BEA
Bureau d'Enquêtes et d'Analyses
pour la sécurité de l'aviation civile
www.bea.aero
@BEA_Aero

RAPPORT D'ENQUETE DE SECURITE

Incident grave survenu à l'Embraer EMB145LR immatriculé F-HYOG le 20 octobre 2022 sur l'aéroport Paris-Orly (94)

Heure	Vers 19 h 18[1]
Exploitant	Aero4M (Amelia International)
Nature du vol	Transport commercial de passagers
Personnes à bord	Commandant de bord (PM), copilote (PF), 1 membre d'équipage de cabine, 39 passagers
Conséquences et dommages	Avion légèrement endommagé

Approche non stabilisée, atterrissage long, sortie longitudinale de piste

1 Déroulement du vol ..... - 2 -
2 Renseignements complémentaires ..... - 8 -
2.1 Renseignements sur le personnel ..... - 8 -
2.2 Renseignements sur l'avion et le site ..... - 11 -
2.3 Renseignements météorologiques ..... - 12 -
2.4 Renseignements sur l'aéroport Paris-Orly ..... - 13 -
2.5 Gestion et conduite de l'approche et de l'atterrissage ..... - 16 -
2.6 Renseignements sur le CRM ..... - 22 -
2.7 Événements similaires ..... - 24 -
3 Conclusions ..... - 25 -

[1] Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en heure locale.

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

décembre 2023 BEA2022-0508

BEA

1 DÉROULEMENT DU VOL

Note : Les informations suivantes sont principalement issues des enregistreurs de vol CVR[2] et FDR, du calculateur eGPWS, des témoignages, des enregistrements des radiocommunications ainsi que des données radar.

L'équipage de l'EMB145 effectue un vol entre les aéroports de Rodez-Marcillac (12) et Paris-Orly[3].

Vers 18 h 50, au FL 280, le PF (copilote) effectue le briefing « approche » pour l'ILS 25 au cours duquel il précise notamment la trajectoire publiée pour la suite du vol et la configuration volets 45° retenue pour l'atterrissage. Dans le cadre de la gestion des erreurs et des menaces (TEM[4]), il identifie pour l'approche la présence de cumulonimbus à éviter. Il n'évoque pas les différentes menaces associées aux cumulonimbus ni les mesures d'atténuation de ces menaces. Les vitesses cibles retenues pour l'approche (voir § 2.5.3) ont été déterminées avant le briefing : la vitesse de référence (VREF) est de 131 kt et la vitesse d'approche (VAPP) est de 136 kt. L'équipage prend en compte un vent de face de 5 kt pour l'atterrissage. Le PM a évalué la distance d'atterrissage à 1 369 m sur une piste sèche (voir § 2.5.4). L'équipage dispose de 50 minutes de réserve de carburant en cas d'attente. Il réalise ensuite la check-list « descente » applicable au-dessus du FL 100, au cours de la descente vers le FL 200.

Vers 18 h 55, le PF sollicite à plusieurs reprises le PM afin qu'il contacte le service de contrôle pour poursuivre la descente. Le PM temporise puis demande à poursuivre la descente au contrôleur après la troisième sollicitation du PF. Le contrôleur autorise l'avion à descendre au FL 110. Lors du collationnement, le PM demande une route directe vers le point d'arrivée standard VASOL, sans en avoir discuté au préalable avec le PF. Le PF exprime des doutes sur cette route. Une discussion s'engage alors sur la stratégie d'évitement des cellules orageuses identifiées au radar et présentes sur la zone d'approche initiale.

À 19 h (voir **Figure 1**, point 1), le PF propose une stratégie au PM avec la prise du cap 050°. Le PM suggère le cap 030° et, après discussion avec le PF, en fait la demande au contrôleur du secteur d'approche initiale (INI) de Paris-Orly. Juste après l'autorisation du contrôleur, l'équipage constate que le cap 030° mène vers une cellule orageuse et s'accorde sur le fait que le cap 050° est plus approprié. Le PM demande finalement au contrôleur l'autorisation de prendre le cap 070°. Le contrôleur autorise l'équipage à prendre ce cap et leur demande de descendre au FL 070 pour un guidage pour l'ILS de la piste 25. La discussion au sein du cockpit se poursuit sur le choix du cap pour éviter les cellules orageuses. Le PF manifeste son insatisfaction quant aux caps proposés par le PM. Le PF consent finalement au cap 060°, proposé par le PM. Vers 19 h 04, peu avant le passage du FL 100, le PM poursuit la check-list « descente », applicable sous le FL 100.

Vers 19 h 06 (point 2), l'équipage relève sur la fréquence que le contrôleur du secteur d'approche intermédiaire (ITM) informe un autre équipage qu'il y a des « *petits orages* » sur Orly signalant également que la piste est mouillée, mais que le freinage est bon. L'équipage est ensuite

[2] Le glossaire des sigles et acronymes fréquemment utilisés par le BEA est disponible sur son site.

[3] Des personnalités politiques voyagent sur ce vol. Par ailleurs, une passagère est présente dans le cockpit pendant toute la durée du vol. L'analyse des données CVR montre que la présence de la passagère n'a pas eu d'influence sur le travail en équipage ni sur la conduite du vol.

[4] *Threat and Error Management.*

autorisé à descendre à 4 000 ft. Le PM indique au PF d'être vigilant aux courants descendants en dessous de la couche, évoque la possibilité de cisaillement de vent et lui suggère de réduire la vitesse vers 200 kt[5]. Vers 19 h 09, à la suite de la demande du PM, le contrôleur autorise l'équipage à descendre à 3 000 ft. Le PM, après avoir réitéré sa demande au PF de réduire la vitesse, sort les *spoilers.* La vitesse de l'avion diminue ainsi de 240 kt vers 200 kt. Après la rentrée des *spoilers*, la vitesse fluctue ensuite entre 200 et 210 kt. Deux minutes plus tard, l'équipage est autorisé à prendre le cap 350°.

Vers 19 h 12 (point ❸), à une altitude de 3 000 ft et à 8 NM du FAP (voir **Figure 2**, point D8.3 OLW), le PM confirme la vitesse de 200 kt et propose au PF de virer un peu plus court pour éviter une cellule orageuse. Ce dernier accepte. Le PM demande au contrôleur l'autorisation pour virer au cap 300°. Le contrôleur lui fait part de sa préoccupation, en lui indiquant que l'avion pourrait ne pas recevoir correctement le signal de l'ILS avec une interception à 2 000 ft ou moins. Le PM propose alors un cap 310°. Le contrôleur autorise l'équipage à virer à gauche au cap 310°, à descendre à 2 000 ft et l'autorise à l'approche ILS 25. Une partie de ce message est recouverte par une émission simultanée de la part du PM qui indique au contrôleur qu'il a la vue du sol. L'équipage n'entend ainsi pas l'autorisation de descendre à 2 000 ft et collationne partiellement le message : « *on tourne au cap 310 autorisé ILS 25* ». Le contrôleur ne relève pas le collationnement incomplet et l'équipage maintient 3 000 ft. Trente secondes plus tard, le contrôleur indique à l'équipage qu'il peut prendre un cap 300°.

[5] Vitesse maximum recommandée en air turbulent selon le manuel de vol (AFM).

