Accident de l'avion AIRBUS A350-900 immatriculé F-HNET survenu le 5 décembre 2021 en approche vers l'aérodrome de Cayenne Félix Éboué (973)

Heure	Vers 21 h 25[1]
Exploitant	Air Caraïbes Atlantique
Nature du vol	Transport commercial de passagers, vol régulier
Personnes à bord	Commandant de bord (PF), Copilote (PM), 9 Personnels Navigants Commerciaux (PNC), 142 passagers
Conséquences et dommages	Chef de cabine gravement blessé, 2 PNC blessés

Note : un glossaire est disponible en annexe du rapport.

Turbulences en descente, blessure grave d'un PNC

1 DÉROULEMENT DU VOL

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

L'équipage décolle à 13 h 24 de l'aéroport Paris-Orly (94) pour un vol commercial régulier à destination de l'aéroport Cayenne-Félix Éboué (Guyane).

Peu après 21 h, en fin de croisière au niveau 400, l'équipage anticipe une première zone de turbulence. Les plateaux repas ont été distribués auparavant et n'ont pas encore été débarrassés. Après échanges avec des PNC, le Commandant de bord (CdB) active la consigne lumineuse « ceintures attachées » et informe les occupants de la cabine qu'ils vont traverser une zone de turbulence pendant cinq à dix minutes. Peu de temps après et pendant environ 30 s, l'avion entre dans une zone de turbulence. L'accélération normale (verticale) varie entre 0.43 G et 1.71 G avec un différentiel maximum de 0.93 G et l'accélération latérale varie entre -0.08 G et 0.09 G. La vitesse fluctue entre Mach 0.79 et Mach 0.88, la vitesse verticale augmente jusqu'à 1 400 ft/min avant de décroitre à – 1 250 ft/min. Le pilote automatique (AP) et l'auto-poussée (A/THR) restent engagés pendant cette période.

[1] Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en temps universel coordonné (UTC). Il convient d'y enlever 3 h pour obtenir l'heure locale le jour de l'événement.

