



⁽¹⁾Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en temps universel coordonné (UTC). L'heure locale à Bogota est obtenue en retranchant cinq heures à l'heure UTC. Ainsi l'événement a eu lieu à 20 h 16 heure locale, de nuit.

Incident grave de l'Airbus A340-313 immatriculé F-GLZO survenu le 19 août 2017 à Bogota El Dorado (Colombie)

Heure	À 01 h 16 ⁽¹⁾
Exploitant	Air France
Nature du vol	Transport aérien commercial
Personnes à bord	Commandant de bord (PM), copilote 1 (PF), copilote 2 (renfort), 7 PNC, 219 passagers

Erratum : Une modification portant sur le numéro de vol a été apportée au rapport. La présente version, texte officiel de référence, annule et remplace la précédente (Décembre 2019).

Cisaillement de vent lors de la rotation au décollage

Le BEA a été informé de cet événement par l'exploitant, à la suite de la rédaction d'un rapport par le commandant de bord de ce vol. Les informations et résultats préliminaires de l'analyse du vol fournis par Air France et Airbus ont conduit le BEA à classifier cet événement en tant qu'incident grave.

Conformément aux normes et pratiques recommandées de l'Annexe 13 de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI), le BEA a informé le bureau d'enquêtes colombien (GRIA⁽²⁾) au titre de l'État d'occurrence de cet incident grave. Le BEA a également sollicité le GRIA pour obtenir la délégation de l'enquête. Cette proposition de délégation a été acceptée par le GRIA qui a alors désigné un représentant accrédité.

Le BEA a réalisé une animation représentant l'avion sur sa trajectoire et les principaux instruments de pilotage. Elle est disponible sur la chaîne Youtube du BEA.

https://www.youtube.com/watch?v=lo3Pnla_Tnw

⁽²⁾Grupo de Investigación de Accidentes Aéreos.

1 - DÉROULEMENT DU VOL

1.1 Préparation du vol

⁽³⁾Les ordres de grandeurs utilisés par les pilotes prévoient qu'une variation de vent de 1 kt ou de température extérieure de 1 °C équivaut à une variation de la masse maximale au décollage d'une tonne, ce qui est confirmé par les calculs de performance dans les conditions du jour.

⁽⁴⁾Centre de Contrôle des Opérations.

L'équipage de conduite composé d'un commandant de bord (CdB) et de deux copilotes se retrouve en salle des opérations pour préparer le vol AF429 à destination de Paris – Charles-de-Gaulle.

Le contexte général du vol est habituel pour cet aéroport : du fait des conditions d'altitude et de température, la longueur de piste est limitative pour les performances au décollage et donc pour l'emport de la charge prévue (voir § 2.2). Dans ces conditions, les performances de l'A340-300 sont sensibles aux évolutions de vent, de température et d'état de piste⁽³⁾.

Au moment de la préparation du vol, les conditions atmosphériques et la survenue d'une averse ne permettent pas l'emport de l'ensemble des bagages et du carburant nécessaire pour le vol. La masse de l'avion excèderait alors la masse maximale autorisée de quatre tonnes, ce qui correspond à la totalité des bagages des passagers. L'équipage sollicite l'avis du CCO⁽⁴⁾ de l'exploitant qui conseille à l'équipage d'attendre que les conditions s'améliorent.

Hormis la problématique de l'emport de la charge, les menaces particulières identifiées par l'équipage lors du briefing sont les suivantes :

- la limitation en température d'un des moteurs qui pourrait conduire l'équipage à appliquer la procédure panne moteur en cas d'alarme ;
- l'évolution du vent avant le décollage, qui pourrait affecter les performances et réduire les marges vis-à-vis des distances de décollage et des hauteurs minimales de survol des obstacles ;
- la présence de reliefs à proximité de l'aéroport qui nécessite une surveillance renforcée de la trajectoire par l'équipage.

L'amélioration des conditions atmosphériques, notamment la baisse de la température extérieure de 18 °C à 15 °C, permet finalement à l'équipage d'entreprendre le vol en emportant l'ensemble de la charge prévue.

1.2 Attente au point d'attente de la piste 13R

⁽⁵⁾Au total, l'équipage reste stationné 24 min au point d'attente de la piste 13R.

L'avion arrive au point d'attente de la piste 13R à 00 h 51⁽⁵⁾. Après environ dix minutes d'attente, l'équipage éteint deux moteurs. Dans le même temps, le contrôleur demande à l'équipage s'il peut décoller en présence d'un orage sur l'aéroport, l'équipage répond que ce n'est pas possible. Une discussion a alors lieu en espagnol entre le contrôleur et l'équipage d'un vol Avianca (Avianca9257K) : le contrôleur précise que de sa position il ne voit pas d'orage et l'équipage du vol Avianca9257K accepte de décoller. L'équipage du vol AF429, n'étant pas hispanophone, n'a pas pu suivre ces échanges.

Une minute plus tard, en l'absence d'instruction du contrôleur, l'équipage toujours au point d'attente, demande une explication à ce dernier qui l'autorise alors à s'aligner en piste 13R. L'équipage répond qu'il doit rallumer les moteurs éteints plus tôt.

Sur demande du contrôleur, l'équipage du vol Avianca9257K reporte la présence de pluie sur la fin de la piste, sans autre phénomène météorologique. Cette conversation a lieu en espagnol. Le CdB du vol AF429 indique que l'équipage surveillait la trajectoire des avions au décollage sur le Navigation Display (ND) : aucun des aéronefs précédents n'a altéré son cap immédiatement après le décollage ce qui aurait pu indiquer la présence d'un orage.