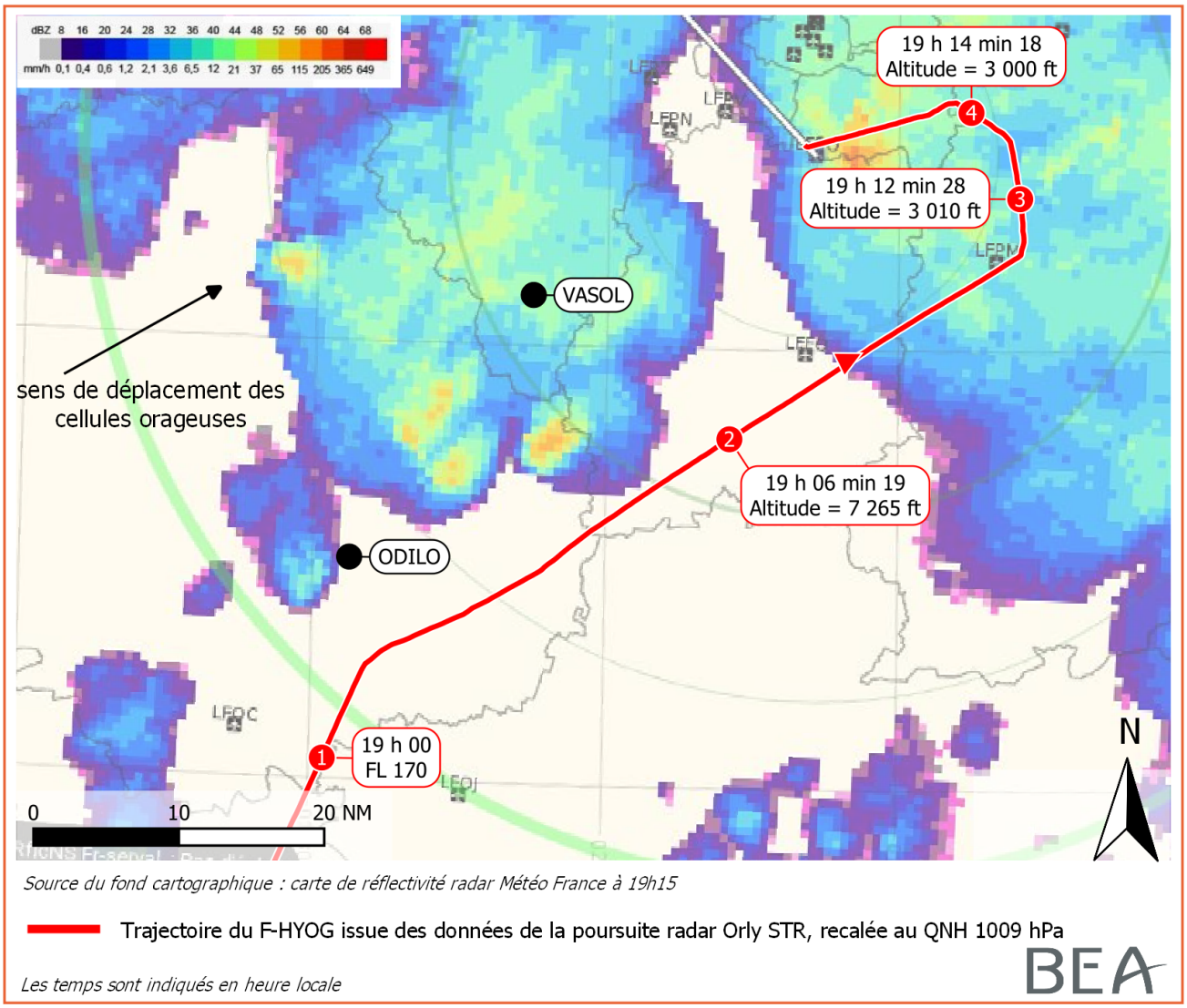

Figure 1 : trajectoire du F-HYOG sur le fond de carte de réflectivité radar à 19 h 15

À 19 h 14 min 18 (voir **Figure 1** et **Figure 2**, point 4), 1,6 NM avant le FAP, au cap 300° et à environ 205 kt avec une composante de vent arrière de 8 kt, le PM propose au PF de sortir les volets 9°, ce qu'il accepte. Quinze secondes plus tard, les modes de guidage LOCALIZER et GLIDESLOPE sont actifs et le PF annonce « *loc and glideslope captured* ». Le PM sélectionne l'altitude de l'approche interrompue de 2 000 ft au FGC[6]. L'avion traverse l'axe du localizer et le PF sélectionne un cap 230° au FGC. Cette action entraîne l'activation du mode de guidage latéral HEADING et par conséquent la réversion du mode de guidage vertical en PITCH HOLD. Peu après, l'avion revient sur l'axe de piste et le mode de guidage horizontal LOCALIZER remplace le mode HEADING. Dans le même temps, le contrôleur propose à l'équipage de descendre à 2 000 ft pour capturer le plan de descente. Le PM répond qu'ils arrivent sur le *glide* puis annonce au PF qu'il fait descendre l'avion avec le mode de guidage vertical V/S. Le PM sélectionne une vitesse verticale de -1 000 ft/min[7] et la vitesse augmente alors jusqu'à 215 kt.

[6] *Flight Guidance Controller* (Réalise les fonctions de guidage et de pilotage automatique).

[7] À une vitesse de 200 kt, la vitesse verticale de -1 000 ft/min permet de suivre une pente de l'ordre de 5 %, selon un plan quasi parallèle au plan nominal de descente. Elle ne permet donc pas de le rejoindre.

À 19 h 15 min 20 (point 5), à 6,5 NM du seuil de la piste 25 et une vitesse de 214 kt, l'équipage sort les trains d'atterrissage. Le PM confirme la stratégie d'utilisation des volets 45° pour l'atterrissage. L'équipage est ensuite transféré au contrôleur tour en position LOC. Au premier contact, le PM indique qu'ils sont établis sur le localizer et rattrapent le glide. L'équipage souligne la présence d'orages. Approchant l'altitude de 2 000 ft (1 710 ft AAL[8]) à une vitesse d'environ 175 kt, le pilote automatique commence la capture de l'altitude affichée au FGC. L'équipage, surpris, désengage le pilote automatique pendant une vingtaine de secondes. Pendant cette phase de pilotage manuel, le PF rattrape le plan du *glide* et le mode de guidage vertical GLIDESLOPE s'active à une altitude de 1 450 ft. Le pilote automatique est ensuite réengagé par l'équipage. L'altitude sélectionnée au FGC est augmentée à 4 200 ft puis diminuée à 2 000 ft pendant cette phase. Le PM dit au PF qu'ils atterriront volets 22° finalement, le PF acquiesce.

À 19 h 16 min 33 (point 6), l'avion est à une hauteur de 1 000 ft AAL (altitude de 1 290 ft), volets 9°, à une vitesse de 181 kt (VAPP + 45 kt) avec une composante de vent de face de 19 kt. La check-list « avant atterrissage » n'a pas été effectuée. L'équipage ne fait pas référence à la butée de stabilisation. Le PM prévient la cheffe de cabine de se préparer à l'atterrissage. Le contrôleur autorise l'équipage à l'atterrissage en piste 25 et indique un vent du 140° pour 22 kt[9]. Le PM annonce au PF qu'ils sont autorisés à l'atterrissage puis détermine les nouvelles vitesses cibles pour la configuration volets 22° finalement retenue. Il annonce une VREF de 134 kt et une VAPP de 139 kt (voir § 2.5.3). Dans le même temps, l'avion traverse une averse, l'équipage utilise les essuie-glaces puis le PF acquiert le visuel sur la piste. Au cours de cette phase de vol, le PF agit sur les commandes de poussée des moteurs, les variations du régime N1 des deux moteurs oscillent entre 30 % et 71 %.

[8] *Above Airport Level* – au-dessus du niveau de l'aéroport

[9] Soit un vent arrière de 8,5 kt et un vent traversier de 20 kt au sol.

