



**Accident** de l'avion BOEING - 737 - 800 - 8JP  
immatriculé **SE-RPE**  
survenu le 25 juillet 2021  
En croisière à destination de Nice

<b>Heure</b>	à 18 h 36 <sup>1</sup>
<b>Exploitant</b>	Norwegian Air Sweden
<b>Nature du vol</b>	Transport commercial de passagers
<b>Personnes à bord</b>	Commandant de bord (PF <sup>2</sup> ), Copilote (PM <sup>3</sup> ), 4 Personnels navigants commerciaux (PNC), 180 passagers
<b>Conséquences et dommages</b>	Un PNC gravement blessé, un PNC blessé

Erratum : Deux modifications ont été apportées au rapport (§§ 2.1.2 et 2.3). La présente version, texte officiel de référence, annule et remplace la précédente (Novembre 2022).

**Turbulences en croisière, blessure grave d'un membre  
d'équipage de cabine, atterrissage d'urgence à destination**

Note : un glossaire est disponible en annexe du rapport.

## 1 DÉROULEMENT DU VOL

*Note : les informations suivantes sont principalement issues des enregistreurs de vol phonique (CVR) et de paramètres (FDR), des témoignages, des enregistrements des radiocommunications ainsi que des données radar de Météo-France.*

Le 25 juillet 2021, le Boeing 737-800, immatriculé SE-RPE, décolle de l'aéroport de Copenhague-Kastrup (Danemark) pour effectuer le vol NAX 3646, en transport commercial de passagers, à destination de l'aéroport de Nice-Côte d'Azur.

À 18 h 14 min 47, l'équipage contacte le centre en route de la navigation aérienne de Milan (ACC Milan) et s'annonce au cap 195° en cours d'évitement de cellules orageuses (voir Figure 1, point ①). L'avion est alors au niveau de vol 370 (FL 370).

Le contrôleur de l'ACC Milan demande à l'équipage de rappeler dès qu'il peut faire route vers le point BORDI.

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

<sup>2</sup> Pilot Flying.

<sup>3</sup> Pilot Monitoring.

L'équipage répond qu'il rappellera, mais qu'il a des cumulonimbus (CB) devant lui sur une distance de 80 NM. Le contrôleur lui demande de rappeler quand ce sera possible.

À 18 h 16, l'équipage demande l'autorisation de prendre 20 degrés à droite pour évitement (voir Figure 1, point ①). La demande est acceptée par le contrôleur.

Environ cinq minutes plus tard, le vol est transféré vers un autre secteur de contrôle de l'ACC Milan. À cet instant, l'équipage discute de cellules orageuses importantes situées sur sa gauche.

Au premier contact avec le nouveau secteur à 18 h 21 min 32 (peu avant le point ②), l'équipage informe le contrôleur qu'il est au cap 215 en évitement. Le contrôleur lui demande de rappeler quand il sera prêt à prendre une route à gauche vers BORDI (voir Figure 1). L'équipage répond qu'il pourra le faire dans environ 40 NM.

À 18 h 24 min 33, le contrôleur demande à l'équipage s'il est prêt à descendre. Celui-ci répond par l'affirmative et est transféré sur un autre secteur de contrôle de l'ACC Milan. Au premier contact à 18 h 24 min 55, l'équipage annonce qu'il est au FL 370, au cap 215°, en évitement. Il est autorisé à descendre au FL 340. L'équipage collationne puis indique qu'il peut virer à gauche sur BORDI. Le contrôleur autorise ce virage à 18 h 25 min 19 (voir Figure 1, point ③) puis le vol est transféré vers un autre secteur de Milan ACC.

Au premier contact avec ce secteur à 18 h 26 min 09, l'équipage est autorisé à descendre au FL 310 puis au FL 270 et enfin au FL 170 avec une demande du contrôleur d'atteindre ce niveau avant BORDI (voir Figure 1, point ④).

Entre 18 h 31 min 48 et 18 h 33 min 33, l'équipage discute de la stratégie d'évitement à adopter vis-à-vis de la masse nuageuse située devant eux et sur la valeur de la déviation de route à demander au contrôle de la circulation aérienne (ATC).

À 18h 33 min 34, l'équipage demande à l'ACC Milan s'il peut prendre 20° à droite pour évitement (voir Figure 1, point ⑤). Le contrôleur l'y autorise et lui demande de stopper la descente au FL 210.

À 18 h 34 min 21, le contrôleur demande à l'équipage sur quelle distance il souhaite garder ce cap<sup>4</sup> (voir Figure 2, point ⑥)<sup>5</sup>. L'équipage répond qu'il lui faut encore 10 NM.

À 18 h 35 min 37, le commandant de bord (CDB) aperçoit un nouveau développement orageux et l'indique au copilote. Ce dernier lui demande s'il doit informer le contrôle qu'ils peuvent faire route vers le point BORDI. Le CDB ne répond pas à la question et fait part au copilote de la présence d'éclairs.

À 18 h 35 min 58, l'équipage indique au contrôleur qu'il peut faire route vers le point BORDI (voir Figure 2, point ⑦). Le contrôleur l'y autorise et lui demande de descendre au FL 170 afin d'être à ce niveau au point BORDI. L'équipage collationne.

---

<sup>4</sup> Les situations météorologiques ne sont pas visualisées sur les écrans des contrôleurs.

<sup>5</sup> L'écoute du CVR indique que de nombreux vols sont en évitement de zones orageuses sur toute cette région.

À 18 h 36 min 23, le CDB fait part au copilote de l'apparition d'une nouvelle cellule orageuse et indique « this one will make a bang ». Il précise au copilote qu'il a sélectionné la consigne lumineuse *attachez votre ceinture* (« *I have turned on the sign* ») puis l'équipage évoque des éclairs qu'ils aperçoivent à proximité.

La vitesse indiquée diminue de 250 kt<sup>6</sup> à 228 kt en 14 secondes, vitesse qui sera atteinte à 18 h 36 min 37. Elle remonte ensuite pour atteindre 272 kt 13 secondes plus tard.

Pendant ce temps, le PF annonce « *engine anti-ice on* ». Une seconde plus tard, un changement du bruit ambiant survient (voir Figure 2, point 8), similaire à de fortes précipitations s'abattant sur les pare-brises du poste de pilotage.

À 18 h 36 min 46 (voir Figure 2, point 9) l'accélération verticale enregistrée<sup>7</sup> atteint + 1,79 g, descend à 0,38 g dans la seconde suivante et remonte à + 1,52 g dans les deux secondes qui suivent.

À 18 h 36 min 50, l'angle de roulis atteint un maximum de 35,5°. L'annonce vocale synthétique « BANK ANGLE » se déclenche. Le PF déconnecte le pilote automatique (voir Figure 2, point 10). L'accélération verticale diminue à 0,27 g puis dans les 2 secondes suivantes remonte à 1,67 g. Durant cette phase de deux secondes, la vitesse diminue de 272 kt à 250 kt.

