Safety Foundation.

2.8.1 Facteurs et stratégies de prévention

Les erreurs altimétriques sont souvent le résultat d'un ou plusieurs facteurs, humains ou opérationnels. Parmi les facteurs identifiés par l'étude ALAR, les suivants sont mis en évidence dans le cas de l'incident objet de ce rapport :

- une charge de travail élevée, ici liée aux conditions météorologiques pendant l'approche ;
- une distraction, ici liée à la préoccupation de l'équipage par rapport à ces conditions météorologiques pour l'atterrissage et à l'approche de la ligne de grain par l'ouest de l'aéroport, sur la trajectoire de remise de gaz ;
- une déviation des procédures standard, ici en raison de la non-vérification de la valeur de QNH de l'ATIS notée sur le plan de vol ;
- une boucle de communication pilote-contrôleur inefficace.

³⁴ Dans d'autres cas, la mention de l'altitude minimale de vol revêt également de l'importance pour aider à la compréhension de la situation par l'équipage.

³⁵ [Approach and Landing Accident Reduction](#).

Les stratégies de prévention identifiées par l'étude ALAR qui auraient pu être efficaces dans le cas de cet événement sont les suivantes :

- un briefing d'approche complet et efficace, mentionnant en particulier le QNH attendu ;
- une conscience anticipée de la valeur de calage altimétrique liée à la prise en compte de la situation météorologique du fait de la dépression Aurore ;
- une conscience anticipée de la valeur du QNH liée à la prise en compte des METAR et de l'ATIS de l'aérodrome de destination.

Les deux dernières stratégies ont été évoquées par l'équipage lors de son témoignage. Il attribue la non-efficacité de ces stratégies à une probable focalisation sur les conditions aérologiques particulières pendant l'approche.

2.8.2 Prise en compte de l'information radio-altimétrique

L'étude ALAR mentionne l'utilisation de l'information de radiosonde comme outil de prévention. L'intégration du radio-altimètre dans le circuit visuel instrumental, après son activation à 2 500 ft, associée à l'annonce « sonde active », peut permettre de mettre en évidence une erreur importante de calage altimétrique lorsque l'approche est réalisée dans un environnement non montagneux, par comparaison des valeurs de radiosonde et d'altitude.

Dans le cas de l'approche du F-HMLD, lorsque l'avion était en palier sur le segment intermédiaire de l'approche à 3 000 ft, la radio sonde était active et la valeur moyenne du radioaltimètre était de 2 435 ft. L'activation de la radiosonde et la valeur de radio-altitude à ce moment de l'approche aurait pu interpeller l'équipage.

De même, lors de l'approche finale, l'annonce synthétique « one thousand feet » liée à la radiosonde a très probablement³⁶ retenti alors que l'altimètre indiquait environ 1 530 ft.

Cependant, en raison de la charge de travail dans cette phase de l'approche, et en particulier dans le cas de cet incident en raison des conditions météorologiques, la disponibilité de l'équipage était probablement faible pour réaliser ces contrôles.

De plus, ces contrôles ne sont pas clairement détaillés par les procédures opérationnelles standard. En particulier, la procédure opérationnelle décrite au § 2.4.4.2, s'appuyant sur la vérification de la « cohérence de la situation », n'établit pas de critère clair et simple permettant une prise de décision rapide par l'équipage à un moment du vol où la charge de travail est élevée. Par exemple, la procédure n'établit pas de seuil de décision et ne prend pas en compte le cas de l'environnement montagneux.

³⁶ En l'absence d'enregistrement CVR, il a été impossible de vérifier si l'annonce synthétique a effectivement été émise.

2.8.3 Systèmes de détection d'erreur altimétrique

2.8.3.1 Fonction embarquée de surveillance de l'altimètre

Cette nouvelle fonctionnalité est introduite sur les aéronefs récents, ou en modification optionnelle sur les aéronefs plus anciens³⁷. Sur l'EGPWS Mark V d'Honeywell qui équipait l'avion le jour de l'événement, c'est une option logicielle, qui n'est pas certifiée pour le CRJ-1000.