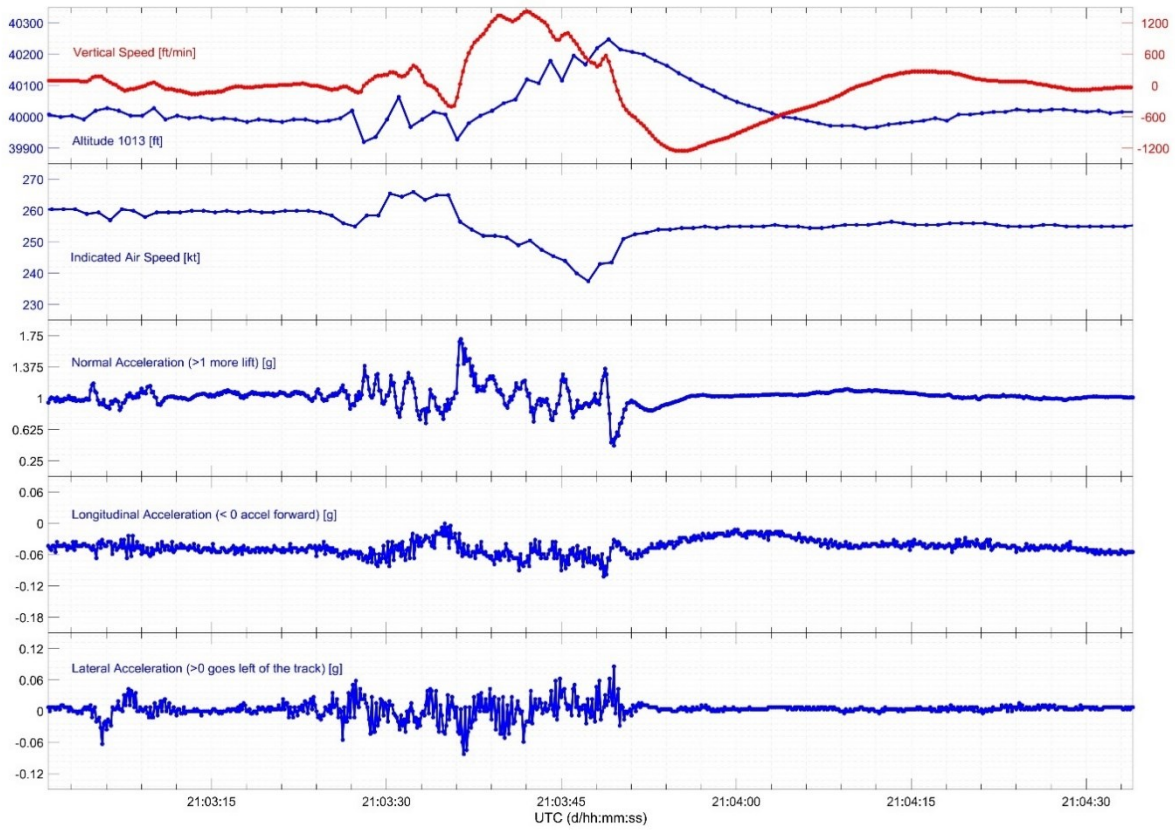

Figure 1 ***: paramètres de vol pour la 1ère zone de turbulence***

Une fois la turbulence passée, le CdB annonce « *PNC, opération normale* » et les PNC commencent à débarrasser les plateaux repas. La consigne lumineuse « ceintures attachées » reste activée pour les passagers. L'annonce « *PNC, début de descente* » est ensuite effectuée par le CdB.

Les pilotes ont indiqué dans leur témoignage que pendant la descente, ils ont évité visuellement des cellules, en longeant des masses et en volant entre deux couches nuageuses.

En arrivant près d'une nouvelle zone de turbulence, le CdB annonce de nouveau « *PNC, turbulences, assis et attachés* ».

À l'approche du niveau 100, le CdB et le Chef de cabine à l'arrière de l'avion échangent par interphones. Pensant que la zone de turbulence était passée, le CdB autorise les PNC à se lever pour finir la préparation de la cabine pour l'atterrissage. Le Chef de cabine transmet ces éléments aux PNC qui finissent de vérifier et sécuriser l'arrière de la cabine.

Peu de temps après, vers 21 h 25 et à une altitude d'environ 7 000 ft, l'avion rencontre une brève zone de turbulence pendant quelques secondes. D'après les pilotes, la visibilité était bonne, il ne faisait pas encore nuit, l'avion était en dehors de la couche nuageuse et n'était pas sur le bord d'une cellule.

L'accélération verticale varie entre 0.42 G et 1.82 G avec un différentiel maximum de 0.95 G et l'accélération latérale varie entre -0.14 G et 0.12 G avec un différentiel maximum de 0.26 G. La vitesse conventionnelle (CAS) fluctue entre 245 kt et 256 kt, la vitesse verticale augmente de – 1 100 ft/min à 430 ft/min avant de revenir à – 1 100 ft/min. L'AP et l'A/THR restent engagés pendant la turbulence.