À 18 h 36 min 53, le bruit sur les pare-brises s'interrompt. Le CDB dit au copilote qu'ils en sont maintenant sortis (« *and now we are out* »).

À 18 h 36 min 59, les turbulences cessent (voir Figure 2, point 11)

À 18 h 37 min 18, le contrôleur demande à l'équipage de contacter l'approche de Nice (voir Figure 1, point 12).

À 18 h 37 min 29, des échanges ont lieu entre la cheffe de cabine située à l'avant de la cabine et les PNC situés à l'arrière. Ces échanges mentionnent deux PNC blessés.

Quelques secondes plus tard, la cheffe de cabine confirme au CDB qu'un PNC à l'arrière souffre d'une fracture à la jambe. Le CDB accuse réception.

L'équipage contacte le contrôleur d'approche de Nice passant le FL 208, en descente vers le FL 170 puis demande une arrivée RNP Z04 gauche.

À 18 h 38 min 28, l'équipage s'informe de la situation auprès de la cheffe de cabine et convient de la nécessité de la présence d'une ambulance à l'arrivée à Nice.

Par la suite, une discussion a lieu au sein de l'équipage de conduite concernant la survenue de l'événement. L'équipage convient que la situation météorologique était complexe, semblant peu alarmante d'un point de vue radar, mais assez difficile à anticiper en termes de choix de changement de route.

---

<sup>6</sup> Vitesse sélectionnée par le PF plusieurs minutes auparavant en prévision de possibles turbulences à venir.

<sup>7</sup> L'échantillonnage de l'enregistrement ne permet pas de déterminer les valeurs extrêmes atteintes.

Lors de l'approche, l'équipage annonce au contrôleur qu'un PNC a vraisemblablement une jambe cassée et qu'il souhaite une ambulance à l'arrivée. Le contrôleur accuse réception et poursuit le guidage du vol en annonçant qu'il lui accorde la priorité.

L'avion atterrit sans autre événement particulier à 18h 57 min 51.

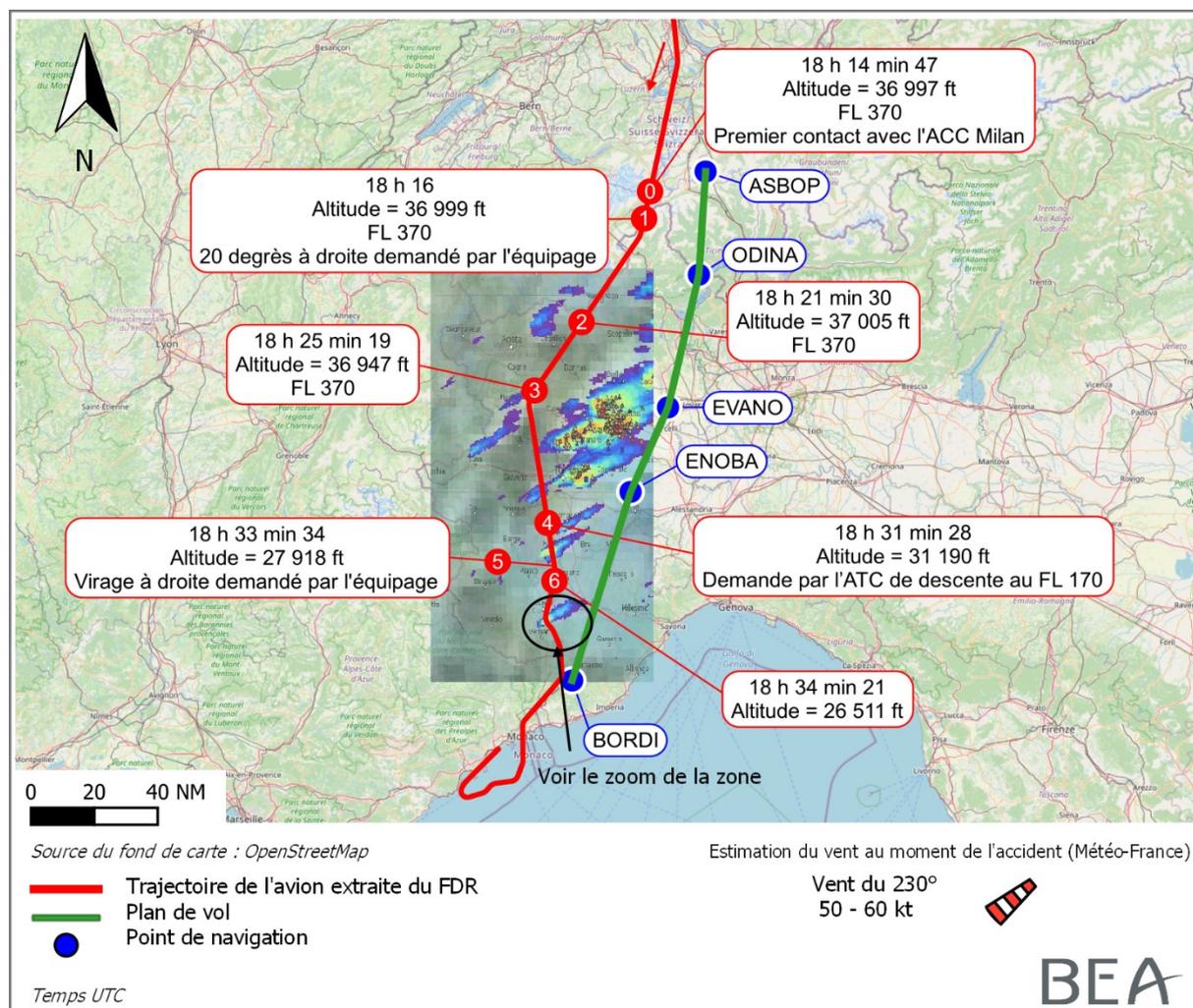


Figure 1 : trajectoire de l'avion superposée sur l'image radar de 18 h 40<sup>8</sup> de Météo-France

<sup>8</sup> Une couche de cirrus (voir § 2.2) n'a pas permis d'utiliser les images satellites de manière pertinente. Les images radar issues du radar sol italien de Turin ont été utilisées. Ce radar fait partie du réseau de radars européens OPERA. Le signal émis par le radar est réfléchi (rétrodiffusé) par les hydrométéores liquides ou solides. Le signal reçu est ensuite traité afin de pouvoir le visualiser sous forme d'images de réflectivité. Les images radar sont enregistrées toutes les dix minutes.