Nommée « *Altimeter Monitor* » sur l'EGPWS Mark V, elle utilise les différentes sources d'information d'altitude de l'avion et la base de données de terrain pour fournir des annonces sonores et, optionnellement, visuelles, informant par exemple l'équipage d'un probable mauvais calage altimétrique sous l'altitude de transition. Cet avertissement se base principalement sur une comparaison de l'altitude barométrique et d'une valeur d'altitude dite « géométrique », basée sur l'altitude GPS.

Dans le cas de l'événement, selon une étude fournie par Honeywell, si cette fonctionnalité avait été disponible, elle aurait émis un avertissement environ 30 secondes après le passage de l'altitude de transition, soit 5 000 ft en descente. Un message sonore « ALTIMETER SETTING » aurait été émis, puis répété huit secondes plus tard. Optionnellement, un message « **ALTM SETTING** » aurait été affiché en surimpression sur l'affichage terrain du ND.

2.8.3.2 Fonction sol

Dans certaines zones de contrôle d'approche terminale, les services de la navigation aérienne ont mis en place un système de surveillance du calage altimétrique qui permet de fournir une alerte au contrôleur lorsqu'un aéronef évolue sous l'altitude de transition avec un calage altimétrique différent du QNH de la TMA. Ces outils s'appuient sur l'information de calage altimétrique envoyée par le transpondeur de l'aéronef lorsqu'il est équipé de cette fonctionnalité.

C'est le cas par exemple du système BAT³⁸, utilisé dans la zone de contrôle d'approche terminale de Londres (Royaume-Uni), qui fournit une alerte au contrôleur lorsqu'un aéronef évolue sous l'altitude de transition avec un calage altimétrique différent de plus de 5 hPa par rapport au QNH de la TMA. Le contrôleur, lorsqu'il reçoit l'alerte BAT, peut demander à l'équipage de vérifier son calage altimétrique et lui rappeler le QNH, ou bien il peut demander à l'équipage de lui confirmer le calage altimétrique utilisé à bord.

2.9 Événement similaire

Le BEA a ouvert une enquête sur un incident grave survenu le 23 mai 2022 en approche vers l'aéroport Paris-Charles de Gaulle³⁹.

Au cours de cet événement, la contrôleuse a fourni une information de QNH erronée. L'équipage réalisait une approche RNP avec des minima LNAV/VNAV, qui a été conduite sous le plan de descente en raison de l'erreur de calage altimétrique. Ceci a conduit à un quasi CFIT, avec une remise de gaz à faible hauteur environ 1 NM avant la piste sans référence visuelle.

³⁷ Par exemple, le système est certifié en option sur Airbus A320 et A330 depuis 2019.

³⁸ *Barometric Pressure Setting Advisory Tool*.

³⁹ [Incident grave de l'Airbus A320 immatriculé 9H-EMU exploité par AirHub survenu le 23 mai 2022 vers Paris-Charles de Gaulle.](#)

Une seconde approche a été réalisée dans les mêmes conditions. Au cours de cette approche, les conditions de visibilité en finale s'étant améliorées, l'équipage a acquis le visuel sur la piste à 2,5 NM de celle-ci, à une hauteur de 572 ft, ce qui lui a permis de corriger la trajectoire.

Le rapport préliminaire d'enquête, publié le 11 juillet 2022, montre que « Lors de cet incident grave, l'alarme MSAW a été déclenchée lors des deux approches et la phraséologie standard n'a pas été employée par les contrôleurs aériens. En particulier l'équipage n'a pas été informé de vérifier son altitude et le QNH ne lui pas été fourni. Les premiers entretiens conduits lors de l'enquête suggèrent que la phraséologie d'urgence associée à une alarme MSAW n'est pas entièrement connue et comprise par les contrôleurs aériens. »

Le BEA a émis plusieurs recommandations urgentes, dont une dirigée aux services de la navigation aérienne de Paris-Charles de Gaulle, sur l'application stricte de la phraséologie d'urgence associée à une alarme MSAW, notamment en fournissant le QNH.