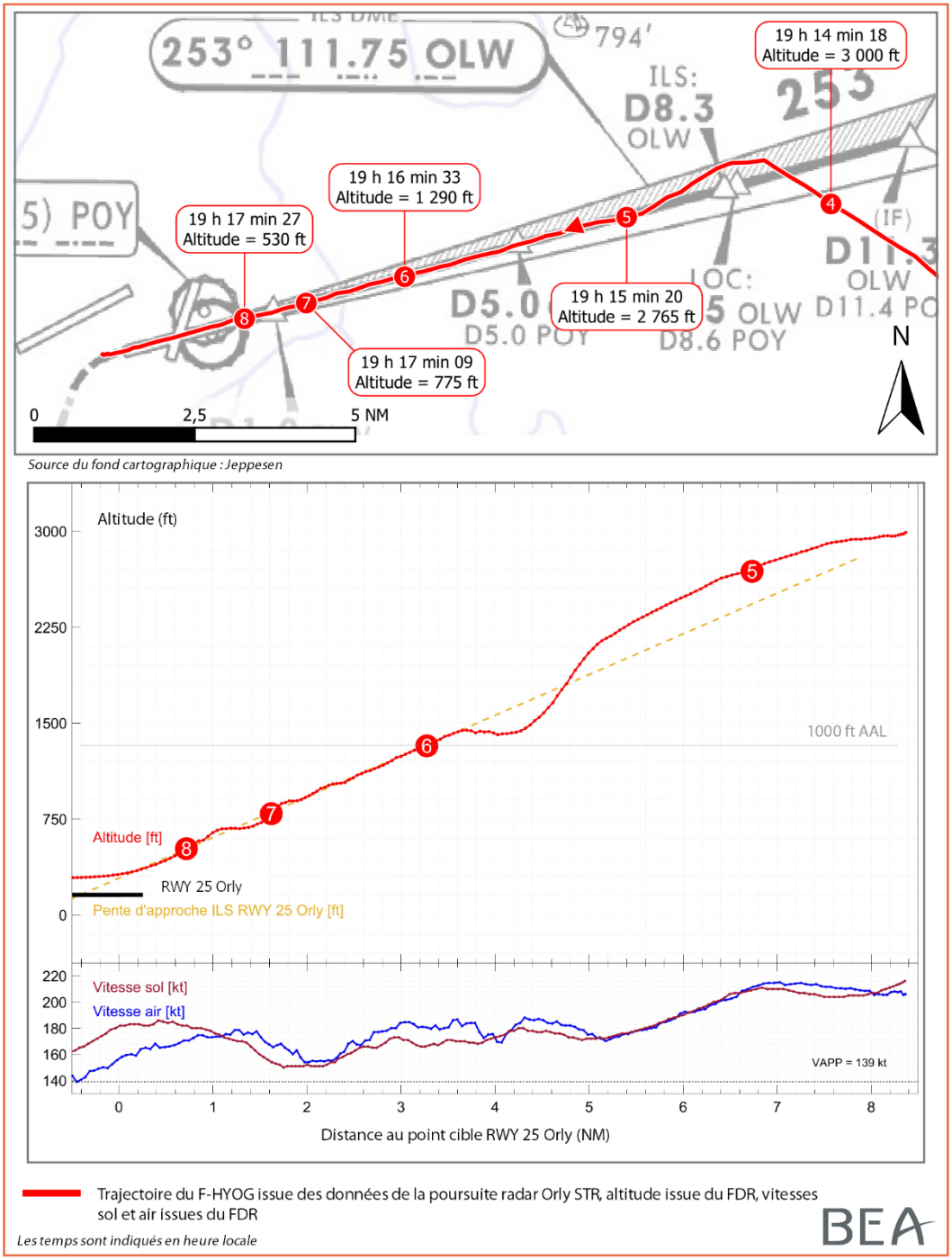

Figure 2 : trajectoire du F-HYOG sur le fond de carte de la procédure ILS 25

À 19 h 17 min 09 (voir **Figure 3**, point 7), l'avion est à une hauteur d'environ 500 ft AAL (altitude de 775 ft), avec les volets 9° et une vitesse de 167 kt (VAPP + 28 kt). La composante de vent de face est de 15 kt. Le PF désengage le pilote automatique. Le PM indique au PF que le vent est plein travers gauche. Le PF demande au PM de bien regarder dehors et le PM lui répond « *c'est bon, t'es parfait, t'es bien* ». Les régimes N1, qui sont en augmentation depuis environ 20 s, atteignent un maximum de 78 %, la vitesse atteint 179 kt (VAPP + 40 kt). Quelques secondes plus tard, le PM indique « *c'est bien, continue comme ça, tu peux réduire la vitesse* ».

À 19 h 17 min 27 (point 8), alors que l'avion est à une hauteur d'environ 240 ft AAL, l'alerte TAWS « *TOO LOW TERRAIN* » retentit. Le PM annonce que les volets ne sont pas dans la configuration 22° et qu'il les met. Six secondes plus tard, le PM annonce « *allez c'est bon* », l'avion survole le seuil de la piste 25 à une hauteur d'environ 70 ft, une vitesse de 164 kt (VAPP + 25 kt) avec une composante de vent arrière de 15 kt. Les volets 22° sont complètement sortis 560 m après le seuil de piste.

Le train principal entre en contact avec la piste à une distance d'environ 1 150 m du seuil de la piste (point 9). La vitesse de l'avion est de 143 kt, avec une composante de vent arrière de 23 kt. Les *spoilers* se déploient et le PF applique une action sur les freins. Il annonce au PM que l'avion ne freine pas.

Vers 100 kt, le CDB reprend les commandes, actionne doucement le frein de parc jusqu'à la mi-course puis le relâche, tout en actionnant le palonnier vers la droite afin d'essayer de sortir sur la bretelle W37.

Trente secondes après le toucher des roues, à une vitesse de 80 kt, l'avion sort longitudinalement de la piste 25, légèrement à droite, en dérapage. L'avion passe à droite des antennes de l'ILS.

L'avion s'immobilise 450 m après l'extrémité de la piste. Le CDB indique alors au contrôleur qu'ils sont sortis de la piste. Ce dernier déclenche les services de secours. Le CDB commence la procédure d'évacuation d'urgence, mais décide rapidement d'attendre les secours avant d'évacuer l'avion, considérant qu'il n'y a pas de danger immédiat ni risque d'incendie.

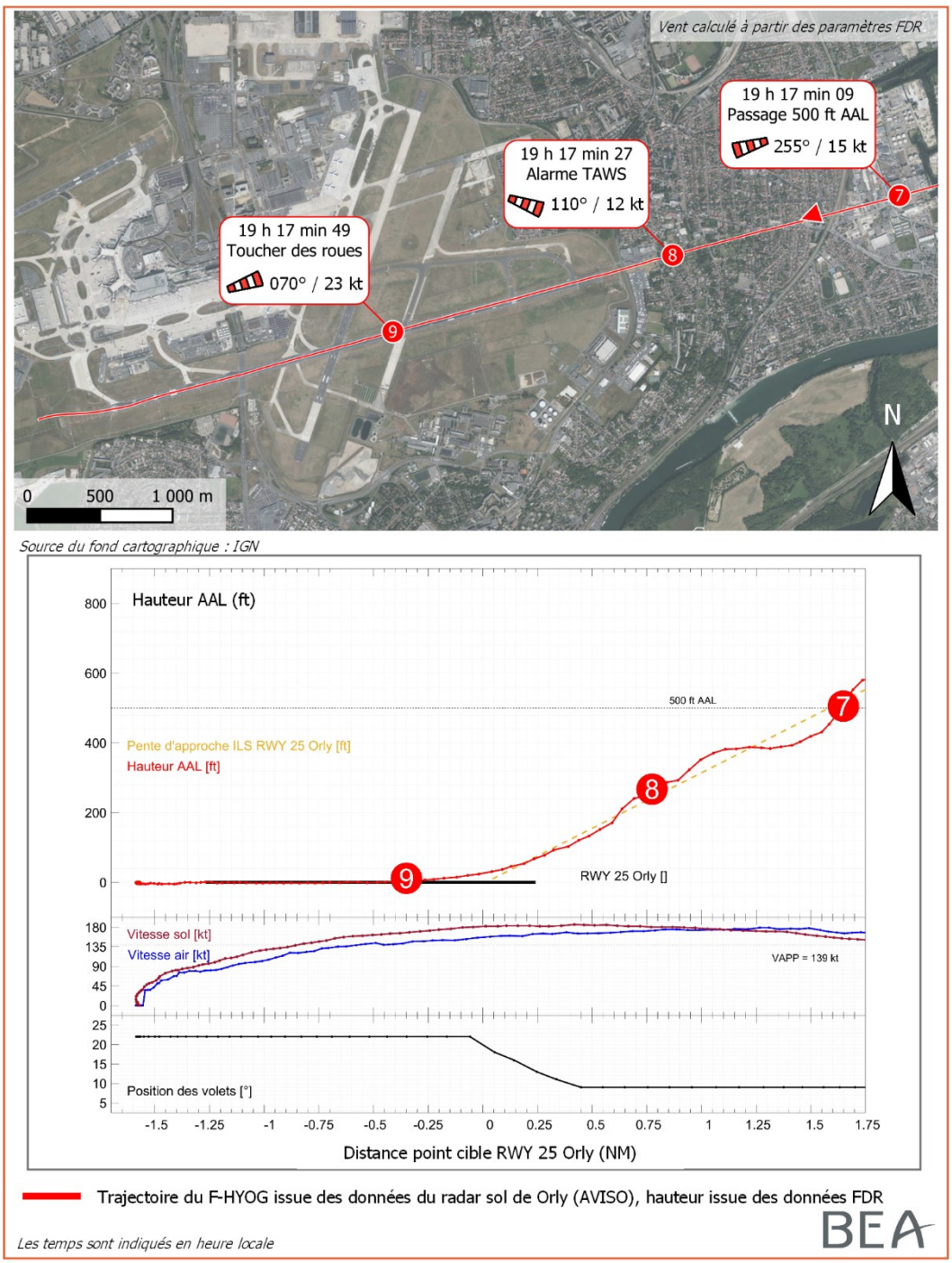

Figure 3 : fin de la trajectoire du F-HYOG

2 RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES

2.1 Renseignements sur le personnel

2.1.1 Renseignements sur l'équipage

Le CDB, âgé de 61 ans, était titulaire d'une licence de pilote de ligne ATPL(A). Il totalisait environ 8 000 heures de vol, dont environ 1 300 sur type. Il occupait les fonctions de CDB depuis 2008.

Le copilote, âgé de 46 ans, était titulaire d'une licence de pilote de ligne ATPL(A). Il totalisait environ 3 500 heures de vol, dont environ 3 300 sur type.

2.1.2 Témoignage de l'équipage

L'équipage connaissait bien l'aéroport Paris-Orly, il l'utilisait de manière régulière. Les deux membres d'équipage précisent qu'ils n'étaient pas fatigués pour la réalisation de ce vol. Ils volaient régulièrement ensemble.

Le copilote indique qu'au cours du briefing « approche », lorsqu'il a évoqué la menace que représentaient les cumulonimbus, cela sous-entendait la présence possible de cisaillements de vent, de la foudre ou de la grêle. Il considérait que ces risques étaient connus et que la mesure d'atténuation implicite était l'évitement.