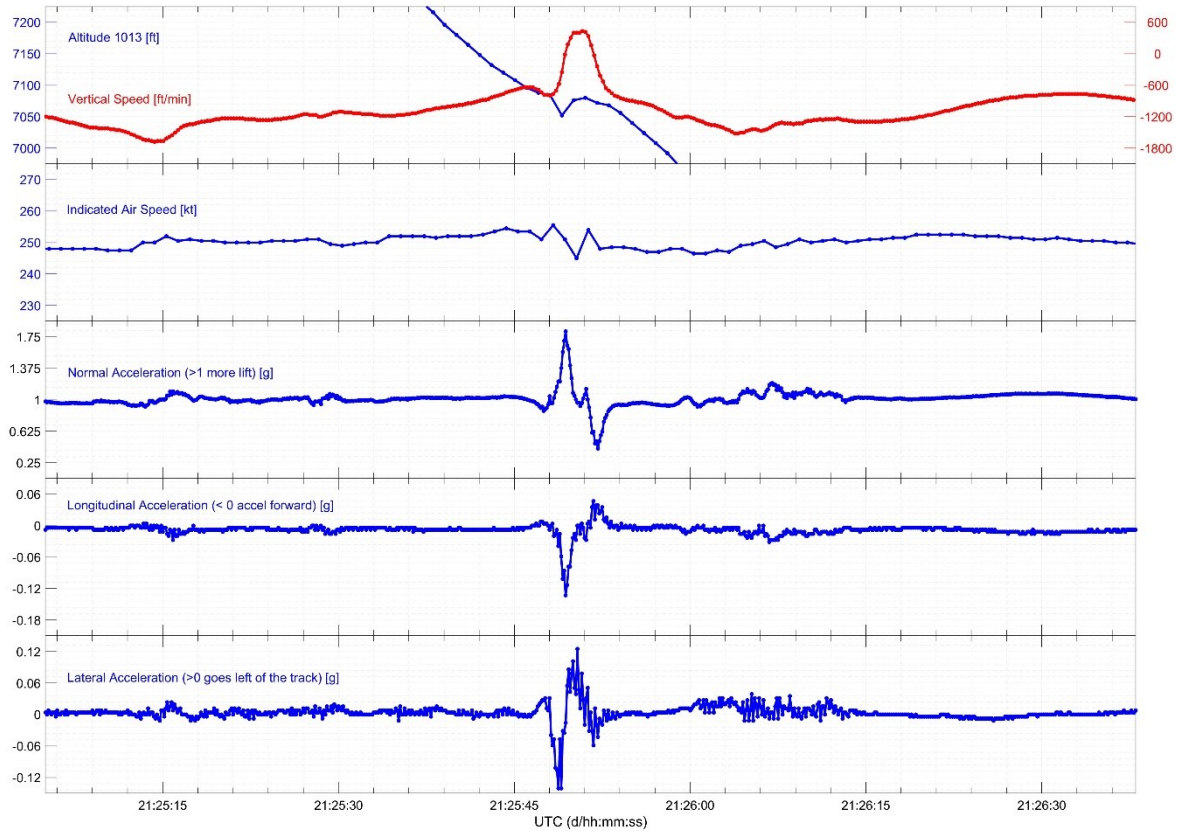

Figure 2 ***: paramètres de vol pour la 2ème zone de turbulence***

Le Chef de cabine et les PNC à l'arrière de l'avion ressentent une forte et brève secousse et chutent. Le Chef de cabine se blesse à la cheville et deux PNC se blessent respectivement au dos et à la tête. Le Chef de cabine se fait remplacer par un autre PNC pour la fin de l'approche. L'assistance médicale est demandée à l'arrivée de l'avion.

L'atterrissage est ensuite effectué sans autre incident.

Après l'atterrissage, le Service de Sauvetage et de Lutte contre l'Incendie des Aéronefs sur les aérodromes (SSLIA) intervient et examine les blessés. Les pompiers statuent que les deux PNC n'ont pas besoin d'examen complémentaire, mais que le Chef de cabine doit se rendre à l'hôpital par ses propres moyens, où il lui est finalement diagnostiqué une double fracture de la cheville[2].

2 RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES

2.1 Renseignements sur l'équipage

Le commandant de bord est titulaire d'une licence de pilote de ligne avion ATPL(A) et des qualifications FI, TRI et TRE. Le jour de l'événement, il totalisait environ 10 000 heures de vol.

[2] D'après le règlement (UE) n°996/2010 sur les enquêtes et la prévention des accidents et des incidents dans l'aviation civile, la fracture d'un os (exception faite des fractures simples des doigts, des orteils ou du nez) fait partie de la définition des blessures graves, classant l'événement en accident pour lequel une enquête du BEA est obligatoire sur les aéronefs certifiés de plus de 2 250 kg (Version en vigueur le jour de l'accident).

Le copilote est titulaire d'une licence de pilote de ligne avion ATPL(A). Le jour de l'événement, il totalisait plus de 5 000 heures de vol.

Concernant l'analyse de la situation météorologique en fin de croisière et en descente, le CdB et le copilote précisent :

- qu'ils ont constaté des différences entre les informations du radar météorologique de l'avion (voir § 2.3) et ce qu'ils pouvaient observer à l'extérieur. Des zones apparaissant comme actives à l'écran n'étaient pas visibles à l'extérieur et des cellules convectives visibles du poste de pilotage n'étaient pas présentes à l'écran[3] ;
- que l'application météorologique disponible sur leur EFB (voir § 2.4) faisait apparaître des zones convectives sur la trajectoire, en mode « prévision » mais pas en mode « observation » ;
- qu'aucun compte rendu météorologique de pilote (PIREP) n'attirait leur attention quant au risque de turbulences.