L'analyse de l'événement dans sa globalité est toujours en cours et le rapport préliminaire indique qu'une attention particulière sera donnée à différents aspects, dont la phraséologie MSAW.

En réponse à cette recommandation urgente, une consigne temporaire a été émise par la DSNA, diffusée en interne dans ses services et également à tous les usagers par l'intermédiaire d'une circulaire d'information aéronautique (AIC)⁴⁰. Cette consigne établit que « *lors d'approches RNP :*

- *au premier contact d'un aéronef avec le contrôleur d'aérodrome, ce dernier rappelle la valeur du QNH,*
- *en cas d'alerte du système sol d'avertissement de proximité du relief (alerte MSAW - Minimum Safe Altitude Warning), le contrôleur demande sans délai à l'aéronef concerné d'effectuer une remise de gaz. »*

⁴⁰ [AIC France A18/22](#).

3 CONCLUSIONS

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

Scénario

Lorsque l'équipage du F-HMLD a été autorisé à descendre à la première altitude sous le niveau de transition et à réaliser l'approche sur la piste 21, le PM a collationné le QNH de manière erronée en mentionnant un calage altimétrique QNH de 1 021 au lieu de 1 002. Cette erreur n'a pas été relevée par le contrôleur ni par la PF.

Au moment du changement de calage altimétrique, la procédure a été appliquée de manière incomplète par l'équipage, qui a omis de valider la cohérence du QNH fourni par le contrôleur avec une autre source d'information, en raison des turbulences subies pendant cette phase de vol rendant difficile la lecture des informations notées sur le plan de vol.

En raison de cette erreur de QNH, la trajectoire de l'aéronef pendant l'approche était environ 530 ft plus basse que la trajectoire publiée. Cependant les procédures et les informations sur les instruments de bord ne permettaient pas d'identifier directement l'erreur de trajectoire de manière simple.

L'unique information instrumentale qui pouvait permettre à l'équipage de détecter cette erreur de QNH était la valeur de radiosonde, anormalement basse en comparaison des altitudes de la procédure, en prenant en compte l'altitude du terrain survolé. Cette vérification n'est pas clairement définie par les procédures opérationnelles standard.

L'altitude affichée sur l'écran de visualisation radar, qui est une altitude standard, ne permettait pas au contrôleur de détecter de manière simple que l'avion n'effectuait pas le palier d'approche intermédiaire à l'altitude publiée. De plus, il n'incombe pas au contrôleur de réaliser cette vérification.

Les contrôles de plan de descente lors d'une approche RNP avec guidage Baro-VNAV ne permettent pas de détecter une erreur de trajectoire liée à une erreur de calage altimétrique. Cette limitation intrinsèque des approches RNP avec guidage Baro-VNAV est une menace connue et celle-ci est régulièrement rappelée aux pilotes par l'exploitant, au cours de leurs formations périodiques ou à travers des communications internes de sécurité des vols.

Alors que l'avion approchait le point d'approche interrompue, une alarme MSAW a été déclenchée au niveau du poste de la contrôleur LOC. Cette dernière a informé l'équipage de cette alarme, sans rappeler initialement le QNH et sans inclure le mot « immédiatement » dans le message. Les échanges entre l'équipage et la contrôleur ont duré près de trente secondes avant que l'équipage ne comprenne son erreur et corrige la trajectoire verticale.

L'équipage n'a pas effectué de remise de gaz, comme demandé par la procédure MSAW décrite dans le manuel d'exploitation. Il a poursuivi l'approche car, étant à vue et ayant conscience de la présence de mauvais temps sur la trajectoire d'approche interrompue, il a considéré plus raisonnable de poursuivre l'approche.