Le CDB mentionne que lors de la descente, il a pris certaines décisions car il a considéré que le copilote « s'effaçait ». De son côté, le copilote explique qu'en raison du manque de considération de ses contributions dans une situation dynamique et dégradée, il a choisi d'insister sur ses demandes liées à la gestion de la trajectoire puis de se concentrer sur le pilotage. Les deux membres d'équipages précisent que le chef pilote de l'exploitant avait déjà discuté avec le CDB de sa position vis-à-vis des copilotes, lui demandant de leur laisser plus de place. Le copilote indique en particulier que le CDB n'était pas toujours réceptif, ajoutant que c'était également le cas avec d'autres CDB avec lesquels « *il fallait se battre pour exister* ». Il essayait de faire la part des choses, sans se plaindre. Le CDB explique qu'ils se connaissaient suffisamment pour s'attendre à une réaction du copilote en cas de désaccord. Il ajoute que selon lui, le copilote exprimait habituellement ses opinions et n'était pas effacé. Le CDB indique qu'il lui paraît facile d'avoir un bon CRM quand tout va bien, mais que l'application de ces principes devient difficile dans des conditions dégradées.

Le CDB indique, qu'une fois qu'il a pris l'ATIS qui mentionnait une piste sèche avec des orages dans les environs, il a calculé et annoncé les performances à l'atterrissage avec ces paramètres. Il ajoute qu'il a également regardé, sans les évoquer, les paramètres pour une piste mouillée.

Le CDB précise qu'il a choisi une vitesse de 200 kt pour l'approche initiale, pour garantir le confort des passagers. Au début de l'approche, il souhaitait longer les cellules qui ne lui paraissaient pas très actives, et éviter d'allonger la trajectoire pour tenir compte de la présence de personnalités à bord. Quant au copilote, il souhaitait s'éloigner des cellules, estimant qu'elles étaient très actives. Une divergence de perception existait entre les deux membres d'équipage. Ils expliquent avoir traversé des zones de pluie à partir de la fin de la branche vent arrière. Ils étaient cependant en vue du sol, sous la base des nuages. Ils ajoutent que, lors de l'approche finale, leur radar météo leur indiquait du rouge sur la trajectoire d'approche interrompue prévue. L'approche interrompue n'était pas une option qu'ils envisageaient.

L'équipage précise qu'il a été surpris par l'état réel de la piste. Le copilote ajoute qu'il s'attendait à avoir une information actualisée de l'état de la piste de la part du contrôleur en cas d'évolution. Par ailleurs, les deux membres d'équipage ne se sont pas rendu compte du vent arrière. Ils expliquent que le vent n'avait pas été annoncé par le contrôleur. Selon eux, l'environnement dans lequel ils ont atterri n'était pas celui auquel ils s'attendaient.

Le CDB souligne qu'il n'a pas compris pourquoi le mode du guidage vertical GLIDESLOPE s'est désengagé lors de l'interception. L'équipage a ensuite essayé de rattraper le plan de descente avec le mode vitesse verticale (VS). Le CDB explique qu'il avait déjà réalisé une capture du plan de descente par le dessus lorsqu'il travaillait pour un autre exploitant.

Le CDB indique que la vitesse était en réduction, tout au long de l'approche finale. Il estime qu'il a été trop « complaisant » vis-à-vis de la trajectoire, des paramètres et du pilotage du copilote, lequel lui est apparu très concentré et très inquiet. Les paramètres lui paraissaient évoluer dans le sens de la correction. Le CDB n'explique pas pourquoi les procédures n'ont pas été respectées pour cette phase de vol. Il pense qu'il n'a pas été assez directif. Dans un second temps, le CDB explique qu'il a voulu laisser davantage de marge de manœuvre au copilote, tenant compte des échanges qu'il avait eus avec le chef pilote.

Le copilote explique qu'il a dédié ses ressources disponibles, compte tenu des conditions de vol dégradées, à se concentrer sur le pilotage. Il comptait beaucoup sur le CDB à travers sa fonction de PM (voir § 2.6.2). Il indique ainsi qu'il a rencontré des difficultés à rattraper le plan de descente et qu'il était particulièrement concentré sur la tenue de la trajectoire lors des phases de pilotage manuel.

Le CDB rapporte qu'il avait déjà vécu une situation compliquée, lorsqu'il travaillait pour un autre exploitant. Il se souvient d'un incident où, en remise de gaz, le copilote était resté figé sur les commandes. Il explique qu'il n'a pas opté pour une remise de gaz lors de cet incident grave par crainte de se retrouver dans une situation similaire, d'autant que le radar météorologique indiquait des cellules droit devant. Le CDB justifie ses encouragements en direction du copilote pendant la finale, car il le sentait très concentré sur son pilotage et sur l'atterrissage. Le CDB indique également que la présence de personnalités à bord a potentiellement influencé la décision de ne pas effectuer de remise de gaz.

Le CDB explique qu'il a changé la stratégie de configuration des volets pour l'atterrissage afin d'avoir une marge de vitesse plus élevée en raison des conditions météorologiques difficiles rencontrées au début du vol et des turbulences. Les deux pilotes avaient l'impression qu'ils étaient proches de la stabilisation lorsqu'ils étaient à une hauteur de 1 000 ft et que les paramètres évoluaient dans le bon sens.

Les pilotes indiquent tous deux qu'ils n'ont pas entendu l'alerte « *TOO LOW TERRAIN* ».

Le CDB explique qu'il a passé en revue, sans la verbaliser, la check-list « avant atterrissage », ce qui l'a amené à détecter l'absence des volets 22°. Le copilote explique qu'il n'a pas entendu le CDB annoncer en courte finale que les volets n'étaient pas en configuration 22°ni qu'il les mettait.

Le copilote regrette que le CDB n'ait pas effectué les annonces de déviation. Il estime que celles-ci auraient pu constituer un élément déclencheur d'une remise de gaz de sa part.

Selon les deux membres d'équipage, ils ont atterri à l'endroit habituel, peut-être un peu plus loin. Néanmoins, comme ils devaient sortir en bout de piste en raison de travaux sur les bretelles (voir § 2.4.1), cela ne posait normalement pas de problème. De plus, compte tenu de la dernière information d'état de piste (mouillée glissante, freinage bon), le CDB a considéré que la longueur de piste était suffisante, puisqu'en général l'avion freinait bien.

L'équipage rapporte enfin qu'il s'en est suivi une phase d'aquaplanage avec une absence totale d'efficacité du système de freinage.

2.1.3 Témoignages des contrôleurs aériens

Le contrôleur du secteur d'approche intermédiaire (ITM) explique qu'il ne pensait pas écourter autant la trajectoire de l'avion avant l'interception de l'axe de l'ILS, tout en étant conscient que la présence de cumulonimbus pouvait entraîner des déviations de trajectoire.

Il mentionne qu'il se souvenait d'une discussion récente avec un spécialiste des systèmes de radionavigation qui lui avait indiqué qu'à 2 000 ft, la qualité du signal radio lors de l'interception de l'ILS était moins bonne qu'à des altitudes supérieures[10]. Cependant, il a rapidement accédé à la demande de l'équipage de raccourcir sa trajectoire puis a demandé la descente à 2 000 ft. Le contrôleur explique qu'il considère que l'équipage est en général plus à même de choisir sa trajectoire dans des conditions orageuses. Il a constaté que l'avion était resté à 3 000 ft, mais qu'il allait tout de même intercepter le plan de descente par le dessous, même si le palier de stabilisation de 30 s avant interception n'était pas respecté[11].

Le contrôleur tour en position LOC explique qu'il ne connaissait pas l'état de la piste en temps réel. Il disposait cependant de l'information RWYCC fournie par l'exploitant d'aéroport (voir § 2.4.2). Il précise qu'il n'a pas la possibilité, depuis la tour de contrôle, d'estimer la quantité d'eau sur la ou les pistes.

2.2 Renseignements sur l'avion et le site

2.2.1 Système TAWS

L'avion était équipé d'un système d'alerte de proximité du sol (TAWS) de type EGPWS fabriqué par Honeywell. L'analyse des données relatives à l'incident grave a montré qu'une alerte EGPWS de Mode 4B *TOO LOW TERRAIN* a été enregistrée alors que l'avion était à 0,47 NM (soit 860 m) du seuil de piste.

Le Mode 4B de l'EGPWS alerte l'équipage lorsque la marge au relief est insuffisante et que l'avion n'est pas configuré pour l'atterrissage. Un message visuel GND PROX et un message audio « *TOO LOW TERRAIN* » ou « *TOO LOW FLAPS* » sont alors générés, en fonction de la vitesse (seuil à 159 kt) :

- en cas d'alerte « *TOO LOW TERRAIN* », les procédures de l'exploitant demandent d'ajuster la trajectoire ou de remettre les gaz ;
- en cas d'alerte « *TOO LOW FLAPS* », les procédures de l'exploitant demandent de corriger la configuration ou de remettre les gaz.