2.2 Renseignements météorologiques

Lors de la préparation des vols et du briefing[4], il a été noté par l'équipage la prévision d'orages, de Cumulus bourgeonnant (TCu) et de Cumulonimbus (Cb) à l'arrivée à Cayenne.
Plusieurs SIGMET étaient actifs vers Cayenne pour du givrage sévère et des orages.

Lors du briefing arrivée[5], l'équipage a indiqué avoir identifié et mentionné la présence de zones convectives et de turbulences.

Le CdB a indiqué dans son témoignage que lors de la rencontre de la seconde zone de turbulence, l'avion volait entre deux couches nuageuses. Il ajoute qu'ils n'étaient pas au bord d'une cellule et qu'ils étaient justement en évitement de cellules actives.

Météo-France indique « *qu'en fin de journée, la situation météorologique était une situation classique de temps humide et instable pour cette saison sur le département de la Guyane, qui se traduit par une évolution diurne marquée sur la partie continentale, et également par des advections instables sur le proche océan.*

L'heure et la position précises de l'appareil qui ont été fournies permet de localiser l'avion en bordure d'une ligne d'averses [voir point ❷ ci-dessous]*, à l'endroit où la convection est la plus forte, d'après les images de radar de précipitations. Ces limites nuageuses, en aval de la ligne de déplacement des nuages convectifs, peuvent être le siège de mouvements verticaux importants, de forte turbulence et de cisaillement de vent.* »

[3] Les deux radars météorologiques étaient réglés en auto-tilt, le CdB avait sélectionné un gain de 100 % et le copilote un gain automatique. Chacun d'eux faisait varier la portée du radar.
[4] Nom communément donné à la réunion préparatoire.
[5] Nom communément donné à la réunion bilan.