Par définition des critères de stabilisation, l'approche était déstabilisée. Pendant l'approche finale, du fait des limitations liées aux erreurs de calage altimétrique lors de l'utilisation du guidage Baro-VNAV, l'équipage ne pouvait pas prendre conscience de cette déstabilisation. La perception de l'équipage de cette déstabilisation n'a pu survenir qu'au moment de l'alarme MSAW.

Facteurs contributifs

Ont pu contribuer à l'erreur de calage altimétrique :

- une charge de travail importante et une focalisation excessive de l'équipage du F-HMLD sur les conditions météorologiques liées à la tempête en cours, au détriment de l'application de la procédure standard consistant à vérifier la cohérence de la valeur de QNH fournie par l'ATC avec une autre source d'information ;
- un détournement d'attention du contrôleur APP en raison d'un conflit à venir sur un autre secteur de sa zone de responsabilité, dont il anticipait la résolution. Le contrôleur n'a alors pas identifié le mauvais collationnement par l'équipage du calage altimétrique.

Ont pu contribuer à la non-identification de la trajectoire finale erronée :

- les limitations intrinsèques liées au guidage Baro-VNAV en cas d'erreur de calage altimétrique ;
- l'absence de barrière de sécurité adéquate pour ces situations – en particulier, la procédure de « vérification de cohérence » basée sur la valeur de radio-altimètre paraît inefficace au vu du contexte opérationnel à ce moment du vol ;
- la présentation sur l'écran radar du contrôleur de l'altitude des aéronefs avec la référence altimétrique standard.

Ont pu contribuer au délai de réaction à l'alerte MSAW :

- l'absence de mention du QNH lors de la transmission de l'alerte par le contrôleur ;
- l'absence du mot « immédiatement » dans le message d'alerte du contrôleur ;
- l'effet de surprise ressenti par l'équipage.

Enseignements de sécurité

Erreur de calage altimétrique

L'analyse de l'événement montre que la plupart des mesures en place pour éviter l'erreur de calage altimétrique sont faillibles. Qu'il s'agisse du principe de *read-back / hear-back*, des principes de gestion des ressources de l'équipage (CRM) qui impliquent des vérifications croisées entre membres d'équipage au sein du cockpit, des principes de procédures standard qui établissent de manière claire les méthodes de travail pour répondre à la menace identifiée, toutes ces mesures peuvent perdre de leur efficacité lorsqu'un ou des éléments perturbateurs, tels que la distraction ou la focalisation sur une autre menace, sont présents.

C'est en partie pour ces raisons que des systèmes tels que l'EGPWS ou le MSAW ont été développés. Ces systèmes, qui sont souvent l'ultime barrière, ont aussi leur limite. Par exemple dans cet incident, le temps de compréhension et de réaction à l'alarme MSAW a été anormalement long et proche du temps de réaction maximum pour lequel le système MSAW a été conçu.

Dans ce contexte, une fonction additionnelle de surveillance, qu'elle soit côté bord comme l'« Altimeter Monitor » ou côté sol comme le BAT (voir § 2.8.3), apparaît comme un outil de détection anticipée qui permettrait, lorsque l'erreur de calage va dans le sens d'une évolution de l'aéronef à une altitude inférieure à celle prévue, de détecter l'erreur de calage avant que la proximité avec le terrain ne devienne un facteur de risque important.

L'introduction d'une telle fonction paraît d'autant plus importante si l'on considère :

- la généralisation des approches RNP, identifiées pour leur vulnérabilité à l'erreur de calage altimétrique lorsque le guide vertical utilise la fonction Baro-VNAV ;
- le fait que le MSAW, l'une des ultimes barrières de sécurité dans ce type d'événement, est installé sur peu d'aéroports en France.

Procédure de calage altimétrique

Cet incident grave illustre l'importance d'une parfaite application de la procédure de calage altimétrique pour s'assurer que la trajectoire de l'aéronef sera bien la trajectoire attendue dans le plan vertical.