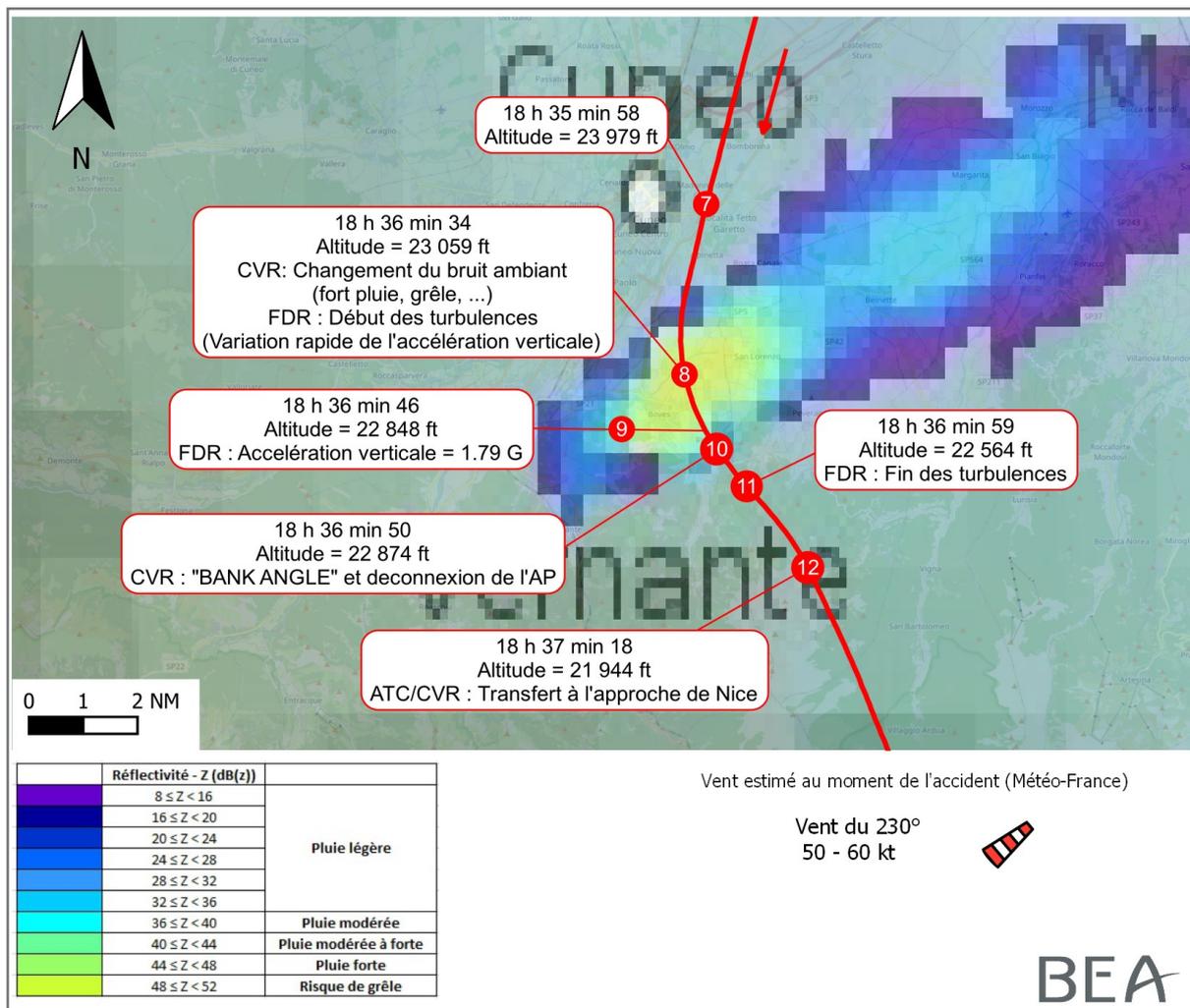


Figure 2 : zoom sur la trajectoire au moment de l'accident.

## 2 RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES

### 2.1 Témoignages

#### 2.1.1 Témoignage de l'équipage de conduite

Le CDB indique qu'au-dessus des Alpes italo-suisse, il a observé une ligne de grains sur le radar météorologique de bord. Il a demandé au contrôleur l'autorisation de dévier vers l'ouest afin d'éviter cette zone. Après avoir contourné à vue le dernier CB détecté au radar, il a été autorisé à reprendre sa route vers le point BORDI et à descendre.

L'équipage a ensuite informé les passagers de possibles turbulences en approche et a averti l'équipage de cabine qu'ils étaient à vingt minutes de l'atterrissage.

La descente s'est déroulée normalement jusqu'à ce que qu'un nouvel écho radar apparaisse. La zone était verte avec le centre de couleur jaune et la décision d'évitement fut à nouveau prise. Le copilote précise qu'à aucun moment la couleur rouge n'était apparue. Une fois cette zone dépassée, l'équipage a demandé de nouveau au contrôleur l'autorisation de faire route vers le point BORDI. Il a alors vu des développements orageux noyés dans la masse, juste derrière la cellule qu'il venait de contourner. Il s'est rendu compte qu'il était trop tard pour les éviter et a demandé aux passagers d'attacher leur ceinture par la consigne lumineuse et sonore dédiée SEAT BELT SIGN.

S'attendant à quelques turbulences, l'équipage a conservé la vitesse de 250 kt. Environ trente secondes plus tard, il a noté que la vitesse avait chuté à 230 kt avec dans le même temps des variations d'assiette et de la grêle sur le cockpit. Un mouvement violent de roulis de plus de 30 degrés a déclenché l'annonce vocale synthétique « BANK ANGLE » et le CDB a choisi de déconnecter le pilote automatique (AP) et l'auto-manette (A/THR). Une dernière secousse s'est produite puis l'avion est sorti du nuage et le temps s'est éclairci. La turbulence perçue dans le poste de pilotage n'a pas été aussi violente qu'attendue ; toutefois les mouvements en assiette associés à des mouvements de roulis ont motivé l'équipage à s'informer de la situation auprès des membres d'équipage de cabine. Le copilote précise qu'il y avait eu, de manière inhabituelle, davantage de turbulences horizontales que verticales.

Le CDB estime que la traversée de la cellule nuageuse a duré moins de dix secondes. La cheffe de cabine a annoncé qu'un PNC souffrait vraisemblablement d'une fracture à la jambe.

Après avoir été transféré à l'approche de Nice, l'équipage a demandé une ambulance et la priorité à l'atterrissage. Celui-ci a eu lieu dix minutes plus tard. Le PNC blessé est resté allongé à l'arrière. Il a été demandé aux passagers de rester assis jusqu'à ce que le personnel médical puisse monter à bord, les passagers ont ensuite débarqué et les deux PNC de l'arrière de l'avion ont été conduits à l'hôpital.

### 2.1.2 Témoignage de l'équipage de cabine

La PNC 3, en poste à l'arrière de l'avion avec le PNC 2, indique que lors de l'apparition de la consigne lumineuse *attachez votre ceinture*, le PNC 2 allait commencer à ramasser les derniers déchets avant l'atterrissage. La consigne lumineuse et sonore *attachez votre ceinture* les a alertés de la survenue imminente de turbulences.