À 01 h 09, soit environ 18 min après être arrivé au point d'attente de la piste 13R, l'équipage signale au contrôleur qu'il est prêt au décollage. Le contrôleur accuse réception et demande d'attendre. Environ deux minutes plus tard, l'équipage n'ayant pas reçu l'autorisation de s'aligner rappelle le contrôleur pour manifester son incompréhension. Il obtient alors l'autorisation de s'aligner en piste 13R derrière le vol Avianca9831.

L'équipage de ce vol reporte au contrôleur de la pluie « *assez forte sur le dernier quart de la piste* » à l'issue du décollage. Cette communication a lieu en espagnol et n'est pas relayée par le contrôleur en anglais. Environ 45 s plus tard, soit 24 min après son arrivée au point d'attente de la piste 13R, l'équipage du vol AF429 est autorisé au décollage. Le CdB mentionne dans son témoignage que la manche à air indique un vent nul au moment du décollage.

⁽⁶⁾Take-Off Go Around.

⁽⁷⁾windshear.

⁽⁸⁾Flight Management Guidance and Envelope Computer, calculateur assurant notamment les fonctions de guidage, de gestion du vol et de calcul de l'enveloppe de vol.

⁽⁹⁾Quand l'incidence de l'avion dépasse un seuil appelé « *Alpha Prot* », la commande des gouvernes de profondeur et du plan horizontal réglable passe à un mode de protection où l'incidence est proportionnelle au débattement du manche. Cela permet d'agir directement sur l'incidence plutôt que sur le facteur de charge comme c'est le cas en situation normale (voir également le rapport du BEA sur l'incident grave de l'Airbus A340 immatriculé F-GLZU et exploité par Air France survenu le 22 juillet 2017 à Bogota, cf. §2.2).

1.3 Décollage

À 01 h 15 min 53, l'équipage effectue une mise en puissance sur frein puis positionne les manettes de poussée dans le cran TOGA⁽⁶⁾, selon les consignes opérationnelles de l'exploitant à Bogota, et les volets sont en position 3. À cet instant, le vent mesuré par l'anémomètre positionné au seuil de la piste 13R vient du 211° pour 1 kt.

Pendant le roulement au décollage, les données disponibles ne permettent pas d'estimer le vent selon l'axe longitudinal de l'avion jusqu'à ce que l'avion atteigne une vitesse conventionnelle d'environ 110 kt. Entre 110 kt et 138 kt, correspondant à la vitesse de rotation (VR) pour ce vol, le vent longitudinal augmente et passe de 3 kt à 11 kt de face.

À 138 kt, la rotation est initiée par le PF avec une action au manche d'environ ¾ de débattement. Entre le début de la rotation et l'instant où le train principal quitte le sol, le vent longitudinal passe de 11 kt de face à 12 kt arrière et la vitesse conventionnelle diminue de 6 kt.

Après le lever des roues, le vent arrière continue de se renforcer et atteint 25 kt. Le vent selon l'axe vertical de l'avion se renforce également et atteint 4 kt vers le bas. L'assiette reste comprise entre 11° et 13° et la vitesse conventionnelle diminue jusqu'à atteindre un minimum de 128 kt.

À cet instant, soit six secondes après que l'avion a quitté le sol, un cisaillement de vent⁽⁷⁾ est détecté par le FMGEC⁽⁸⁾, ce qui entraîne l'apparition pendant quinze secondes d'un message réactif « *WINDSHEAR* » rouge au Primary Flight Display (PFD) et l'alarme audio « *WINDSHEAR* » répétée trois fois. La vitesse conventionnelle est alors de 128 kt, soit 13 kt en-deçà de la vitesse minimale sélectionnable (VLS). La hauteur reste stable à environ 5 ft tandis que le PF applique un ordre au manche à cabrer et que l'assiette est de 13°. L'équipage laisse les manettes de poussée dans le cran TOGA et ne change pas la configuration de l'avion. L'incidence augmente jusqu'à l'activation de la protection en incidence « *Alpha Prot* »⁽⁹⁾.

La protection en incidence reste active pendant quatre secondes. Le vent arrière commence ensuite à diminuer tandis que la vitesse conventionnelle ainsi que le taux de montée augmentent.

⁽¹⁰⁾V2 est la vitesse conventionnelle garantissant de pouvoir adopter une pente de montée suffisante en cas de panne moteur. Lors du décollage, cette vitesse doit être atteinte au plus tard à une hauteur de 35 ft. Elle est calculée pour chaque vol en fonction des conditions du jour.

Le seuil de piste est survolé à une hauteur de 58 ft, supérieure aux 35 ft exigés par la réglementation. Les obstacles référencés dans la trouée d'envol sont également survolés avec une marge suffisante.

Vingt-et-une secondes après le lever des roues, l'alarme WINDSHEAR s'arrête. La hauteur est alors de 193 ft, l'assiette est de 13° en diminution. Cinq secondes plus tard, à une hauteur de 258 ft, la vitesse conventionnelle atteint V2⁽¹⁰⁾ soit 145 kt.

Au moment de quitter la fréquence, l'équipage déclare le cisaillement de vent au contrôleur qui accuse réception. Environ 30 s plus tard, l'équipage suivant au décollage sur la piste 13R demande au contrôleur de pouvoir maintenir sa position trois minutes en raison du cisaillement de vent.

L'équipage du vol AF429 continue sa montée en évitant plusieurs orages et poursuit le vol sans événement jusqu'à destination.