La comparaison des valeurs de QNH affichées sur les différents instruments permet de détecter une erreur d'affichage. La vérification des valeurs d'altitude qui résultent de ce calage permet de détecter une erreur instrumentale, voire également de s'assurer que la première comparaison a été réalisée.

Ces deux actions ne permettent pas de détecter une erreur de QNH, dont la valeur est essentielle pour la vérification altimétrique.

Un examen des procédures de différents types d'aéronef a montré que la validation de la valeur de QNH par comparaison avec une autre source d'information n'apparaît pas de manière détaillée dans les procédures des constructeurs. Cela peut être justifié par le fait que cette validation n'est pas directement liée à l'utilisation de l'aéronef et qu'elle peut être assimilée à une pratique standard enseignée dès la formation de base des pilotes.

Cependant, l'étude de cet événement, ainsi que d'autres cas soumis au BEA, montre que certains équipages appliquent cette procédure en comparant le QNH utilisé et les valeurs instrumentales d'altitude en résultant, sans pour autant s'assurer que la valeur de QNH fournie par le contrôleur est cohérente avec une valeur fournie par une autre source d'information.

Les raisons de cette absence de validation de la valeur du QNH sont variées (défaillances dans la formation initiale des pilotes, application incomplète de la procédure lorsqu'elle est effectivement détaillée, insuffisance du niveau de détail des procédures constructeur ou opérateur) et n'ont pas fait l'objet d'une analyse approfondie dans la cadre de cette enquête.

Cet événement illustre l'importance de la validation de la valeur de QNH en la comparant avec une valeur fournie par une autre source d'information (ATIS, messages ACARS ou documents de la préparation des vols par exemple). Cela doit être la première étape de la procédure de calage altimétrique.

Réaction d'un équipage à une alarme MSAW

Hors situation de guidage radar, le CDB est responsable du franchissement des obstacles. En cas d'alerte de proximité du relief au moyen d'un système TAWS⁴¹ équipant l'aéronef, des procédures sont établies dans le manuel de vol de l'aéronef pour réagir à l'alerte. En cas d'alarme MSAW, il n'existe pas de procédure établie pour les équipages.

Sans procédure particulière pour les équipages, les messages d'alerte MSAW utilisés par les contrôleurs aériens ne permettent pas une décision simple de la part des équipages. Ils nécessitent au contraire une analyse pour laquelle certaines informations peuvent manquer, voire être erronées. Or, ces alarmes surviennent dans des contextes de proximité du relief pour lesquels une décision rapide est indispensable.

Certains opérateurs ont analysé cette menace et ont défini pour leurs équipages une procédure dans leur manuel d'exploitation. Par exemple, Hop! demande à ses équipages d'assimiler une alarme MSAW à une alarme TAWS, en particulier à l'alarme « EGPWS Pull-Up ».

4 RECOMMANDATIONS

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

4.1 Mise en cohérence des procédures et de la phraséologie en cas d'alarme relief

Les expressions conventionnelles, définies par les règles de l'air (règlement SERA) et par l'arrêté du 11 décembre 2014 relatif à la mise en œuvre du règlement européen (UE) n° 923/2012, établissent qu'en cas d'avertissement d'altitude basse, le message inclut la notion d'urgence introduite par l'expression « immédiatement » et l'information de QNH. En cas d'alerte proximité du relief, l'expression conventionnelle n'inclut pas ces éléments. La notion d'alerte proximité de relief n'est pas définie et l'enquête n'a pas pu déterminer les raisons pour lesquelles l'information de QNH et l'expression « immédiatement » ne sont pas incluses dans ce cas.

La phraséologie établie dans les manuels et consignes opérationnels utilisés par les services de la navigation aérienne français est différenciée selon que le trafic pour lequel l'alarme MSAW est déclenchée est en guidage radar ou pas. Cette différenciation est cohérente avec le texte de réglementation nationale relatif aux procédures, mais incohérente par rapport aux textes nationaux relatifs à la phraséologie.

⁴¹ Système destiné à prévenir les collisions avec le relief sans perte de contrôle. Le TAWS équipant le F-HMLD est un EGPWS.