Le PNC 2 indique qu'il vérifiait que tout le matériel était sécurisé lorsqu'une première secousse l'a incité à s'asseoir rapidement. Avant même qu'il puisse mettre en sécurité le chariot, une turbulence forte l'a projeté de part et d'autre de la cabine arrière. Il a quitté le sol et est retombé lourdement. Son pied droit s'est coincé sous un logement de toboggan puis une deuxième turbulence l'a projeté vers le haut. Il a alors entendu un craquement au niveau de la cheville et s'est douté qu'il venait de se fracturer la jambe. Il indique que tout cela s'est passé très vite, entre cinq et dix secondes.

La PNC 3 a également été blessée à la cheville mais a pu lui porter assistance en demandant également de l'aide aux autres PNC. Elle a pu assister le PNC 2, resté au sol, jusqu'à l'atterrissage. L'évacuation par les pompiers de Nice a été effectuée par l'arrière de l'avion, sur civière. Les PNC 2 et PNC 3 ont été transportés à l'hôpital.

Les examens ont fait état de deux fractures et d'une luxation de la cheville pour le PNC 2 et d'un hématome à la cheville pour la PNC 3.

## 2.2 Conditions météorologiques

### 2.2.1 Situation générale sur le nord de l'Italie entre 18 h et 19 h selon Météo-France.

La masse d'air était instable à moyenne altitude, avec la formation de nuages convectifs de type cumulus congestus (TCU) et CB isolés. Ces nuages s'étendaient à haute altitude jusqu'au sommet de la couche de cirrus vers le FL 380.

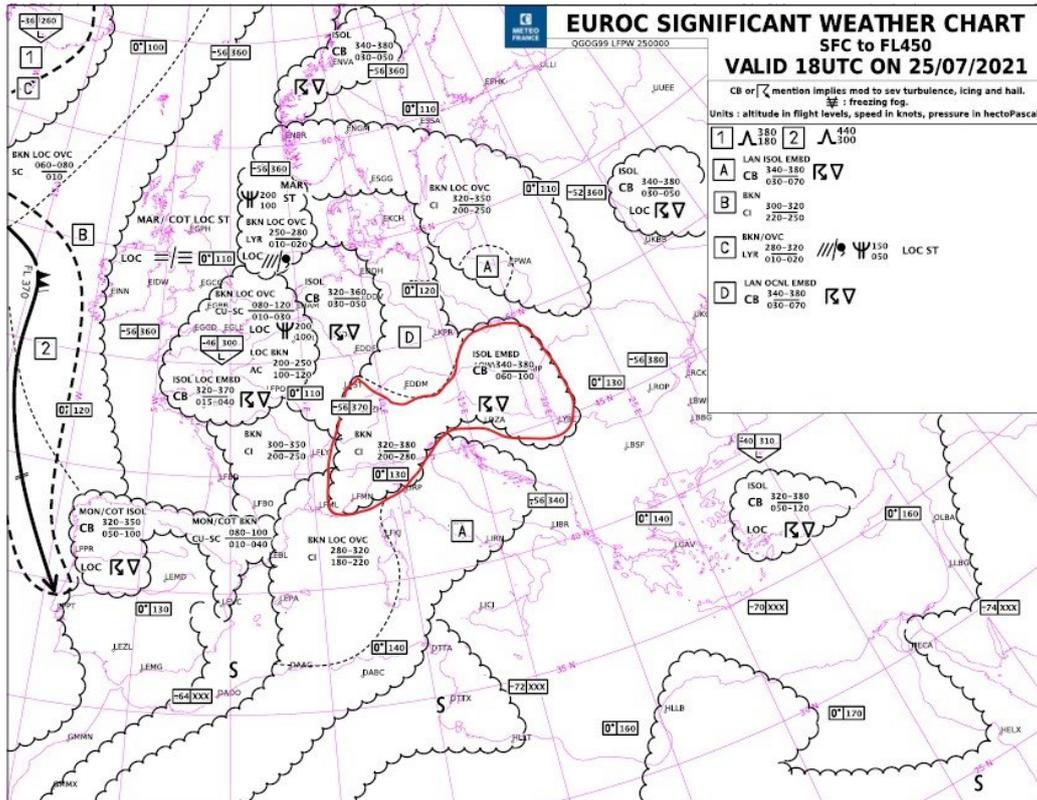


Figure 3 : carte TEMSI valide à 18 h (source : Météo-France)

La zone entourée en rouge sur la carte TEMSI, comprend le lieu de l'accident, et indique :

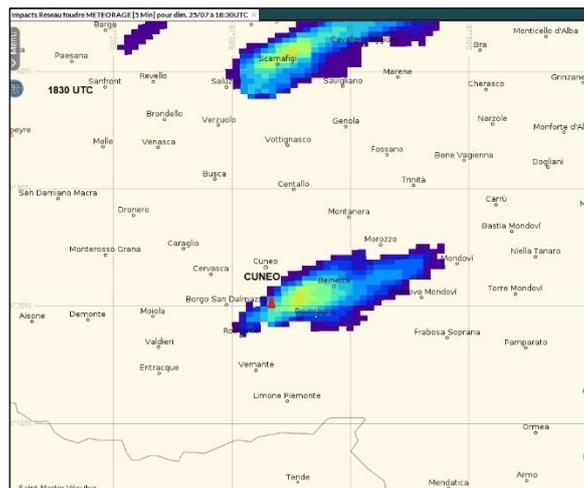
- des CB isolés, base FL 060 – FL 100, sommet FL 340 – FL 380 ;
- un ciel voilé par des cirrus de base FL 200 - FL 280, sommet FL 320 - FL 380 ;
- une isotherme 0 °C au FL 130

### 2.2.2 Situation estimée par Météo-France, d'après les images radar, sur et à proximité du lieu de l'accident entre 18 h 20 et 18 h 40

Un nuage convectif isolé s'est formé entre 18 h 15 et 18 h 20 à moins de 10 km au sud de Cuneo (Italie), à proximité du point indiqué comme lieu de l'événement. Ce nuage convectif quasi stationnaire a rapidement pris de l'ampleur entre 18 h 20 et 18 h 40, générant de fortes averses sans orage, ce qui ne permet pas de conclure entre un TCU à forte extension verticale ou un CB ; il s'est dissipé tout aussi rapidement entre 18 h 50 et 19 h.