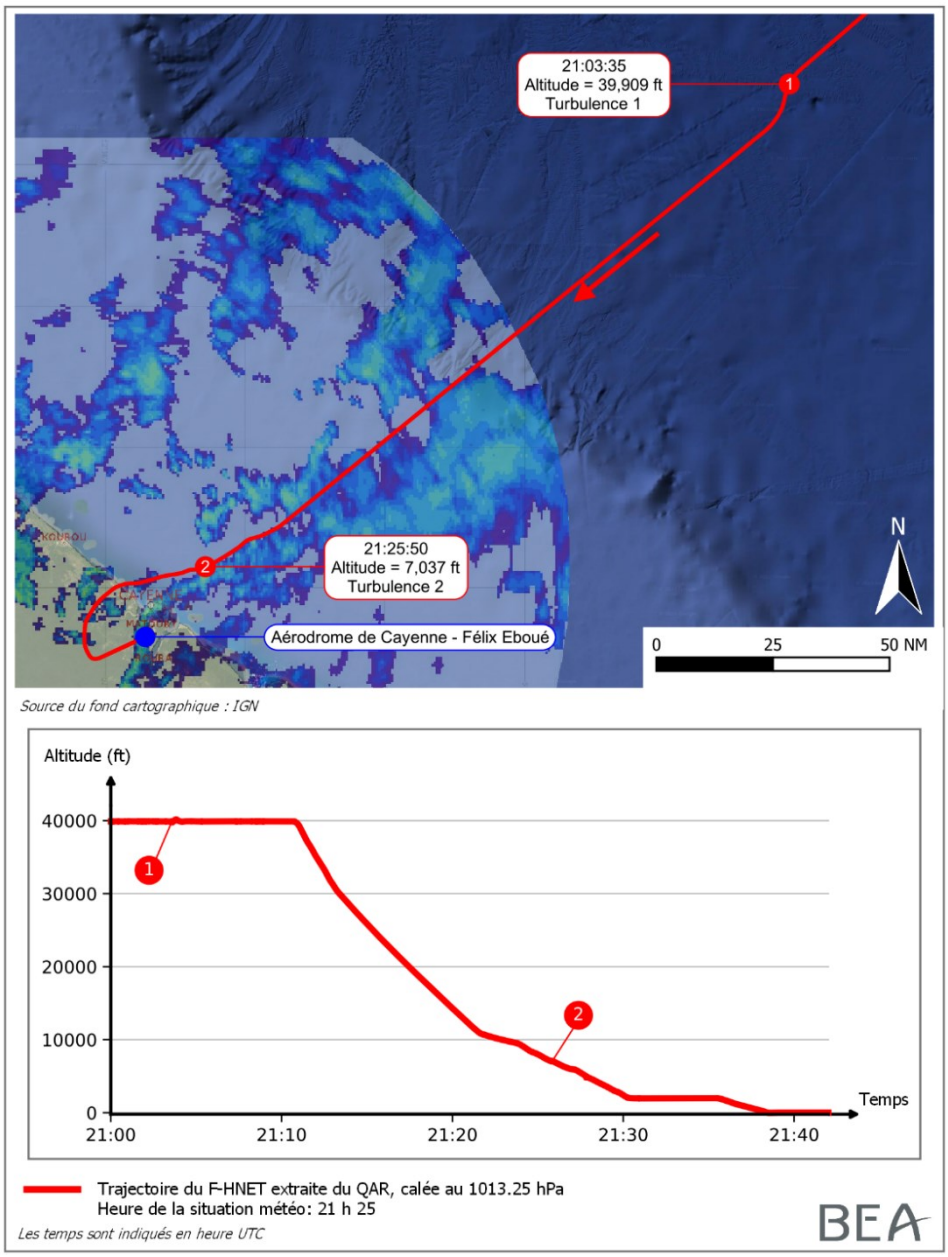

Figure 3 ***: fin de la trajectoire de vol du F-HNET***

2.3 Radar météorologique et détection des turbulences

L'Airbus A350 est équipé du radar météorologique embarqué d'Honeywell modèle RDR-4000 qui fait partie de la nouvelle génération des radars météorologiques.

Lorsqu'il est activé en mode automatique, le radar prend en compte une enveloppe de trajectoire verticale (nominalement +/- 4 000 ft) le long de la trajectoire verticale de l'avion en fonction de l'angle de la trajectoire de vol. Il définit ensuite si l'écho météorologique est à l'intérieur de cette enveloppe (pertinent 'ON PATH') ou non (secondaire 'OFF PATH') en fonction du profil de vol.

Le radar peut également être utilisé en mode manuel (mode élévation) comme outil d'analyse des conditions météorologiques aux altitudes sélectionnées par l'utilisateur et ainsi, évaluer l'expansion verticale et la structure des nuages convectifs.

Dans le Manuel de techniques opérationnelles (FCTM), Airbus recommande d'éviter les cellules convectives plutôt en latéral qu'en vertical, plutôt au vent que sous le vent, si possible en évitant la « zone de plus grande menace[6] » d'au moins 20 NM, si une telle zone a été identifiée.

Il est à noter que le radar météorologique des avions est basé sur la réflectivité de l'eau sous forme liquide et ne peut être comparé aux observations visuelles. Des Cb ou TCu peuvent ainsi être visibles alors que la concentration en eau ne permet pas une détection au radar. De plus, les cristaux de glace parfois présents dans les Cb ont une faible réflectivité et peuvent ne pas être identifiés non plus.

Concernant les turbulences, celles en ciel clair ne sont pas identifiables au radar météorologique puisqu'elles ne contiennent pas de gouttes d'eau. Les convections présentes dans la couche nuageuse peuvent ne pas être facilement détectées par les radars météorologiques embarqués, même de dernière génération. De plus, elles peuvent ne pas être visuellement détectables à l'extérieur de l'avion. Cette catégorie d'activité convective peut ainsi agir comme une source cachée de turbulences à l'intérieur d'une masse nuageuse d'apparence inoffensive.

2.4 Informations météorologiques complémentaires mises à disposition de l'équipage au cours du vol

L'exploitant met à disposition de ses pilotes, au travers de leur EFB, l'application eWAS. Cette application fournit des prévisions et/ou des observations météorologiques provenant de différentes sources sous la forme d'une carte interactive avec une représentation dans le plan vertical et dans le plan horizontal.

Sur les Airbus A350 de l'exploitant, ces informations sont mises à jour en temps réel par SATCOM.

La société commercialisant l'application eWAS a été contactée mais l'enquête n'a pas permis de déterminer l'ensemble des informations qui étaient susceptibles d'être présentées à l'équipage au travers de cette application dans les minutes qui ont précédé l'accident.