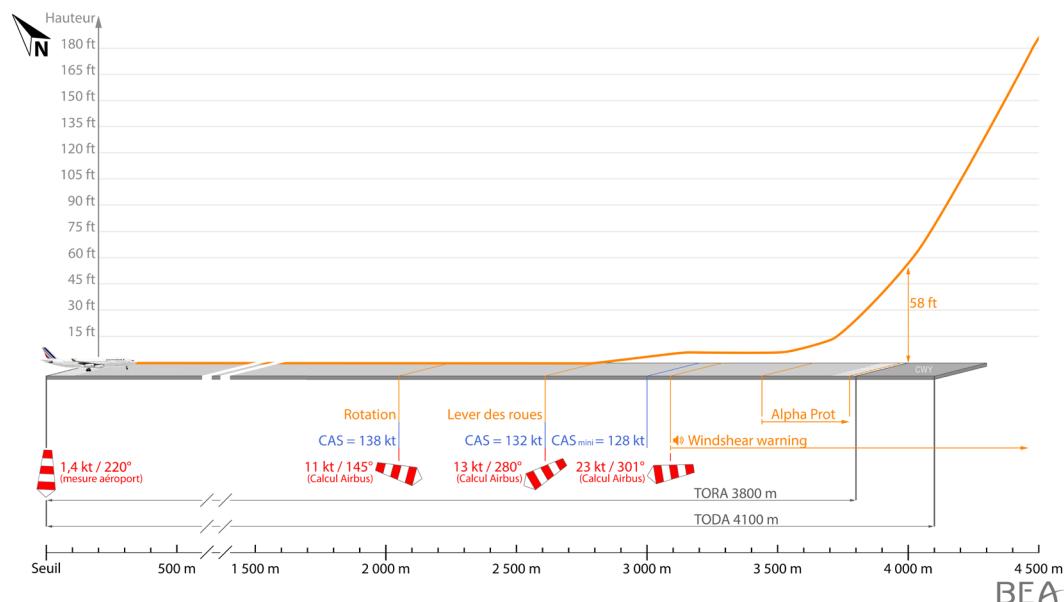


Figure 1 : trajectoire du F-GLZO

L'activation d'une protection haute incidence proche du sol ainsi que le caractère limitatif de l'aéroport de Bogota pour l'exploitation de l'A340-300 ont motivé le classement de cet événement par le BEA en incident grave.

2 - RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES

2.1 Aérodrome de Bogota El Dorado

L'aérodrome de Bogota El Dorado est situé à une altitude de 8 360 ft et comporte deux pistes parallèles : la piste 13L/31R et la piste 13R/31L. La piste 13R, d'où l'équipage a décollé, a les caractéristiques suivantes :

- longueur : 3 800 m ; longueur de roulement au décollage utilisable : 3 800 m ;
- prolongement d'arrêt : 60 m ; longueur d'accélération-arrêt utilisable : 3 860 m ;
- prolongement dégagé : 300 m ; longueur de décollage utilisable : 4 100 m.

Compte tenu de ces caractéristiques, la charge marchande est souvent limitée à Bogota sur A340-300. Sur d'autres types d'avions long-courriers, la charge marchande est même trop réduite pour permettre une desserte commerciale.

2.2 Performances opérationnelles au décollage

Lors de la préparation du vol, l'équipage doit calculer les performances de l'avion au décollage afin de :

- déterminer la masse maximale à laquelle l'avion peut décoller en respectant toutes les marges réglementaires (distances de décollage, d'accélération-arrêt, marge de franchissement des obstacles, pente minimale de montée, etc.)
- calculer les vitesses de décollage V1, VR, V2.

À la suite du décollage anormalement long survenu à l'A340 d'Air France immatriculé F-GLZU le 11 mars 2017 à Bogota⁽¹¹⁾, l'exploitant a mis en place une mesure conservatoire visant à augmenter les marges de sécurité au décollage des vols effectués sur A340-300. Cette mesure, en vigueur au moment de l'événement, a eu pour conséquence de limiter la masse au décollage de l'avion.

Le jour de l'événement, l'avion était « *limité piste* » ce qui signifie que la masse maximale était limitée par la distance de décollage de l'avion, compte tenu des mesures conservatoires appliquées par l'exploitant. Dans le cas présent, ce sont les distances de décollage calculées avec un moteur en panne qui étaient limitatives.

2.3 Vent au décollage

Vent calculé

Le vent au moment du décollage a été calculé par Airbus ainsi que par le BEA à partir des paramètres enregistrés (Figure 2).