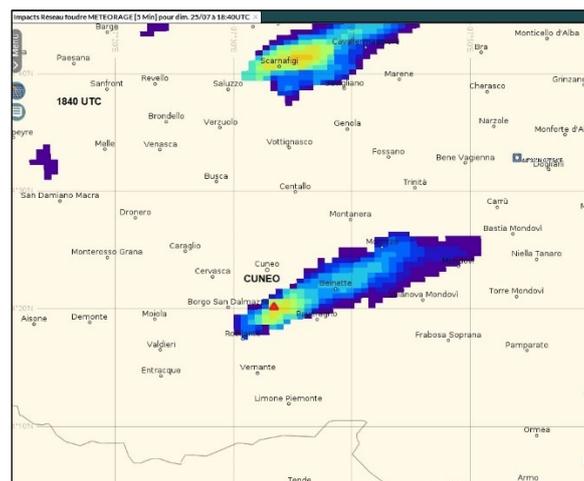
Les forts courants ascendants lors de la phase de formation de nuages convectifs de type TCU ou CB sont source de turbulences localement fortes.

Le fort vent du sud-ouest combiné à ces ascendances convectives a pu générer des cisaillements de vent, source de turbulences fortes et soudaines.



**Figure 4 : situation à 18 h 30 (Source : Météo-France)**

Le triangle rouge indique la position de l'accident - Carrés de 40 km de côté



**Figure 5 : situation à 18 h 40 (Source : Météo-France)**

Le triangle rouge indique la position de l'accident - Carrés de 40 km de côté

La zone de forte convection s'est légèrement déplacée vers l'ouest, en contre-flux par rapport au vent de sud-ouest et se trouvait juste au-dessous du lieu de l'accident. Les averses y étaient modérées à fortes. Aucun impact de foudre n'y a été détecté, mais cette situation est généralement source de cisaillements de vent et de turbulences fortes.

### 2.2.3 Messages aéronautiques SIGMET de la FIR Milan

Les messages SIGMET de la FIR Milan concernaient une zone orageuse étendue sur une partie de l'Italie au nord du 45<sup>ème</sup> parallèle. Le lieu de l'accident, un peu plus sud, n'y était pas inclus :

- L IMM SIGMET 5 VALID 251630/251830 LIIP- L IMM MILANO FIR EMBD TS OBS WI N4628 E00822 - N4545 E00752 - N4529 E00840 - N4529 E00950 -N4652 E01034 - N4631 E00957 - N4631 E00913 - N4558 E00855 - N4628 E00822 TOP ABV FL390 STNR NC=
- L IMM SIGMET 6 VALID 251830/252030 LIIP- L IMM MILANO FIR EMBD TS OBS WI N4548 E00856 - N4601 E01010 - N4555 E01116 - N4509 E01100 -N4507E00831 - N4548 E00856 TOP ABV FL390 STNR NC=

### 2.3 Caractérisation de la turbulence

À partir de 18 h 36 min 34, les valeurs enregistrées des facteurs de charge présentent des variations importantes durant vingt-cinq secondes. Au cœur de cette phase, les variations du facteur de charge vertical ont atteint des amplitudes importantes pendant une période d'environ sept secondes<sup>9</sup>. Les facteurs de charge subis au niveau du siège PNC à l'arrière ont été estimés. Ils figurent dans le tableau suivant (les valeurs extrêmes atteintes ont pu être plus importantes) :

Heure	Facteur de charge vertical estimé (g)	Facteur de charge latéral estimé (g)	Angle de roulis (°)
18 h 36 min 46	1.79	0.15	- 29.7
18 h 36 min 47	0.38	- 0.13	- 29.2
18 h 36 min 48	1.19	- 0.04	- 25.1
18 h 36 min 49	1.52	0.04	- 33.2
18 h 36 min 50 (Annonce vocale « Bank angle »)	0.66	0	- 35.5
18 h 36 min 51	0.27	0.07	- 30.8
18 h 36 min 52	1.67	- 0.01	- 8.6

**Figure 6 : estimation des facteurs de charge et d'angle de roulis**

*note : l'AP est engagé lors de cette phase jusqu'à sa déconnexion par le PF au moment de l'annonce vocale « BANK ANGLE ».*

<sup>9</sup> Le FCOM du constructeur considère qu'une variation de l'accélération supérieure à 0,3 g est synonyme de turbulences fortes.