2.2.2 Système de freinage de l'avion

L'avion est doté d'un système de freinage normal muni d'une fonction antipatinage, d'un système de freinage d'urgence, et de destructeurs de portance (*spoilers*). Le F-HYOG n'est en revanche pas doté d'inverseurs de poussée. C'est le seul avion de la flotte de l'exploitant qui n'en est pas équipé. Le freinage normal est commandé par les palonniers.

[10] La DSNA a indiqué au BEA qu'il n'existait pas de problème de réception de cette nature.

[11] Ce palier de stabilisation n'est plus règlementairement demandé. Il reste cependant une bonne pratique.

Lorsque les *spoilers* sont armés, leur sortie est commandée automatiquement lors du toucher des roues.

Le freinage d'urgence est commandé par la poignée du frein de stationnement. En cas d'activation du freinage d'urgence, la fonction antipatinage est perdue.

2.2.3 Description du site et des dommages

La position finale de l'avion est située à environ 450 m de l'extrémité de piste 25, et 50 m à droite de l'axe de piste. Les traces laissées par les trains dans la terre meuble indiquent que l'avion était en dérapage et orienté vers la gauche au cours de sa trajectoire hors de la piste. L'avion n'a pas heurté d'obstacle en dehors de la chaîne délimitant la zone sensible du localizer.

L'examen de l'avion a conduit aux observations suivantes :

- l'avion n'a pas subi de dommage structurel ; seul le carénage du train principal gauche a été légèrement endommagé ;
- aucune trace de fuite de fluide hydraulique n'a été observée ;
- l'usure des freins était dans les tolérances ;
- la pression des amortisseurs correspondait aux spécifications du constructeur ;
- les pneumatiques du train principal droit présentaient une très légère surpression. Celle-ci n'a probablement pas contribué à la sortie de piste ;
- le pneumatique extérieur du train principal gauche présentait des traces d'usure prononcées, mais dans les tolérances indiquées par le constructeur. D'après le CDB, cette usure était déjà présente au départ de l'avion ;
- les quatre pneumatiques des trains principaux présentaient tous une zone de réversion du caoutchouc de la bande de roulement, conséquence d'un phénomène d'aquaplanage.

2.3 Renseignements météorologiques

Le jour de l'incident grave, le soleil s'est couché à 18 h 51.

L'ATIS enregistrée à 18 h 28, utilisée par l'équipage pour le briefing « approche », contenait notamment les informations suivantes :

- piste 25, état de surface 666 publié à 16 h 10 (voir § 2.4.2) ;
- vent 170° pour 6 kt ;
- orages à proximité ;
- peu de nuages (FEW) à une hauteur de 4 000 ft, peu de cumulonimbus (CB) à une hauteur de 6 600 ft ;
- température 21 °C.

Météo-France précise qu'en fin d'après-midi et en soirée, une masse nuageuse pluvio-instable remontait du sud-ouest, avec en son sein des développements orageux, plutôt disparates sur la région parisienne, mais plus prononcés et fréquents en allant vers la Seine-et-Marne (77) et notamment sa partie sud (davantage d'air chaud et instable dans les basses couches).

Une cellule orageuse était présente sur la piste 25 au moment de l'approche finale. Elle était d'une intensité modérée à forte. Ce type de cellule génère très souvent du cisaillement de vent en direction et force. C'était le cas au seuil de la piste 25 où le vent était perturbé par la cellule orageuse au travers du « courant de densité », vent issu de la cellule orageuse.

À 19 h, le cœur de l'orage était au sud du seuil 25 et le vent y était de secteur sud. La force du vent était également en augmentation avec une rafale maximale relevée de 36 kt à 19 h 14. L'orage s'est ensuite décalé vers l'est et le vent était de secteur sud-est puis, au moment de l'atterrissage vers 19 h 18, il était de secteur est avec une force d'environ 25 kt.

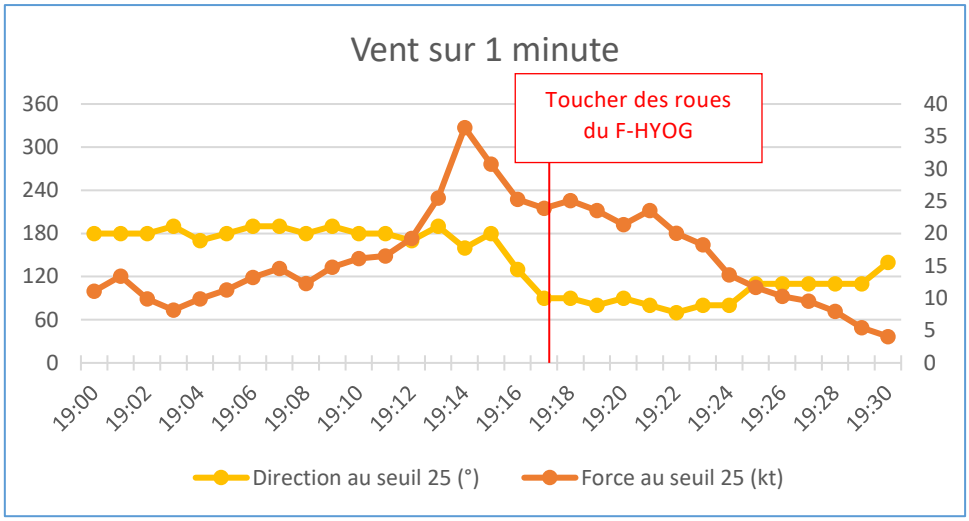

Figure 4 : direction et force du vent au seuil 25 (Source : Météo-France)

Au toucher des roues à 19 h 17 min 49, le vent calculé à partir des paramètres du FDR était de 070°/23 kt. Cette donnée est cohérente avec les données fournies par Météo-France.

La station météorologique de l'aéroport Paris-Orly a mesuré 10,3 mm de précipitation en l'espace de six minutes, entre 19 h 12 et 19 h 18. Ce type de phénomène se rencontre en moyenne une fois tous les dix ans d'après Météo-France.

2.4 Renseignements sur l'aéroport Paris-Orly

2.4.1 Information aéronautique

L'aéroport Paris-Orly (altitude de 291 ft) possède trois pistes : 02/20, 06/24 et 07/25. Dans la configuration « face à l'ouest », configuration en vigueur au moment de l'incident grave, la piste 25 est utilisée pour les atterrissages, la piste 24 pour les décollages.

La piste 25 (QFU 253°) est une piste revêtue, en béton bitumineux dont la bande mesure 3 320 m de long et 45 m de large. La distance disponible pour l'atterrissage (LDA) est de 2 885 m en raison d'un seuil décalé en piste 25.

Le jour de l'incident grave, les bretelles W35 et W36 étaient fermées pour travaux, favorisant le roulage vers les parkings via la bretelle W37, située en bout de piste 25.

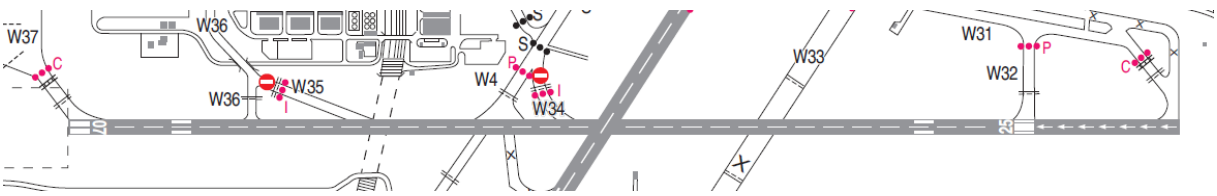

Figure 5 : vue de la piste 07/25 (Source : SIA)

La piste 25 est dotée d'un PAPI, situé à 450 m du seuil de piste (au travers du point cible). Après le marquage du point cible, les trois marquages au sol de la zone de toucher des roues (TDZ) sont espacés de 150 m.

La piste 25 dispose du balisage lumineux suivant (voir § 2.5.7) :

- balisage latéral : rouge au niveau du seuil décalé sur les 435 premiers mètres, blanc sur les 2 285 mètres suivants et jaune sur les 600 derniers mètres ;
- balisage axial : blanc sur les 2 420 premiers mètres, blanc et rouge sur les 600 mètres suivants puis rouge sur les 300 derniers mètres ;
- balisage de la TDZ, 900 premiers mètres depuis le seuil décalé.

2.4.2 Renseignements sur l'exploitant de l'aéroport

L'aéroport est exploité par la société Aéroport De Paris (ADP). ADP a notamment la charge de la caractérisation de l'état des pistes.