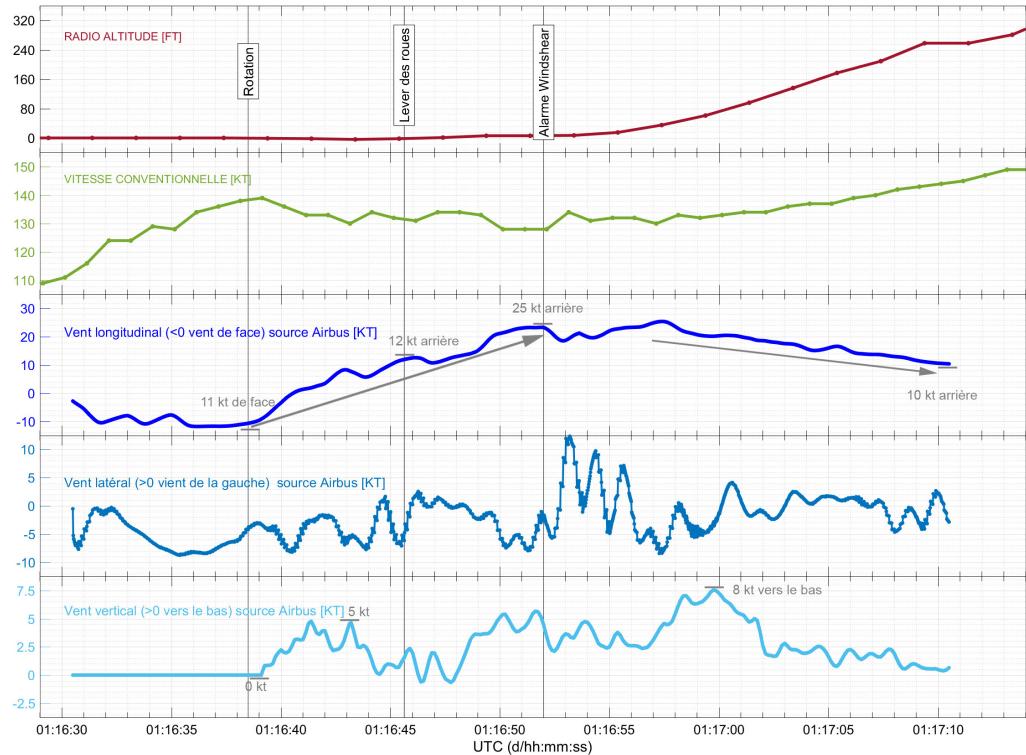


Figure 2 : vent calculé

Ce vent a été calculé dans le repère lié à l'avion et prend en compte les effets de sol et les biais d'accélération.

Pendant le roulement au décollage, entre 01 h 16 min 39 et 01 h 16 min 45, le vent longitudinal passe de 9 kt de face à 12 kt arrière. Le vent vertical augmente de 0 kt à un maximum de 5 kt vers le bas.

Après le lever des roues à 01 h 16 min 45, le vent longitudinal continue d'augmenter jusqu'à atteindre un maximum de 25 kt arrière douze secondes plus tard. Le vent vertical reste principalement orienté vers le bas, avec une vitesse de 4 kt environ. Le vent latéral varie rapidement entre 8 kt de la droite et 13 kt de la gauche.

À partir de 01 h 16 min 57, soit douze secondes après le lever des roues, le vent longitudinal diminue de 25 kt arrière à 10 kt arrière dans une période de treize secondes. Le vent vertical atteint un maximum de 8 kt vers le bas avant de diminuer à 0 kt. Le vent latéral se réduit également.

Vent mesuré sur l'aéroport

L'aéroport est équipé d'anémomètres à chacun des quatre seuils de piste qui mesurent le vent instantané toutes les dix secondes. Les données de vent enregistrées par ces anémomètres dans les dix minutes précédant le décollage montrent des écarts à la fois en terme de vitesse et de direction, entre les seuils 13 d'une part et les seuils 31 d'autre part (Figure 3). Pour la piste 13R, en rouge sur le graphe, la vitesse du vent est stable autour de 2 kt et sa direction varie du 360° au 210°.

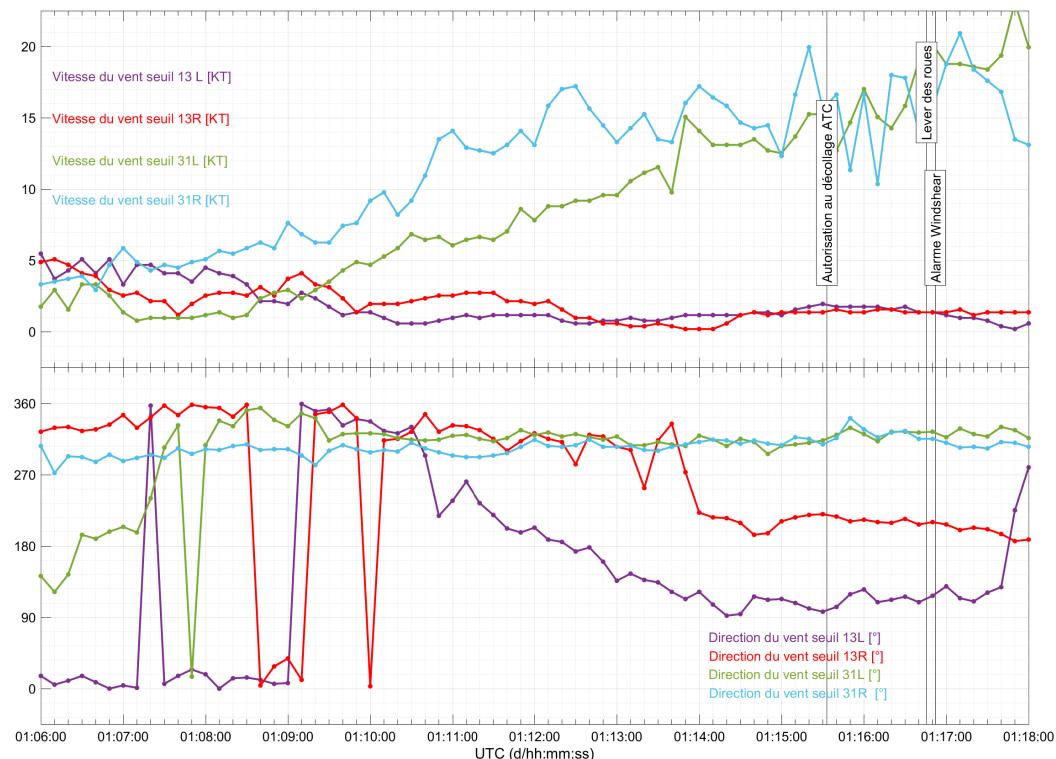


Figure 3 : vent aux quatre QFU dans les dix minutes avant le décollage

Au moment de l'autorisation au décollage, le vent mesuré au seuil des quatre pistes est le suivant :

Seuil de piste	Vitesse du vent (kt)	Direction (°)
13R	1.4	220
13L	2.0	97
31R	15.6	308
31L	15.3	313

Les différences en termes de direction et d'intensité entre les quatre seuils de piste se maintiennent pendant environ treize minutes couvrant la période du décollage. Des différences de cet ordre pourraient alerter les équipages et les contrôleurs sur la présence possible d'un cisaillement de vent.