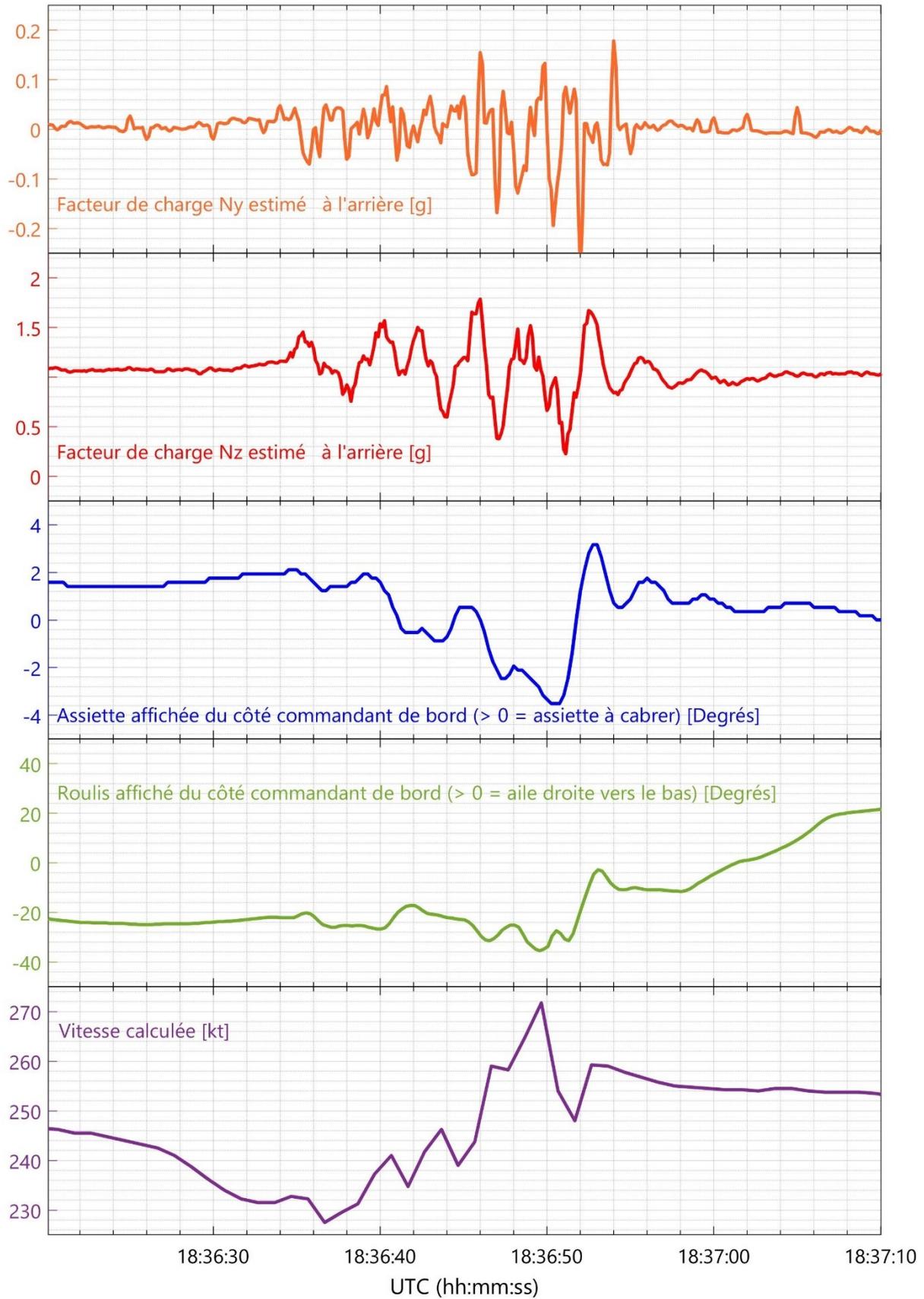


Figure 7 : courbes de paramètres enregistrés lors de la traversée de la zone de turbulences (Source : BEA)

## 2.4 Le radar météorologique de bord (WXR)

L'image radar obtenue est fonction de trois paramètres : le gain, le tilt (angle entre l'horizontale et le milieu du faisceau radar) et l'échelle sélectionnée par le pilote sur son écran de navigation (ND). L'ouverture du faisceau radar est de 3°.

Le radar météorologique est conçu pour détecter l'eau sous forme liquide (pluie ou grêle humide), en mesurant un taux de précipitation. Selon le taux détecté et le gain sélectionné, des échos de couleurs différentes sont présentés sur le ND. Le radar météorologique détecte peu l'eau sous forme solide, comme les cristaux de glace ou la neige sèche.

Le réglage du tilt détermine la zone traversée par le faisceau radar et par conséquent les échos qui sont détectés et affichés sur le ND. Le réglage du gain permet ensuite de s'adapter à la réflectivité des précipitations rencontrées. Il est à noter que les nuages se situant devant l'avion qui ne sont pas traversés par le faisceau ne sont pas visibles au radar.

Par ailleurs, la structure des CB requiert un ajustement du tilt et de l'échelle au fur et à mesure que l'avion se rapproche d'une cellule convective. En effet, la réflectivité des précipitations à l'intérieur d'un CB est fonction de la température. Les zones les plus réfléchissantes (précipitations liquides) se situent sous l'ISO 0 °C. La réflectivité y est élevée. Entre l'ISO 0 °C et l'ISO - 40 °C (appelé « radar top »), la réflectivité est moyenne et fonction du ratio eau liquide/cristaux de glace. Quand la température est inférieure à - 40 °C, la réflectivité est très faible (cristaux de glace).

Le radar peut fonctionner en mode manuel ou automatique. Il est possible de régler indépendamment le gain et le tilt. La pratique recommandée par la compagnie Norwegian Air Sweden est l'activation du mode « WX + T » (détection des couches nuageuses et des turbulences) en mode automatique. Le mode T consiste en une analyse du signal doppler de l'écho radar, afin d'estimer les mouvements des gouttes d'eau ou de particules de glaces détectées et leurs variations. Cela permet ainsi de repérer le phénomène de turbulence.

Il est à noter que le radar ne détecte pas les cellules cachées par d'autres et que de nouvelles cellules peuvent apparaître en fonction des changements de trajectoires de l'avion. Celles-ci peuvent par ailleurs être difficilement détectables en raison d'une quantité d'eau insuffisante.

Les réglages du radar météo ne sont pas enregistrés dans les paramètres FDR, il n'a donc pas été possible de déterminer sa configuration lors du vol.

## 2.5 Conditions de transfert entre l'ACC Milan et l'approche de Nice

Les conditions de transfert entre l'ACC Milan et l'approche de Nice sont régies par une lettre d'accord entre les deux organismes.

Cette lettre d'accord stipule notamment que, si le vol évolue dans les conditions prévues de route et de niveau (dans le cas présent, au maximum FL 170 au point BORDI), les échanges automatiques de données de plan de vol par l'organisme en charge du transfert suffisent à permettre le transfert tacite du vol, c'est-à-dire sans coordination préalable.

Il est précisé que lorsque l'ACC Milan ne peut pas assurer un transfert vers Nice sur la route prévue, en cas d'orages par exemple, une coordination verbale doit être effectuée.

## 2.6 Informations météorologiques à disposition des contrôleurs italiens

Les contrôleurs en route de l'ACC Milan ont deux écrans à leur disposition.

- Un écran est utilisé pour l'affichage des METAR de la FIR de Milan dans lesquels sont mentionnées les valeurs de QNH, nécessaires pour la gestion des niveaux de transition et altitudes de transition.
- L'autre écran est utilisé pour visualiser les limites des secteurs de contrôle ainsi que les fréquences des centres voisins ou les routes d'arrivée standard (STAR) en vigueur à cet instant.

Les messages SIGMET peuvent être visualisés sur l'un ou l'autre des deux écrans au détriment des informations précédemment affichées.

Les situations météorologiques ne sont pas visualisées sur les écrans des contrôleurs. Il n'existe actuellement pas de projet en la matière.

## 2.7 Mise à disposition à bord d'informations météorologiques

Au-delà des informations météorologiques fournies par les radars embarqués, certaines compagnies font remonter des images météorologiques sur les systèmes de documentation électronique (EFB). Le délai de traitement, et par conséquent de mise à disponibilité à bord de la situation météorologique, ne permet cependant pas d'afficher cette situation sur le ND.

En aviation générale, certains constructeurs ont fait le choix d'installer des équipements permettant de récupérer ces informations météorologiques et de les présenter sous la forme d'une image sur l'un des écrans principaux de l'avionique de bord.

On peut citer à titre d'exemple l'affichage des informations météorologiques sur l'écran multifonction (MFD) à bord d'avions de type TBM. Un lien entre l'avionique et un iPad permet de charger les informations météorologiques au sol puis de rafraîchir l'image au fur et à mesure au cours du vol, avec un délai de moins de quinze minutes. Ce système, combiné au radar météo, au radar de foudre et au système de prévision de la turbulence en nuages, améliore la conscience de la situation des équipages.

## 2.8 Statistiques sur les accidents liés à des turbulences convectives

Parmi les occurrences que le BEA enregistre dans sa base de données figurent celles pour lesquelles il conduit une enquête et celles qui lui sont notifiées par les organismes d'enquêtes étrangers au titre de l'État de conception, de construction, d'immatriculation ou d'exploitation, conformément aux dispositions de l'Annexe 13 de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI).

Ainsi au cours des dix dernières années (2012-2021), le BEA a enregistré 65 accidents<sup>10</sup> catégorisés « TURB : turbulence encounter » selon la taxonomie internationale, pour un total de 86 blessés graves. Ce nombre est soumis à la variabilité qui peut exister à travers le monde concernant l'appréciation du niveau des blessures et le système de notification en général.