Les agents d'ADP conduisent des inspections quotidiennes règlementaire (trois par jour), des inspections spécifiques (après un événement ou une intervention sur l'aire de manœuvre) et des inspections à la demande (du Service de la Navigation Aérienne par exemple) sur l'ensemble des pistes. Ces inspections ont notamment pour but de caractériser l'état de surface des pistes. Le Manuel d'exploitation d'ADP précise également qu'une caractérisation de l'état de surface des pistes doit être menée dès lors que les conditions de surface des pistes sont susceptibles d'avoir évolué (à cause d'un changement météorologique, par exemple).

Dans le cadre du GRF (*Global Reporting Format*), l'agent ADP établit les codes d'état de piste RWYCC (*Runway Condition Code*) et le rapport sur l'état des pistes RCR (*Runway Condition Report*). Le RWYCC est ainsi composé de trois chiffres, correspondant à chaque tiers de piste, dans le sens d'utilisation de la piste.

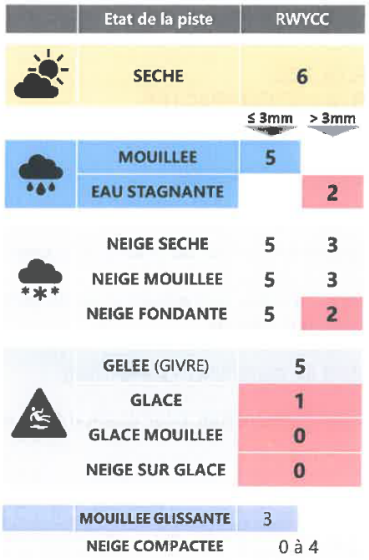

Figure 6 : matrice d'évaluation de l'état de piste (Source : ADP)

La piste 07/25 est équipée de trois sondes Boschung[12] qui fournissent minute par minute un RWYCC basé notamment sur la quantité d'eau mesurée. Le temps de traitement et d'analyse de l'information est de l'ordre de deux minutes (interne à la sonde).

Le mode nominal pour la caractérisation de l'état de piste se fonde principalement sur le suivi :

- des observations terrain ;
- du suivi des conditions météorologiques ;
- de la remontée des équipements de mesure en continu sur les pistes (sondes Boschung et stations météorologiques associées).

Si l'état de la piste est code 6 (SÈCHE) ou code 5 (MOUILLÉE), l'agent s'assure que les données des sondes et les codes résultants sont cohérents avec ce qu'il peut observer à l'extérieur. En cas de doute, une inspection sur les aires de manœuvre peut être effectuée. Pour les autres états de piste, une inspection sera réalisée afin de caractériser l'état de surface de la piste.

Le jour de l'incident grave, l'état de la piste 25 a été évalué au cours de plusieurs inspections :

- à 5 h 40, avec un RWYCC 555 ;
- à 16 h 07, avec un RWYCC 666[13] ;
- à 18 h 56, avec un RWYCC 555[14].

À 19 h 18[15], après le passage du phénomène orageux, la sonde Boschung du deuxième tiers de piste a remonté un code 2 (EAU STAGNANTE) après avoir mesuré 4 à 5 mm d'eau stagnante. La sonde est repassée au code 5 à 19 h 26.

ADP précise qu'il faut compter entre 10 et 15 minutes pour effectuer une inspection des aires de manœuvre afin de caractériser l'état de piste. ADP indique aussi qu'en cas de phénomène météorologique court, intense et localisé (comme lors de l'incident grave), il est presque impossible d'avoir des informations fiables en temps réel. Il est exceptionnel de passer à un code 2 en termes de précipitations liquides. ADP ajoute enfin que l'une des meilleures sources d'information est le *pilot report* (PIREP), encore trop peu souvent utilisé.

À ce titre, vers 19 h 06, le contrôleur d'approche a justement partagé avec un équipage sur la fréquence une information remontée par un autre équipage au contrôleur tour : piste mouillée, bon freinage.

Le F-HYOG était le premier avion à atterrir après le passage du phénomène orageux qui a provoqué le pic de précipitations, le précédent avait atterri à 19 h 11 min 30.

[12] Capteurs intégrés dans la piste, encore au stade expérimental, sur chaque tiers de la piste.
[13] Information disponible dans l'information ATIS utilisée par l'équipage.
[14] Selon les relevés de Météo-France, les premières gouttes de pluie sont tombées à 18 h 48.
[15] Après l'atterrissage du F-HYOG.

2.5 Gestion et conduite de l'approche et de l'atterrissage

2.5.1 Briefing « Approche »

Le Manuel d'exploitation de l'exploitant[16] précise que *le briefing « approche » doit être effectué par le PF et doit être le plus court possible. […] L'objectif principal de ce briefing est d'informer le PM du projet d'action pour l'approche. Le briefing doit être pratique, concis et conduit de manière logique. Il est très important que les possibles incompréhensions soient résolues à ce moment. […] Les items suivants doivent être au moins discutés :*

- *[…]*
- *menaces connues ou attendues pendant l'approche et l'atterrissage ;*
- *items spéciaux si importants (météorologie, […], longueur de piste requise si elle est considérée limitative et freinage associé) ;*
- *toutes questions ou clarifications et autres détails pertinents (givrage, cisaillement de vent, vent de travers…) ;*

[…]

2.5.2 Conduite d'une approche ILS

Le Manuel d'exploitation de l'exploitant et la documentation du constructeur contiennent un schéma de principe pour la conduite d'une approche ILS. Ce schéma contient les vitesses cibles pour les différents segments, ainsi que la séquence de sortie des volets et du train d'atterrissage.

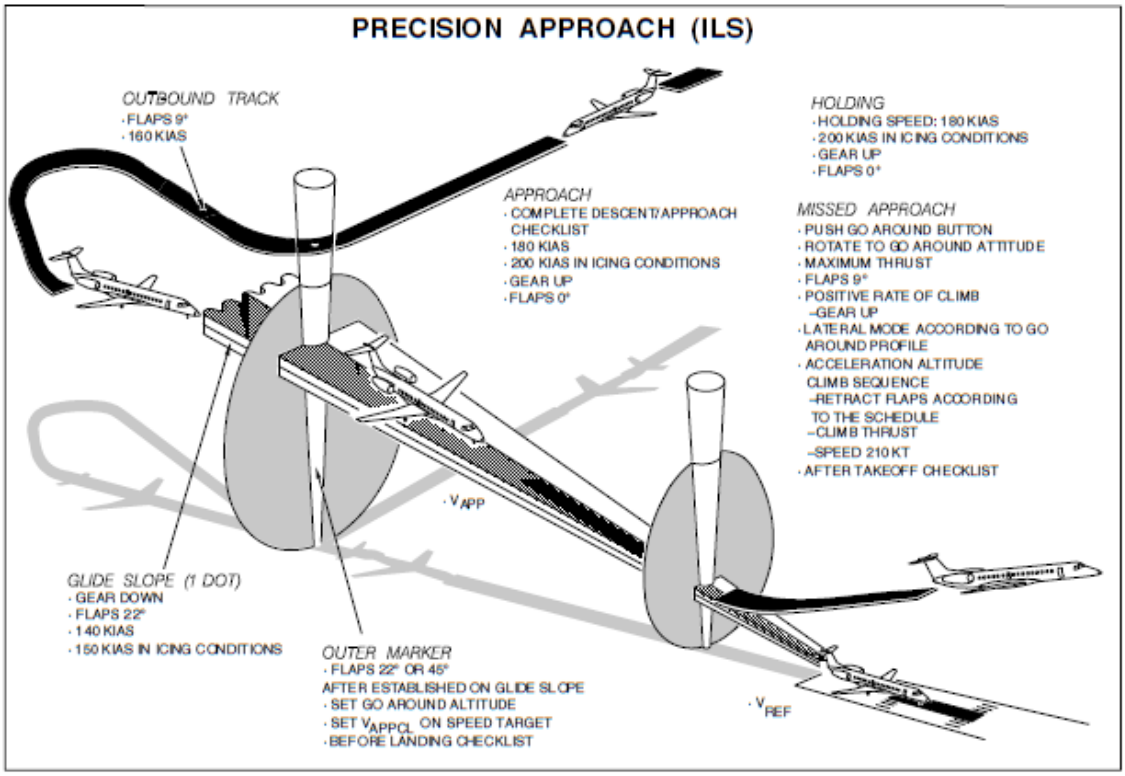

Figure 7 : conduite d'une approche ILS (Source : Amelia International)

[16] Le Manuel d'exploitation d'Amelia International est rédigé en langue anglaise. Les citations du manuel figurant dans ce rapport sont des traductions réalisées par le BEA et apparaissent en italique.

Le Manuel d'exploitation de l'exploitant précise que *sur le segment de base et/ou avec des caps de rapprochement demandés par le contrôleur […], il faut réduire à 180 kt et sortir les volets 9°. Avant d'intercepter le plan du glide ou le point de descente, sortir le train d'atterrissage, les volets 22° et réduire la vitesse au minimum à 140 kt*.

Ces éléments ne prennent pas en compte des contraintes opérationnelles liées par exemple à des consignes ATC ou aux conditions météorologiques.