Ces incohérences entre procédure et phraséologie d'une part, réglementation et procédures opérationnelles d'autre part, semblent être à l'origine du fait que la phraséologie établie dans les documents opérationnels et manuels de référence utilisés par les services de la navigation aérienne français varie selon les documents existants. Le BEA n'a pas obtenu d'explication claire sur ces incohérences.

Cette variabilité de la phraséologie relative à une alarme MSAW dans les documents opérationnels (consignes opérationnelles, manuel d'exploitation) n'est pas de nature à faciliter la connaissance juste et sans ambiguïté du message à utiliser en cas d'alarme MSAW par les contrôleurs aériens.

L'émission d'un message d'alerte approximatif a été observée dans cet événement et dans celui de l'Airbus A320 immatriculé 9H-EMU exploité par AirHub survenu le 23 mai 2022 en approche vers l'aéroport Paris-Charles de Gaulle (voir § 2.9). Dans les deux cas, les contrôleurs n'ont pas rappelé la valeur de QNH ni souligné l'urgence de la situation par l'utilisation du mot « immédiatement ».

En conséquence, le BEA recommande que :

- ***considérant que l'information de QNH est indispensable pour que l'équipage d'un aéronef puisse effectivement vérifier son altitude ;***
- ***considérant que l'utilisation du mot « immédiatement » est importante pour que l'équipage prenne conscience de l'urgence de la situation ;***
- ***considérant la variabilité dans les différents documents de la DSNA sur la fourniture de ces deux informations ;***

la DSNA, sans attendre les autres actions attendues de l'AESA et de l'OACI, s'assure que l'ensemble des documents relatifs à la phraséologie et aux procédures MSAW évolue dans le sens de :

- ***mentionner systématiquement l'urgence de la situation,***
- ***rappeler systématiquement le QNH dans le message à utiliser par les contrôleurs en cas d'alarme MSAW. [Recommandation FRAN 2023-007]***

Dans le Doc 4444 de l'OACI (Procédures pour les services de navigation aérienne), ainsi que dans les textes de réglementation française, la procédure à appliquer en cas d'alarme MSAW est différenciée selon que l'aéronef pour lequel l'alarme est déclenchée est en guidage radar ou pas.

Dans le Doc 4444 et le Doc 9432 de l'OACI (Manuel de radiotéléphonie), ainsi que dans les textes de réglementation européenne et française, la phraséologie en cas d'alarme MSAW est différenciée selon qu'il s'agisse d'un avertissement d'altitude basse ou d'une alerte proximité du relief. Ces notions ne sont pas définies par ailleurs dans ces textes.

La phraséologie établie dans les manuels et consignes opérationnels utilisés par les services de la navigation aérienne français est différenciée selon que le trafic pour lequel l'alarme MSAW est déclenchée est en guidage radar ou pas. Cette différenciation est cohérente avec le texte de réglementation nationale relatif aux procédures, mais incohérente par rapport aux textes nationaux relatifs à la phraséologie.

Ces incohérences entre procédure et phraséologie d'une part, réglementation et procédures opérationnelles d'autre part, semblent être à l'origine du fait que la phraséologie établie dans les documents opérationnels et manuels de référence utilisés par les services de la navigation aérienne français varie selon les documents existants.

Le BEA a interrogé les instances à l'origine de la rédaction de ces textes et n'a pas obtenu d'explications claires.

Cette variabilité de la phraséologie relative à une alarme MSAW dans les documents opérationnels (consignes opérationnelles, manuel d'exploitation) et manuels de référence n'est pas de nature à faciliter la connaissance juste et sans ambiguïté du message à utiliser en cas d'alarme MSAW par les contrôleurs aériens.

L'émission d'un message d'alerte approximatif a été observée dans cet événement et dans celui de l'Airbus A320 immatriculé 9H-EMU exploité par AirHub survenu le 23 mai 2022 en approche vers l'aéroport Paris-Charles de Gaulle (voir § 2.9).