---

<sup>10</sup> Accidents impliquant des avions de plus de 5,7 t ou exploités en transport commercial.

Pour 18 de ces accidents, le peu d'informations disponibles, notamment l'absence de rapport, ne permet pas de déterminer la nature des turbulences rencontrées (turbulences convectives, turbulences de sillage ou turbulences en ciel clair).

En revanche, parmi les 47 cas restants, 25 sont relatifs à des turbulences associées à un phénomène convectif.

- Lors de ces 25 accidents, 37 personnes ont été gravement blessées. Dans 80 % des cas, au moins un PNC est concerné par ces blessures.
- Dans 18 cas sur 25, le risque de turbulence n'avait pas été identifié par l'équipage (6 cas), ou l'a été tardivement (12 cas), avant la survenue de l'événement.

Il faut rester prudent sur les enseignements que l'on peut tirer à partir de ce faible dénombrement. Néanmoins, il est possible de noter que :

- ces accidents se sont produits majoritairement en descente et en approche (14 cas sur 25) ; une grande partie de ces accidents est survenue alors que le risque de turbulence était identifié, avec la consigne donnée aux PNC de rejoindre leur siège (10 cas sur 14). Les blessures sont survenues alors que les PNC effectuaient les ultimes actions et finalisaient le service en vue de l'atterrissage ;
- sept cas ont eu lieu en croisière. Les causes en sont variables (absence d'activation du radar météo, développement convectif rapide, turbulence détectée mais absence d'ordre vocal donné aux PNC, PNC tardant à regagner leur siège) ;
- les accidents ont été plus rares sur les trajectoires de départ et en montée, probablement parce que la consigne de maintien en place, notamment à destination des PNC, est plus facile à appliquer.

### 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 a contacté l'ACC Milan, soit vingt minutes avant l'événement, il était déjà en évitement de cellules orageuses. D'autres équipages étaient également en évitement de zones orageuses. Cette situation météorologique était prévue. Le dossier météorologique en comportait les éléments.

Régulièrement les contrôleurs de l'ACC Milan ont demandé à l'équipage de les rappeler lorsqu'il pourrait faire route vers le point BORDI, point de transfert tacite entre l'ACC Milan et l'approche de Nice.

Les éléments météorologiques ne sont pas visualisés sur les écrans des contrôleurs. Ces derniers ne pouvaient pas avoir une localisation précise des zones orageuses qui ont empêché, pendant plus de vingt minutes, l'équipage de faire route vers le point demandé.

Après avoir contourné ce qu'il pensait être une dernière cellule orageuse, l'équipage a indiqué qu'il pouvait faire route vers le point BORDI. Il y a été autorisé par le contrôleur aérien. En cours de virage, l'équipage a soudain découvert, sur le radar météorologique et également à vue, des développements orageux noyés dans la masse, juste derrière la cellule qu'il venait de contourner. Il est possible que ces orages aient été cachés par la précédente cellule orageuse et que le radar météorologique de bord n'ait ainsi pas pu les détecter plus tôt. Il est également possible qu'ils n'aient pas pu être détectés par le radar de bord au moment où elle se trouvait dans le faisceau de détection de celui-ci. Enfin, ils étaient peut-être en développement et sont apparus peu de temps avant sur la trajectoire de l'avion.

L'équipage n'a pas pu éviter cette cellule et s'attendait à des turbulences. Il en a averti les passagers. L'avion a traversé une zone de fort cisaillement de vent et de turbulences, due à la présence d'ascendances convectives dans un flux général de sud-ouest très fort.

La traversée de cette zone fut courte mais violente. De fortes accélérations verticales et latérales associées à des cisaillements de vent et des variations de vitesse se sont succédé en l'espace de sept secondes environ.

C'est très probablement au tout début de cette phase qu'un PNC, occupé à sécuriser le matériel à l'arrière de l'avion, a été plaqué au sol. Son pied est alors venu se coincer sous un logement de toboggan et s'est fracturé lors des accélérations verticales suivantes.

## 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 Présentation d'informations météorologiques sur les écrans du contrôle aérien

#### Recommandations déjà émises

En 2008, le BEA a publié une étude sur les [turbulences en transport aérien](#). Cette étude s'était intéressée aux accidents et incidents de transport commercial survenus en croisière au cours desquels les turbulences rencontrées étaient d'origine atmosphérique. Étaient donc exclus les événements pour lesquels une action sur les commandes était la cause principale des accélérations rencontrées et ceux engendrés par des turbulences de sillage. Dans ce cadre, le BEA avait recensé 48 occurrences entre 1995 et 2007 survenues en France ou à l'étranger à des avions exploités, immatriculés ou construits en France.

Dix-neuf de ces occurrences pour lesquelles le dossier était particulièrement complet, avaient été utilisées pour identifier les facteurs contributifs dans ce type d'événements.

Cette étude concluait notamment que « [...] les contrôleurs d'approche et les contrôleurs en route ne disposent pas systématiquement d'une visualisation des zones orageuses superposée à l'image de la circulation aérienne, ce qui peut dégrader la synergie pilote/contrôleur. De façon plus générale, la mise en commun des informations en possession des différents acteurs offrirait un niveau de connaissance homogène de la situation favorable à l'anticipation des stratégies par les équipages et les contrôleurs. »

En conséquence, le BEA avait recommandé que :

- « l'AESA<sup>11</sup> et Eurocontrol veillent à la mise en œuvre de systèmes de communication d'informations météorologiques par liaison de données permettant leur centralisation et leur redistribution vers les postes de pilotage et les positions de contrôle ;
- dans le cadre de l'application de la recommandation ci-dessus, que la DGAC<sup>12</sup> introduise des outils, et définisse des méthodes de travail associées, permettant aux contrôleurs en route et d'approche de visualiser sur les écrans de contrôle les zones orageuses et les zones de turbulence. »

À la suite de cette recommandation, Eurocontrol a estimé que la présentation d'informations météorologiques sur les écrans radar des contrôleurs aériens était du ressort des prestataires de la navigation aérienne européens, de leurs autorités nationales et de l'AESA.

L'AESA a répondu qu'elle étudiait pour sa part les possibilités techniques de redistribution des informations météorologiques en temps réel vers les postes de pilotage. La redistribution de ces informations vers les écrans du contrôle aérien n'est pas encore à l'ordre du jour à la date de publication du rapport.

<sup>11</sup> Agence Européenne de la Sécurité Aérienne.

<sup>12</sup> Direction Générale de l'Aviation Civile.

Les réponses de la DGAC française ont laissé entendre qu'il n'existait pas de projet à court terme relatif à l'affichage d'informations météorologiques sur l'écran radar du contrôleur.