2.5.3 Vitesses cibles

Le Manuel d'exploitation de l'exploitant précise que la vitesse recommandée en cas de turbulence sous 10 000 ft est de 200 kt.

Les vitesses maximales pour la manœuvre et l'utilisation des volets (VFE) sont les suivantes :

- configuration volets 45° : VFE = 145 kt ;
- configuration volets 22° : VFE = 200 kt ;
- configuration volets 9° : VFE = 250 kt.

Le manuel de vol de l'Embraer EMB145 définit les vitesses de référence et d'approche :

- VREF : la vitesse à 50 ft de hauteur pour un atterrissage normal, sans vent ;
- VAPP : la VREF corrigée d'une valeur fonction du vent de face et de la rafale reportés.

L'équipage avait appliqué la correction par défaut, égale à 5 kt. C'est également la correction applicable dans des conditions de vent telles que celles reportées au moment de l'autorisation d'atterrissage.

Le QRH[17] de l'avion donne les vitesses suivantes, à une masse de 18 t, avec le vent pris en compte par l'équipage (170°/6 kt), après avoir rencontré des conditions givrantes[18] :

- pour un atterrissage avec les volets 45° (configuration initialement prévue par l'équipage) :
    - VREF = 131 kt et VAPP = 136 kt,
- pour un atterrissage avec les volets 22 (configuration finalement retenue par l'équipage) :
    - VREF = 134 kt et VAPP = 139 kt.

La documentation fixe la limite de vent arrière pour l'atterrissage à 10 kt. En prenant en compte le vent fourni à l'ATIS, le vent arrière était quasi nul. Lorsque la clairance d'atterrissage a été délivrée, la composante de vent arrière du vent annoncé était de 8,5 kt. Cependant, le vent était changeant en raison de la présence de la cellule orageuse. Le vent arrière calculé à partir des données du FDR était de 15 kt au passage du seuil, et de 23 kt au toucher des roues.

La documentation fixe également des limites de vent traversier pour l'atterrissage en fonction de l'efficacité de freinage rapportée. Pour une efficacité de freinage *medium/good*[19], la limitation de

[17] *Quick reference handbook*

[18] L'avion avait détecté des conditions givrantes pendant la montée après le décollage de l'aéroport de Rodez-Marcillac.

[19] Le Manuel d'exploitation, en vigueur à la date de l'incident grave, ne faisait pas référence au GRF pour cette limitation.

vent traversier est de 20 kt ; pour une efficacité *good*, elle est de 30 kt. La valeur de vent traversier le jour de l'incident grave n'était pas supérieure à la limite. Au moment de l'atterrissage, le vent traversier avait diminué et n'était plus un facteur.

L'information de vent calculée par le FMS est disponible sur les écrans des deux membres d'équipage.

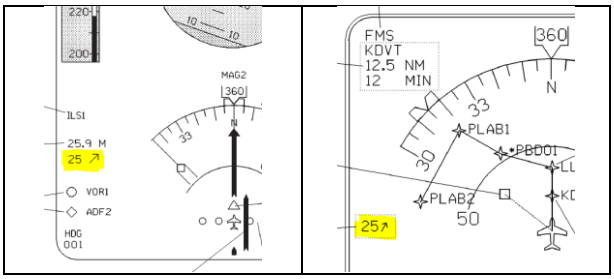

Figure 8 : information de vent sur le PFD et le MFD (Source : Embraer)

2.5.4 Capture du *glide* par le dessus

Le Manuel d'exploitation de l'exploitant ne contient pas de procédure relative à la capture du plan du *glide* par le dessus. L'exploitant précise par ailleurs que les pilotes ne sont pas entraînés à une telle procédure.

La documentation du constructeur contient une telle procédure, dans la section « Procédures et techniques » du manuel de procédures opérationnelles standard (SOP), qui précise que les pilotes devraient éviter les situations qui conduisent à ce type de capture du *glide*. Le constructeur recommande de[20] :

- *surveiller tous les paramètres pour une approche stabilisée et annoncer tout écart. À la discrétion du pilote, sortir le train d'atterrissage pour éviter d'augmenter la vitesse ;*
- *confirmer que le mode de guidage vertical GLIDESLOPE est armé au FMA ;*
- *utiliser le mode de guide vertical VS pour intercepter le plan du glide ;*
- *surveiller l'écart au plan et l'engagement du Mode GLIDESLOPE (vert au FMA), quand le plan est capturé.*

Cette procédure précise que l'équipage doit alors vérifier que l'avion a capturé le bon faisceau du plan de descente, en raison du risque d'interception d'un lobe secondaire dans cette situation. En revanche, cette procédure ne précise pas qu'il faut sélectionner au FGC une altitude supérieure à l'altitude courante, afin d'éviter de capturer par la suite une altitude non souhaitée, comme l'altitude pour l'approche interrompue si elle était plus basse.

2.5.5 Critères de stabilisation

L'exploitant précise que le plancher pour les critères de stabilisation est à 1 000 ft AAL en IMC et 500 ft AAL en VMC. Le Manuel d'exploitation de l'exploitant précise les différents critères qui doivent être tous établis pour qu'une approche soit considérée comme stabilisée :

[20] La documentation du constructeur est rédigée en langue anglaise. Les citations de la documentation figurant dans ce rapport sont des traductions réalisées par le BEA et apparaissent en italique.

1. *l'avion est sur la trajectoire de vol (latéralement et verticalement dans la moitié de l'échelle de déviation par rapport à l'instrument de navigation qui est la principale source de navigation pendant l'approche. […]) ;*
2. *l'angle d'inclinaison est égal ou inférieur à 15° ;*
3. *seuls des changements mineurs de cap et d'inclinaison sont nécessaires pour maintenir la trajectoire de vol correcte ;*
4. *la vitesse indiquée ne doit pas être inférieure à VREF ni supérieure à VREF + 20 kt ;*
5. *l'avion est dans la bonne configuration d'atterrissage ;*
6. *la vitesse verticale ne dépasse pas 1 000 ft/min ;*
7. *la poussée est stabilisée au-dessus du ralenti pour maintenir la vitesse cible sur la trajectoire de descente souhaitée ;*
8. *la position permet un atterrissage dans la zone de toucher des roues de la piste, en utilisant des manœuvres normales ; et*
9. *tous les briefings et check-lists ont été complétés.*

Si, lors du passage de 1 000 ft AAL en IMC, de 500 ft AAL en VMC ou à tout moment par la suite, mais avant d'atteindre 50 ft, l'un des paramètres ci-dessus est dépassé, une approche interrompue (remise de gaz) doit être effectuée.
Un membre de l'équipage de conduite constatant un dépassement de l'un des paramètres ci-dessus doit immédiatement en informer le PF et vérifier qu'une remise des gaz a été débutée.

Une annonce standard est prévue par le Manuel d'exploitation à l'altitude de stabilisation, en fonction de la situation vis-à-vis des critères de stabilisation : « *1000 FT, STABILIZED* » ou « *1000 FT, GO AROUND* ».

Le Manuel d'exploitation précise également que l'annonce SPEED doit être utilisée lorsque la vitesse est inférieure à VREF - 5 kt ou supérieure à VREF + 10 kt.

2.5.6 Calculs de performance à l'atterrissage

Le Manuel d'exploitation de l'exploitant établit que le CDB évalue la distance d'atterrissage avant d'entamer une approche, en prenant en compte les conditions estimées à l'heure d'arrivée et la configuration d'atterrissage prévue.

Il est également souligné dans le Manuel d'exploitation que, lorsque les conditions météorologiques peuvent conduire à une dégradation des conditions de piste, l'évaluation de la distance d'atterrissage devrait prendre en compte le niveau acceptable de dégradation des conditions de piste, afin de permettre une prise de décision rapide avant l'atterrissage.

La documentation de l'exploitant impose d'ajouter 15 % de marge de sécurité à la distance d'atterrissage opérationnelle (OLD[21]), basée sur les tables fournies par le constructeur, pour obtenir la distance d'atterrissage à l'heure de l'arrivée (LDTA[22]).

Avant la descente, l'équipage doit vérifier que la LDA (2 885 m dans le cas de la piste 25) est supérieure à la LDTA.

[21] *Operational Landing Distance.*
[22] *Landing Distance at Time of Arrival.*

Le tableau ci-dessous donne les valeurs d'OLD et de LDTA dans les configurations volets 22° et 45°, basées sur les paramètres suivants : masse de 18 t, altitude aéroport 291 ft, température 21 °C (ISA +6 °C), pente de la piste -0,1 % et conditions givrantes rencontrées.