Or, comme l'indique l'OACI en avant-propos du Doc 9432, la phraséologie est développée pour permettre des communications efficaces, claires, concises et sans ambiguïté.

En conséquence, le BEA recommande que :

- *considérant que les notions d'avertissement basse altitude et d'alerte de proximité du relief utilisées pour établir la phraséologie à utiliser en cas d'alarme MSAW par le Doc 4444 et le Doc 9432 de l'OACI, le règlement européen SERA et par l'arrêté français du 11 décembre 2014 relatif à la mise en œuvre du règlement d'exécution (UE) n 923/2012, ne sont pas définies dans ces documents ;*
- *considérant que les procédures à appliquer par les contrôleurs en cas d'alarme MSAW décrites dans le Doc 4444 de l'OACI et dans le supplément national FRA.11002 au SERA sont basées sur les cas sous guidage radar et sans guidage radar ;*
- *considérant que l'information de QNH est indispensable pour que l'équipage d'un aéronef puisse effectivement vérifier son altitude ;*
- *considérant que l'utilisation du mot « immédiatement » est importante pour que l'équipage prenne conscience de l'urgence de la situation ;*

l'AESA, sans attendre une évolution des documents de l'OACI, développe des guides (Guidance Material (GM)) visant à clarifier dans le règlement SERA les procédures et la phraséologie à utiliser par les contrôleurs à destination des équipages en cas d'alarme MSAW, et s'assure que le SERA évolue dans le sens de mentionner systématiquement l'urgence de la situation et de rappeler systématiquement le QNH dans le message à utiliser par les contrôleurs en cas d'alarme MSAW. [Recommandation FRAN 2023-008]

l'AESA engage les actions internationales en lien avec l'OACI pour résoudre également les incohérences et ambiguïtés dans le Doc 4444 et le Doc 9432 afin que ceux-ci prévoient systématiquement l'information d'urgence et de QNH et évoluent si possible vers une phraséologie simple et unifiée. [Recommandation FRAN 2023-009]

l'OACI s'assure que les incohérences entre procédures et phraséologie en cas d'alarme MSAW figurant dans les Doc 4444 et le Doc 9432 soient levées, et s'assure que ces documents évoluent dans le sens de mentionner systématiquement l'urgence de la situation et de rappeler le QNH dans le message à utiliser par les contrôleurs en cas d'alarme MSAW. [Recommandation FRAN 2023-010]

Le présent rapport a fait l'objet d'une consultation officielle auprès des entités suivantes : l'autorité responsable des enquêtes de sécurité du Canada (BST) et son conseiller technique Bombardier, l'autorité responsable des enquêtes de sécurité des États-Unis (NTSB) et son conseiller technique Honeywell, les conseillers techniques du BEA que sont la DSNA, la DSAC, HOP!, l'AESA et l'OACI.

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.

Annexe 1 : Glossaire

Acronymes	Version Anglaise	Version Française
AAL	Above Aerodrome (Airport) Level	Au-dessus du niveau de l'aérodrome
ACARS	Aircraft Communication Addressing and Reporting System	Système embarqué de communications d'adressage et de compte rendu
AESA	European Aviation Safety Agency (EASA)	Agence européenne de la sécurité aérienne
AGC	Air Ground Communication	Communications air-sol
AIC	Aeronautical Information Circular	Circulaire d'information aéronautique
AIP	Aeronautical Information Publication	Publication d'information aéronautique
ALAR	Approach and Landing Accident Reduction	
AMC	Acceptable Means of Compliance	Moyens acceptables de mise en conformité
APP	Approach Control Office or approach control	Centre de contrôle d'approche ou contrôle d'approche ou service
ASR	Air Safety Report	Compte rendu de sécurité des vols
ATC	Air Traffic Control	Contrôle de la circulation aérienne
ATIS	Automatic Terminal Information Service	Service automatique d'information de région terminale
BAT	Barometric Pressure Setting Advisory Tool	
BST	Transportation Safety Board of Canada (TSB)	Bureau de la sécurité des Transports (Autorité d'enquête de sécurité du Canada)
CB		Cumulonimbus
CDB	Captain	Commandant de bord
CFIT	Controlled Flight Into Terrain	Vol contrôlé dans le relief
CRM	Crew Resource Management	Gestion des ressources de l'équipage
CTR	Control Traffic Region	Zone de contrôle
CVR	Cockpit Voice Recorder	Enregistreur phonique
DME	Distance Measuring Equipment	Radio-transpondeur de mesure de distance
DSAC		Direction de la sécurité de l'Aviation civile
DSNA		Direction des services de la navigation aérienne