2.4 Informations météorologiques disponibles à l'équipage

Le message d'observation METAR daté à 20 h UTC figurant dans le dossier de vol de l'équipage indiquait les informations suivantes :

- vent du 310° pour 12 kt ;
- visibilité supérieure à 10 km ;
- quelques cumulus bourgeonnants (TCU) dont la base était à 1700 ft, nuages épars dont la base était à 2000 ft ;
- température 20 °C, point de rosée 12 °C ;
- QNH 1023 ;
- orages récents et présence de cumulus bourgeonnants dans le nord-est de l'aéroport.

Le message de prévision TAF figurant dans le dossier de vol de l'équipage indiquait les éléments suivants :

- prévisions valables du 18 août à 18 h au 19 août à 18 h ;
- temporairement entre 18 h et 20 h, visibilité de 7 000 m, présence d'orages et de pluie, cumulonimbus épars dont la base était à 1 500 ft et à 1 700 ft ;
- temporairement entre 01 h et 05 h, visibilité de 6 000 m, présence de bruine et de pluie, couche de nuages fragmentée dont la base était à 1 500 ft avec présence de cumulonimbus, nuages épars dont la base était à 7 000 ft.

De plus, en salle de préparation des vols, les équipages disposaient d'une tablette fournissant en temps réel le vent mesuré aux quatre seuils de piste (Figure 4).

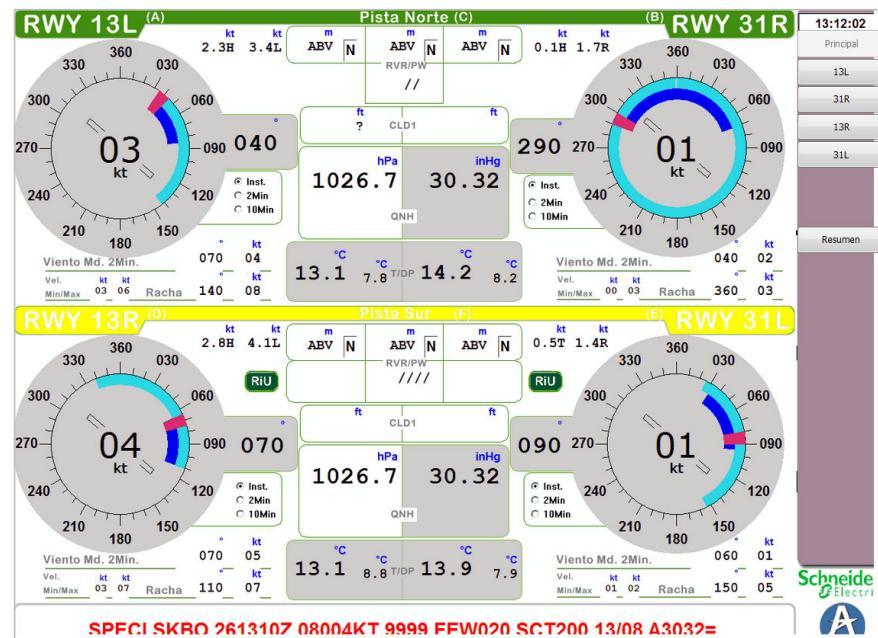


Figure 4 : exemple de capture d'écran de l'outil fournit le vent aux quatre seuils de piste de l'aéroport de Bogota

⁽¹²⁾Ce point à fait l'objet d'une mesure prise par Air France suite à l'événement (voir § 3.3).

En revanche, dans le poste de pilotage, les pilotes ne disposaient plus de cette information en temps réel et dépendaient du contrôleur pour la leur fournir⁽¹²⁾.

Lors des autorisations au décollage précédant le départ du F-GLZO, le contrôleur a indiqué en espagnol à plusieurs équipages :

- un vent du 330° pour 2 kt arrière ;
- un vent du 350° pour 3 kt arrière ;
- un vent du 300° pour 1 kt arrière.

Lors de l'autorisation au décollage, le contrôleur a informé l'équipage que le vent était calme. L'équipage n'a pas demandé le vent aux deux seuils de la piste en service, cela ne faisait pas partie des consignes de l'exploitant. Un COMPANY NOTAM était en cours de publication par l'exploitant, afin de demander aux équipages de prendre en considération le vent aux deux seuils de la piste en service (voir § 3.3).

2.5 Predictive Windshear System

L'avion est équipé d'un système prédictif de détection du cisaillement de vent (PWS), ainsi que d'un système réactif. Le système réactif utilise principalement l'incidence de l'avion et le vent calculé par l'avion, tandis que le système prédictif exploite les échos du radar météo sur des gouttes d'eau en suspension pour estimer les mouvements de l'atmosphère devant l'avion.

Le système réactif a détecté le cisaillement de vent à 01 h 16 min 51, soit six secondes après que l'avion avait quitté le sol.