En 2015, à la suite de l'[incident grave de l'Airbus A320 immatriculé F-HBNI exploité par Air France survenu le 2 août 2013 vers Bordeaux](#), le BEA avait recommandé que :

- « *la DGAC s'assure que les informations météorologiques mises à disposition des contrôleurs permettent de donner une information de vol la plus complète et pertinente possible et permettent de compléter la conscience de la situation des équipages, notamment en présence d'orage de grêle.* »

La Direction des Services de la Navigation Aérienne (DSNA) avait répondu qu'elle prévoyait l'intégration progressive des informations météorologiques dans les outils de visualisation mis à disposition des contrôleurs. Ainsi, dans le cadre du projet SYSAT, le besoin d'intégration de la visualisation des zones orageuses directement sur l'écran radar avait été pris en compte dans le cahier des charges. Sa mise en œuvre effective ne pouvait néanmoins être garantie à ce stade car elle était fonction des possibilités d'intégration au niveau des équipements qui seraient retenus auprès des différents industriels.

Concernant le programme 4FLIGHT, la DSNA avait indiqué au BEA que l'intégration de cette fonction sur l'écran radar avait également été prise en compte mais l'échéance calendaire ne pouvait à ce stade pas encore être précisée. Le BEA avait cependant regretté que la définition et le calendrier de déploiement de ces développements restaient incertains.

À la date de publication du rapport, le BEA n'a pas connaissance de l'ajout de cette fonctionnalité dans le système 4FLIGHT en cours de déploiement en France métropolitaine.

### **Nouvelle recommandation**

L'incident grave du 25 juillet 2021, objet de ce rapport, est survenu dans l'espace aérien italien. À l'instar de la situation en France en matière de présentation d'informations météorologiques sur les écrans du contrôle aérien, les phénomènes orageux ne sont pas représentés sur les écrans radar des contrôleurs italiens.

*En conséquence, le BEA recommande que :*

- *considérant que la visualisation des phénomènes météorologiques sur les écrans radar du contrôle aérien est de nature à permettre aux contrôleurs aériens d'anticiper de possibles modifications de trajectoires demandées par les équipages et de mettre en œuvre le cas échéant les stratégies de transfert hors route standard ;*
- *considérant que cette situation est généralisable à différents prestataires de la navigation aérienne en Europe ;*
- *considérant que les recommandations déjà émises sur le sujet n'ont pas abouti ;*

*L'AESA, en coordination avec Eurocontrol :*

- 1- procède à un examen mondial des systèmes, existants ou en développement, qui affichent des images météorologiques en quasi-temps réel sur les écrans radar des contrôleurs aériens, et de leur utilisation par les prestataires de services de la navigation aérienne dans le cadre du service d'information de vol, dans le but de faciliter les stratégies d'évitement météorologique développées par les équipages de conduite,*

- 2- *sur la base de l'examen ci-dessus et d'autres données disponibles, identifie les spécifications des systèmes, les outils et les méthodes de travail qui seraient les mieux adaptés à une utilisation par les prestataires de services de la navigation aérienne européens dans le but de faciliter les stratégies d'évitement météorologique développées par les équipages de conduite,*
- 3- *promue la mise en œuvre et l'utilisation de tels systèmes, outils et méthodes de travail par les prestataires de services de la navigation aérienne européens dans le but de faciliter les stratégies d'évitement météorologique développées par les équipages de conduite.*

*[Recommandation FRAN-2022-014]*

## **4.2 Amélioration des informations météorologiques fournies à bord**

Il existe de nombreuses générations différentes de radar météorologique aujourd'hui. Parmi ceux-ci, les systèmes plus anciens sont limités dans leurs performances et/ou nécessitent une formation appropriée pour une utilisation correcte (par exemple, la sélection manuelle de l'inclinaison et du gain). De plus, le radar météorologique ne peut détecter que les précipitations et certains dangers associés aux précipitations. L'efficacité de la détection dépend de la taille, de la composition, de la phase (liquide/solide) et de la concentration des gouttelettes (eau) ou particules (glace). Les pilotes doivent être par ailleurs familiarisés avec les techniques d'exploitation des différents radars qu'ils utilisent (réglage, paramètres et analyse de l'affichage) et connaître les limites du système utilisé.

De fortes précipitations peuvent par ailleurs dissimuler la situation météorologique derrière une cellule représentée sur l'écran radar (phénomène d'atténuation) et les retours radar ne fournissent pas toujours une image complète de la situation derrière les cellules les plus fortes.

*En conséquence, le BEA recommande que :*

- *considérant que l'efficacité de la détection des radars météorologiques aéroportés est de nature variable ;*
- *considérant que les radars météorologiques ne fournissent pas toujours aux équipages de conduite les informations nécessaires pour naviguer en toute sécurité à travers de vastes zones d'activité convective ;*
- *considérant que la fourniture d'informations météorologiques à haute résolution, observées et prévues, telles que les images dérivées de satellites et de radars météorologiques au sol est de nature à améliorer la conscience de la situation à bord ;*

*l'AESA assure la promotion de systèmes et de supports permettant la fourniture à bord d'informations météorologiques avancées et actualisées en quasi-temps réel.*  
*[Recommandation FRAN-2022-015]*

## ANNEXE 1 : GLOSSAIRE

Acronymes	Version Anglaise	Version Française
A/THR	Auto thrust	Auto-poussée
ACC	Aera Control Center	Centre en route de la navigation aérienne
AESA	European Aviation Safety Agency (EASA)	Agence Européenne de la Sécurité aérienne
AP	Auto Pilot	Pilote automatique
ATC	Air Traffic Control	Contrôle de la circulation aérienne
CB		Cumulonimbus
CDB	Captain	Commandant de bord
CVR	Cockpit Voice recorder	Enregistreur phonique
DGAC		Direction Générale de l'Aviation Civile
DSNA		Direction de la Sécurité de l'Aviation Civile
EFB	Electronic Flight Bag	Système de documentation électronique
FCOM	Flight Crew Operating Manual	Manuel d'exploitation des équipages
FDR	Flight Data Recorder	Enregistreur de paramètres
FIR	Flight Information Region	Région d'information de vol
FL	Flight Level	Niveau de vol
ND	Navigation Display	Écran de navigation
NM	Nautical Mile	Mille marin
METAR	Aerodrome routine meteorological report	Message d'observation météorologique régulière d'aérodrome
MFD	MultiFunction Display	Écran multifonction
OACI	International Civil Aviation Organization (ICAO)	Organisation de l'Aviation Civile Internationale
OPERA	Operational Programme for the Exchange of weather RADar data	
PF	Pilot Flying	Pilote aux commandes
PNC	Cabin crew	Personnel navigant commercial
PM	Pilot Monitoring	
SIGMET	SIGNificant METEorological Phenomena	Messages de phénomènes météorologiques en route spécifiés
TCU	Tower Cumulus	Cumulus bourgeonnant
TEMSI		Carte de prévision du temps significatif
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.*