2.5 Événements similaires

Les accidents aériens liés ou provoqués par des turbulences font régulièrement l'objet d'études ciblées de la part des autorités d'enquête. On peut notamment citer : l'étude du BEA de 2008, celle de l'organisme d'enquête de sécurité du Japon (JTSB) de 2015 ou encore plus récemment celle de l'organisme d'enquête de sécurité des États-Unis (NTSB), sur une analyse de cas entre 2009 et 2018.

Il en ressort notamment que :
- les accidents liés aux turbulences correspondent à plus du tiers des accidents ;
- la grande majorité de ces accidents ont pour conséquences une ou plusieurs blessures graves, mais pas de dommage avion ;
- plus de la moitié de ces accidents surviennent pendant la descente ou l'approche ;
- la majorité des blessés se trouvent dans la partie arrière de l'avion ;
- les personnels navigants commerciaux sont les plus exposés aux blessures ;
- le fait d'avoir sa ceinture attachée est le moyen le plus efficace d'éviter des blessures en lien avec les turbulences.

[6] *Area of greatest threat.*

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

Au cours du vol et notamment des minutes précédant l'accident, les pilotes avaient bien identifié le risque de turbulence et avaient appliqué les procédures adéquates en demandant à tous les occupants, personnels navigants commerciaux inclus, de rester attachés ce qui a permis d'éviter d'éventuelles blessures. Les premières zones de turbulences ont ainsi été traversées sans incident.

Passant le niveau 100, étant en dehors des nuages et pensant que les turbulences étaient passées, le commandant de bord a autorisé les personnels navigants commerciaux (PNC) à l'arrière de l'avion à finir la préparation de la cabine en vue de l'atterrissage.

Quelques minutes plus tard, une turbulence brève et soudaine a provoqué des accélérations déséquilibrant le Chef de cabine, en le blessant gravement, et deux PNC. Cette zone de turbulence a probablement été engendrée par une cellule convective située à proximité, cellule que l'équipage n'a pas pu détecter ou dont il a pu sous-estimer la distance ou l'étendue de la zone d'influence.

Enseignements de sécurité

Airbus a publié des guides à destination des pilotes, à la fois sur les turbulences et sur l'utilisation optimale du radar météorologique.

Le 25 juillet 2021, en croisière sur les Alpes italiennes à destination de Nice, un Boeing 737 de Norwegian Air Sweden, immatriculé SE-RPE, a subi des turbulences en croisière qui ont occasionné la blessure grave d'un PNC et nécessité un atterrissage d'urgence à destination. Le BEA a publié son rapport d'enquête dans lequel il émet deux recommandations de sécurité portant sur la présentation d'informations météorologiques sur les écrans du contrôle aérien et sur l'amélioration des informations météorologiques fournies à bord.

Glossaire

Acronymes	Version Anglaise	Version Française
A/THR	Auto thrust	Auto-poussée
AP	Automatic Pilot	Pilote automatique
ATPL	Airlines Transport Pilot Licence	Licence de Pilote de ligne
CAS	Computed Air Speed	Vitesse conventionnelle
Cb	Cumulonimbus	Cumulonimbus
CdB		Commandant de bord
CVR	Cockpit Voice recorder	Enregistreur phonique
EFB	Electronic Flight Bag	Système de documentation électronique
FCTM	Flight Crew Techniques Manual	Manuel de techniques opérationnelles
FI	Flight Instructor	Instructeur de vol
JTSB	Japan Transport Safety Board	Organisme d'enquête de sécurité du Japon
NM	Nautical Mile	Mille marin
NTSB	National Transportation Safety Board	Organisme d'enquête de sécurité des États-Unis
PF	Pilot Flying	Pilote aux commandes
PNC		Personnel navigant commercial
PM	Pilot Monitoring	
PIREP	Pilot REPort	Compte rendu météorologique de pilote
SIGMET	Significant METeorological Phenomena	Messages de phénomènes météorologiques en route spécifiés
SSLIA	Rescue Fire Fighting Service (RFFS)	Service de sauvetage et de lutte contre l'incendie des aéronefs sur les aérodromes
TCu	Tower Cumulus	Cumulus bourgeonnant
TRE	Type Rating Examiner	Examinateur de qualification de type
TRI	Type Rating Instructor	Instructeur de qualification de type
UTC	Universal Time Coordinated	Temps universel coordonné

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.