Le PWS se déclenche si un cisaillement de vent est détecté dans un rayon de 5 NM devant l'avion. Il faut pour cela que les conditions suivantes soient remplies :

- la menace se situe dans un cône de 30° de chaque côté du nez de l'avion ;
- de l'eau est présente dans l'air sous une forme dont la réflectivité est suffisante (gouttelettes, précipitations, etc.) ;
- le risque de présence de cisaillement de vent est suffisamment élevé (risque estimé à partir d'un facteur prenant en compte le vent calculé par l'avion).

Ce système avait été activé par l'équipage, conformément aux procédures d'exploitation. Il n'a pas détecté la présence de cisaillement de vent lors de l'événement. Il n'a pas été possible de déterminer la cause de cette absence de détection car les paramètres considérés par le système ne sont pas enregistrés et les conditions météorologiques n'ont pas pu être déterminées avec suffisamment de précision.

2.6 Systèmes aéroportuaires de détection de cisaillement de vent

Plusieurs types de systèmes au sol permettent de détecter la survenue de cisaillement de vent à proximité d'un aéroport. Ils peuvent utiliser des informations issues :

- d'anémomètres disposés à des endroits stratégiques sur et autour de l'aérodrome ; c'est le cas des systèmes avertisseurs de cisaillement du vent dans les basses couches (LLWAS) ;
- de radars météorologiques Doppler de région terminale (TDWR), qui ne sont cependant capables de détecter un cisaillement qu'en présence d'humidité suffisante ;
- de radars optiques Doppler (LIDAR), capables de détecter un cisaillement en atmosphère sèche.

⁽¹³⁾Robert G. Hallowell and John Y. N. Cho. Wind-Shear System Cost-Benefit Analysis. Lincoln Laboratory Journal Volume 18, Number 2, 2010.

Certains aéroports fréquemment exposés aux cisaillements de vent sont équipés d'un ou plusieurs de ces systèmes. Aux États-Unis, 40 aéroports sont équipés de LLWAS, 46 de TDWR selon une étude de 2010⁽¹³⁾. En Asie les aéroports de Hong Kong, Taiwan et Singapour le sont également. L'aéroport de Bogota El Dorado n'est pas équipé de tels systèmes.

2.7 Procédure opérationnelle en cas de cisaillement de vent

La procédure opérationnelle en cas de cisaillement de vent au décollage (Figure 5) prévoit les actions suivantes, que l'équipage doit pouvoir exécuter de mémoire :

■ Airborne - initial climb or landing:

THR LEVERS AT TOGA.....	SET OR CONFIRM
AP (if engaged).....	KEEP ON
SRS ORDERS.....	FOLLOW

If necessary, the flight crew may pull the sidestick fully back.

- Note:
1. The autopilot disengages, if the angle of attack value goes above alpha prot.
 2. If the FD bars are not displayed, move toward an initial pitch attitude of 17.5 °. Then, if necessary to prevent a loss of altitude, increase the pitch attitude.

DO NOT CHANGE CONFIGURATION (SLATS/FLAPS, GEAR) UNTIL OUT OF WINDSHEAR.

CLOSELY MONITOR THE FLIGHT PATH AND THE SPEED.

SMOOTHLY RECOVER TO NORMAL CLIMB OUT OF WINDSHEAR.

Figure 5 : extrait de la procédure WINDSHEAR (FCOM Airbus)

Lors de l'événement, au moment du déclenchement de l'alarme WINDSHEAR :

- les manettes de poussée étaient sur TOGA et sont restées dans cette position ;
- le pilote automatique n'était pas engagé ;
- le PF a annoncé qu'il suivait les barres FD, ce que confirme le calcul des ordres dans le plan longitudinal du FD réalisé par le constructeur ;
- le CdB a annoncé que la configuration devait rester figée, ce que les enregistrements confirment également.

2.8 Statistiques de cisaillement de vent au décollage

- Organisme de contrôle aérien de l'aéroport de Bogota :
D'après les informations fournies par le GRIAA, il n'y a pas de statistiques disponibles sur le nombre de cisaillements de vent par an à Bogota ni d'équipement ou de procédure spécifique pour la détection et la gestion de ces phénomènes.
- Statistiques Air France :
D'après les données d'analyse de vol d'Air France, il y a eu 21 cisaillements de vent au décollage ou en montée initiale sur l'ensemble des aéroports desservis, toutes flottes confondues, entre le 1^{er} janvier 2015 et le 19 août 2017, soit environ 1 pour 33 milliers de vols (Figure 6). Le cisaillement de vent subi le jour de l'événement est à la fois le plus fort en termes de variation de vent arrière et celui survenu à la hauteur la plus faible.