EGPWS	Enhanced Ground Proximity Warning System	Système d'avertisseur de proximité de sol amélioré
FAF	Final Approach Fix	Repère d'approche finale
FL	Flight Level	Niveau de vol
FMS	Flight Management System	Système de gestion du vol
ft	Feet	Pieds
GM	Guidance Material	Document d'orientation
GNSS	Global Navigation Satellite System	Système mondial de navigation par satellite
GPWS	Ground Proximity Warning System	Avertisseur de proximité du sol
IFR	Instrument Flight Rules	Règles de vol aux instruments
ILS	Instrument Landing System	Système d'atterrissage aux instruments
IMC	Instrument Meteorological Conditions	Conditions météorologiques de vol aux instruments
kt	Knots	Nœuds
LNAV	Lateral Navigation	Mode de guidage latéral
LOC		Contrôle local
LPV	Localizer Performance with Vertical guidance	
MAPT	Missed Approach Point	Point d'approche interrompue
MDA	Minimum Descent Altitude	Altitude minimale de descente
METAR	Aerodrome routine meteorological report	Message d'observation météorologique régulière d'aérodrome
MNM		Minimum
MOCA	Minimum Obstacle Clearance Altitude	Altitude minimale de franchissement d'obstacle
MSA	Minimum Safe Altitude	Altitude minimale de sécurité
MSAW	Minimum Safe Altitude Warning	Système sol d'avertissement de proximité du relief
ND	Navigation Display	Écran de navigation
NDB	Non Directional Beacon	Radiophare non directionnel
NLR	Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium	Centre aérospatial néerlandais
NM	Nautical Mile	Mille marin
NPA	Non-Precision Approach	Approche de non-précision
NTSB	National Transportation Safety Board	Autorité d'enquête de sécurité des États-Unis
OACI	International Civil Aviation Organization (ICAO)	Organisation de l'Aviation Civile Internationale
PAPI	Precision Approach Path Indicator	Indicateur de pente d'approche
PBN	Performance Based Navigation	Navigation basée sur la performance

PF	Pilot Flying	Pilote aux commandes
PFD	Primary Flight Display	Écran de vol primaire
PM	Pilot Monitoring	
QAR	Quick Access Recorder	Enregistreur de maintenance
QNH		Calage altimétrique requis pour lire une altitude par rapport au niveau moyen de la mer
RNP	Required Navigation Performance	Performance de navigation requise
SBAS	Satellite-Based Augmentation System	Système d'augmentation de la précision de navigation basée sur les satellites
SDF	Step Down Fix	Repères de distance
SERA	Standardised European Rules of the Air	Règles de l'air européennes
SIV	Flight information service (FIS)	Service d'information de vol
SNA		Service de la navigation aérienne
SNA-O		Service de la navigation aérienne – Ouest
TCAS	Traffic Collision Avoidance System	Système d'anti-abordage embarqué
TMA	Terminal Manoeuvring Area	Région de contrôle terminale
UTC	Universal Time Coordinated	Temps universel coordonné
VFR	Visual Flight Rules	Règles de vol à vue
VMC	Visual Meteorological Conditions	Conditions météorologiques de vol à vue
VNAV	Vertical Navigation	Mode de guidage vertical
VOR	VHF Omnidirectional Range	Radiophare omnidirectionnel VHF