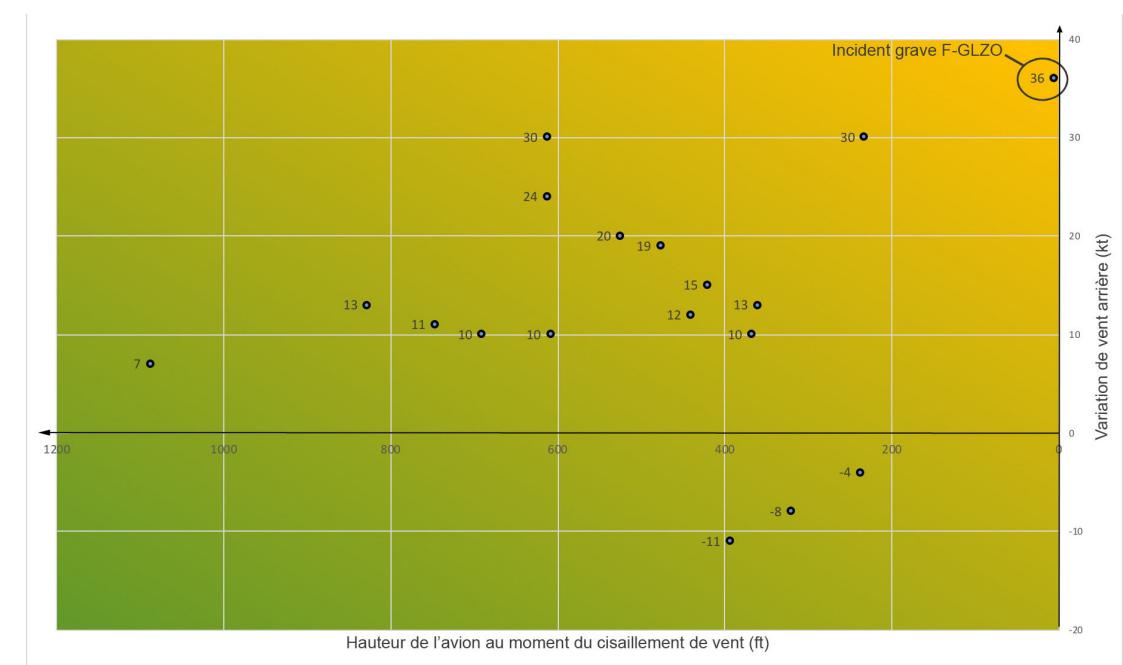


Figure 6 : répartition des cisaillements de vent par hauteur sol et par intensité

⁽¹⁴⁾Le répertoire central européen est une base de données gérée par la Commission Européenne et qui a pour but de stocker tous les comptes rendus d'événements collectés dans l'Union. D'après le règlement (UE) n° 376/2014, « chaque État membre met à jour, en accord avec la Commission, le répertoire central européen en y transférant toutes les informations relatives à la sécurité stockées dans les bases de données nationales ».

⁽¹⁵⁾Informations disponibles à l'adresse suivante : https://www.ntsb.gov/_layouts/ntsb.aviation/brief2.aspx?ev_id=20040722X01041&ntsbno=FTW04WA194&akey=1

Air France a par ailleurs analysé la répartition par aéroport des alarmes WINDSHEAR réactives déclenchées lors des phases de départ (décollage et montée initiale) et d'arrivée (approche et atterrissage) entre janvier 2015 et mars 2018. Ce décompte ne place pas l'aéroport de Bogota parmi les aéroports les plus exposés : sur cette période une seule alarme WINDSHEAR est enregistrée à Bogota, celle de cet incident grave.

Air France a également recherché le nombre de cisaillements de vent reportés dans les messages METAR sur les cinq dernières années pour tous les aéroports desservis. L'aéroport le plus exposé compte en moyenne plus de 100 jours par an avec au moins un message METAR indiquant la présence d'un cisaillement de vent (code « WS » dans le message METAR). Sur l'aéroport de Bogota, ce chiffre est de 15 jours par an en moyenne.

Bases de données nationale et européenne

Une recherche a été effectuée dans la base de données du BEA ainsi que dans le répertoire central européen⁽¹⁴⁾ pour identifier les cisaillements de vent au décollage sur les avions ayant une masse maximale au décollage supérieure à 5,7 t ou effectuant du transport aérien commercial, sans limite de date. Parmi les 2 361 occurrences répondant aux critères de recherches :

- un accident a été identifié, survenu au DC9 immatriculé XA-BCS à Mexico le 21 juillet 2004⁽¹⁵⁾. Les informations disponibles sur le site du NTSB font état d'un cisaillement de vent peu après la rotation ayant pour conséquence une perte de contrôle et la collision de l'avion avec le sol. Un passager a été gravement blessé et l'avion a subi des dommages importants.
- deux incidents graves, un sur BAE 146 au cours de la montée et un sur A340. Les informations collectées sur ce dernier événement sont cependant insuffisantes pour pouvoir l'utiliser dans cette enquête.

Parmi les 2 358 incidents, onze concernent un A340. Sur ces onze occurrences cinq ont eu lieu en réalité en montée initiale et six se sont produites au moment du décollage ou de la rotation.

Aucun de ces événements n'a eu lieu à Bogota. Sur les six incidents survenus au décollage ou à la rotation, un seul comprend l'activation de l'alarme réactive WINDSHEAR et la description des événements faite par les équipages ne laisse pas apparaître de difficulté particulière quant à la gestion de cette situation.

2.9 Mesure conservatoire prise par Air France

Comme indiqué précédemment, la mesure conservatoire mise en place par Air France a eu pour conséquence de limiter la masse au décollage de l'avion. Sans cette mesure conservatoire, la masse de l'avion aurait donc pu être plus élevée. Dans le cas d'un cisaillement de vent survenant après V1, l'atteinte de VR aurait alors été retardée.

Il n'a pas été possible de quantifier l'augmentation de distance pour atteindre VR et le lever des roues si la masse de l'avion au décollage n'avait pas été limitée par la mesure conservatoire.

Toutefois, l'impossibilité d'atteindre VR avant la fin de la piste aurait pu représenter un des événements redoutés pour cet incident grave si la mesure conservatoire n'avait pas été en vigueur.

Cette mesure prise par l'exploitant pour diminuer le risque de décollage long a donc également permis de diminuer les risques associés au cisaillement de vent au décollage.

3 - ENSEIGNEMENTS ET RECOMMANDATIONS

3.1 Gestion du risque de cisaillement de vent au décollage : une stratégie tournée vers la prévention

En cas de cisaillement de vent, le passage d'une composante de vent longitudinal de face à une composante arrière, associé à un gradient de vent vertical vers le bas, comme cela a été le cas lors de l'événement, se traduit par une diminution de la vitesse air et de la portance. Lorsqu'un tel phénomène se produit peu avant ou peu après la rotation, les risques associés sont la perte de contrôle ou la collision avec des obstacles.

Lors de cet événement, une fois que l'avion est entré dans le cisaillement de vent, la poussée étant déjà sur TOGA, l'équipage avait peu de moyen à sa disposition pour restaurer des marges de sécurité et ne pouvait jouer que sur l'assiette de l'avion pour éviter à la fois le décrochage et la collision avec le sol ou des obstacles. Dans ce cas, les protections du domaine de vol, notamment en incidence, laissent la possibilité à l'équipage d'appliquer un ordre au manche allant jusqu'à la butée à cabrer si nécessaire (voir la procédure décrite au § 2.6).

Les actions possibles pour limiter les risques identifiés précédemment se situent donc essentiellement avant que l'avion ne rentre dans le cisaillement de vent.

3.2 Évaluation du risque de cisaillement de vent sur l'aéroport de Bogota El Dorado

Il n'existe pas de statistiques réalisées par les autorités locales sur le nombre de cisaillements de vent par an sur l'aéroport de Bogota El Dorado. Les décollages d'avions long-courriers sur cet aéroport s'effectuent souvent en limite de performance, ce qui peut aggraver les conséquences d'un windshear au décollage. De plus, cet aéroport n'est pas doté d'équipement pour la détection de ces phénomènes qui sont associés à de multiples risques comme décrit plus haut. Une étude statistique sur les cisaillements de vent sur l'aéroport de Bogota El Dorado permettrait de décider si des moyens sont à mettre en œuvre pour limiter ces risques.

En conséquence, le BEA recommande que :

- **les autorités colombiennes de l'aviation civile (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil) évaluent le nombre de cisaillements de vent par an sur l'aéroport de Bogota El Dorado, leur intensité ainsi que les conditions favorables à leur apparition.**
[Recommandation FRAN 2019-035]
- **les autorités colombiennes de l'aviation civile évaluent, en fonction des résultats de l'étude précédente, la pertinence d'équiper l'aéroport de Bogota El Dorado de dispositifs destinés à détecter ces phénomènes et à en avertir le contrôle aérien.**
[Recommandation FRAN 2019-0036]

3.3 Information de vent fournies aux équipages par le contrôle aérien

Le dossier de vol de l'équipage ne contenait pas de message indiquant la présence de cisaillement de vent. De plus, le système prédictif de détection (PWS) n'a pas détecté le cisaillement de vent malgré son intensité, sa localisation dans l'axe de l'avion et la présence de précipitations. L'équipage reposait donc essentiellement sur les informations transmises par les contrôleurs aériens pour évaluer le risque au moment du décollage.

Les contrôleurs disposaient de l'information de vent aux quatre seuils de piste mais ne l'ont pas fournie à l'équipage dans l'autorisation au décollage. De manière plus générale, cette information n'est pas communiquée systématiquement. Or l'enquête a montré que ces données, indiquant une différence durable de vitesse et de direction de vent entre les seuils 13 et les seuils 31 au moment de l'événement, étaient les seules qui auraient pu alerter sur le risque de cisaillement de vent.

Suite à cet incident grave, Air France a émis une consigne opérationnelle par COMPANY NOTAM demandant aux équipages de demander au contrôleur le vent aux deux seuils de la piste utilisée et de prendre en compte le vent le plus défavorable avant le décollage. Ce NOTAM a été inséré dans tous les dossiers de vols à destination de Bogota le 25 août 2017, six jours après l'incident grave. De plus, les équipages d'Air France disposent désormais en cockpit du vent mesuré aux quatre seuils de piste via leur tablette professionnelle PILOTPAD. Cette information pourrait bénéficier à tous les exploitants opérant sur cet aéroport.

En conséquence, le BEA recommande que :

- **les autorités colombiennes de l'aviation civile (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil) s'assurent qu'une procédure est mise en place par l'organisme en charge du contrôle aérien à Bogota visant à fournir aux équipages, dans les autorisations au décollage, le vent mesuré aux deux seuils de la piste en service lorsque la situation météorologique est favorable à l'apparition de cisaillement de vent (en particulier en cas de présence d'orages, de cumulus bourgeonnants ou de cumulonimbus à proximité de l'aéroport) et que l'information aéronautique de l'aéroport de Bogota avertisse les exploitants du risque associé à ces situations particulières.**

[Recommandation FRAN 2019-037]

3.4 Langue des communications avec le contrôle aérien

Lors de l'événement, les communications du contrôle aérien avec l'équipage du vol Air France sont les seules à avoir lieu en anglais, toutes les autres étant en espagnol. Or, le contrôleur a demandé à plusieurs reprises aux équipages hispanophones des informations sur la situation météorologique rencontrée au décollage.

De même, le contrôleur a autorisé plusieurs équipages au décollage peu avant celui du vol Air France et leur a donné à chaque fois le dernier vent. Ces informations, transmises en espagnol, auraient pu intéresser l'équipage de cet incident grave.

Même si ces communications n'ont pas mentionné la présence de cisaillement de vent, l'équipage du vol Air France n'avait pas accès aux informations échangées avec le contrôle aérien sur la situation météorologique et sur l'ordonnancement des départs, ce qui a limité sa conscience de la situation.