		OLD (m)	LDTA (m)	OLD (m)	LDTA (m)
		Volets 22°		Volets 45°	
ATIS	**Vent 170°/6 kt (vent face = 1 kt) RWYCC 666**	1 452	1 670	1 320	1 518
Clairance atterrissage + PIREP	**Vent 140°/22 kt (vent arrière = 8,5 kt) RWYCC 555**	2 331	2 681	2 157	2 480
Limitation vent arrière = 10 kt RWYCC 222		3 970	4 565	3 360	3 862

Selon le Manuel d'exploitation, l'évaluation de la valeur de LDTA doit être inscrite sur le plan de vol opérationnel (OFP). La valeur de LDTA calculée par l'équipage et inscrite sur l'OFP[23] était de 1 369 m[24].

L'équipage n'avait pas partagé une évaluation préalable de la LDTA en cas de dégradation des conditions de piste. Il n'avait donc pas de base solide pour décider de poursuivre l'atterrissage alors que les conditions (vent arrière, piste mouillée) ne correspondaient pas à celles de l'ATIS.

Dans les conditions effectivement rencontrées, l'atterrissage n'était pas réalisable (vent arrière supérieur à 10 kt, piste contaminée). Toutefois, l'équipage n'a pas perçu le vent arrière et n'avait pas connaissance de l'état réel de la piste.

2.5.7 Toucher des roues

Le Manuel d'exploitation de l'exploitant indique que *pour effectuer un atterrissage en toute sécurité, la hauteur de l'avion au-dessus du seuil d'atterrissage doit être d'environ 50 ft. Cette hauteur peut varier en fonction des informations fournies sur la carte d'approche. L'approche finale doit être ajustée de manière à atterrir dans la zone de toucher des roues (TDZ), en tenant dûment compte des obstacles dans la zone d'approche finale, longueur de piste, conditions de piste, etc.*
Si l'atterrissage ne peut pas être effectué dans la TDZ, une approche interrompue doit être débutée. La TDZ est définie comme la zone s'étendant de 150 m à 1 000 m depuis le seuil d'atterrissage, ou du premier tiers de la piste (selon la valeur la plus petite)[25].

[23] *Operational Flight Plan.*
[24] Le calcul qui a permis d'établir cette valeur a été annoté sur le plan de vol opérationnel. Une erreur a été détectée. Elle concernait la valeur de référence de distance correspondant au cas « sans conditions givrantes rencontrées ». Cette erreur a minoré la LDTA de 87 m.
[25] 962 m sur l'aéroport Paris-Orly.

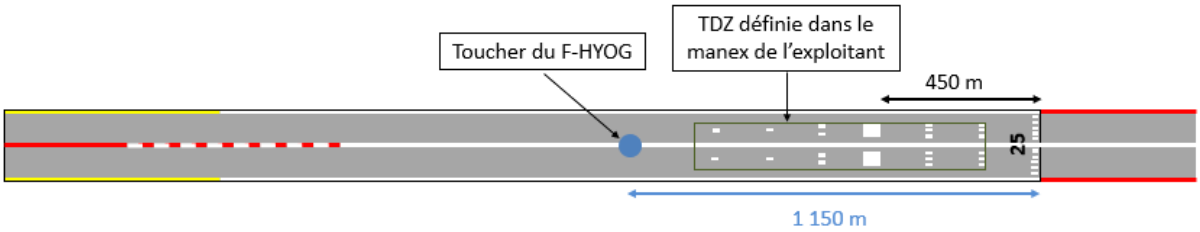

Figure 9 : schéma relatif au balisage et à la zone de toucher des roues du F-HYOG (Source : BEA)

La TDZ définie par l'exploitant ne permet pas aux équipages d'avoir une bonne conscience de la précision du toucher des roues. Le point cible est ici 450 m après le seuil de piste.

2.5.8 Procédure d'interruption de l'atterrissage

La documentation de l'exploitant ne contient pas d'information relative aux procédures d'interruption de l'atterrissage (*balked landing*). Les équipages ne sont pas donc entraînés à ce type de procédure par l'exploitant. Les normes relatives aux exigences de qualification et d'entraînement des équipages (Part-FCL) n'établissent pas d'exigences relatives à cette procédure.

Conformément aux spécifications de certification applicables à l'ERJ145 (§ CS 25.101(g)), la documentation du constructeur contient une procédure *rejected landing*. Cette dernière précise uniquement que la procédure est identique à une remise de gaz, que les *spoilers* se rétractent automatiquement lorsque les manettes de poussées sont poussées vers l'avant. Cette procédure ne mentionne pas de limites particulières associées à cette phase de vol.

2.5.9 Briefing « approche » de l'équipage

L'aéroport Paris-Orly était bien connu des deux membres d'équipage qui y atterrissent régulièrement, et dernièrement, ensemble. Lorsque les paramètres de vent et d'état de piste sont corrects, comme annoncé à l'ATIS, la piste 25 n'est pas limitative pour le F-HYOG. Cependant, l'ATIS mentionnait également la présence d'orages, information reprise dans le briefing « approche » conduit par le PF. Ce dernier a pris en compte les orages comme une menace de manière générale et a formalisé l'évitement le long de la trajectoire comme mesure d'atténuation. Il n'a pas détaillé l'ensemble des menaces associées à la présence des orages ni évoqué les mesures d'atténuation correspondantes, considérant qu'elles étaient implicites. De son côté, le PM n'a pas soulevé de doute ni demandé d'explications. Aucun projet d'action commun n'a été établi, en ce qui concerne la trajectoire. Par ailleurs, même s'ils ont indiqué dans leur témoignage qu'ils avaient en mémoire les autres dégradations potentielles liées aux orages, notamment pour la phase finale du vol (turbulence, cisaillement de vent, état de la piste), ces menaces n'ont pas été anticipées, discutées, et par conséquent, aucune stratégie d'atténuation n'a été évoquée. À ce titre, les performances et les limitations à l'atterrissage en situation dégradée n'ont pas été abordées (vent arrière, vent de travers, contamination de la piste).

2.6 Renseignements sur le CRM

2.6.1 Copilote en tant que PF

Le Manuel d'exploitation de l'exploitant précise que *lorsque le copilote est PF, le CDB doit prendre le rôle de PM et ne doit pas interférer avec les dispositions relatives au PF, ni son pilotage sauf si ceux-ci sont contraires à la sécurité, aux règles et aux procédures. Si le CDB n'est pas satisfait de la gestion du vol par le copilote, des instructions orales devront normalement suffire pour remédier à la situation. Dans des phases critiques du vol, cependant, il peut ne pas y avoir assez de temps pour attendre une réponse et dans ce cas, la seule alternative est de prendre immédiatement le contrôle de l'avion. Si cette action est considérée comme nécessaire, le CDB doit prendre le contrôle complet, en annonçant fort et clair « I have control ». Réaliser uniquement des corrections partielles ou exercer des actions sur les commandes ne sont pas acceptables car cela peut mener à des actions non coordonnées.*

2.6.2 Rôles du PF et du PM

Le Manuel d'exploitation de l'exploitant rappelle les différentes fonctions du PF et du PM :

- *Fonctions du PF :*
  - *décide de tous les éléments associés au vol : attitude, cap, altitude, réglage de la puissance, configuration, vitesse, navigation ;*
  - *dirige la préparation de la prochaine phase du vol au fur et à mesure de son avancement ;*
  - *lance les check-lists spécifiques ;*
  - *surveille les actions du PM ;*
  - *détermine les modes sur le FGC lorsque le pilote automatique est engagé ;*
  - *commande les modes sur le FGC en vol manuel avec le pilote automatique désengagé ;*
  - *décide du paramétrage des équipements de navigation disponibles et utilise le FMS ;*
  - *réalise le briefing décollage et le briefing approche.*
- *Fonctions du PM :*
  - *vérifie et exécute les actions demandées par le PF ;*
  - *signale tout écart ;*
  - *assure les radiocommunications avec l'ATC et utilise les équipements de communication disponibles ;*
  - *note chaque autorisation ATC et toute autre information vitale reçue par radio ;*
  - *exécute les check-lists demandées par le PF ;*
  - *surveille les actions du PF ;*
  - *utilise le FMS.*

  Remarque : en cas de doute sur les intentions du PF, il est de la responsabilité du PM de demander une explication.

2.6.3 Compétences non techniques

Dans ses rapports d'évaluation des pilotes (entraînements et contrôles), l'exploitant mesure les compétences non techniques des pilotes avec les critères suivants, conformément au règlement (UE) N° 965/2012, dit « Air Ops »[26] (voir GM6 ORO.FC.115) :

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

COOPERATION
> Team building and maintaining
> Consideration of others
> Support of others
> Conflict solving
LEADERSHIP AND MANAGEMENT SKILLS
> Use of authority and assertiveness
> Providing and maintaining standards
> Planning and co-ordination
> Workload management

SITUATIONAL AWARENESS
> Awareness of aircraft systems
> Awarness of external environment
> Awareness of time
DECISION MAKING
> Problem definition and diagnosis
> Option generation
> Risk assessment and option selection
> Outcome review

Figure 10 : assessment of non-technical skills (Source : Amelia International)

Dans le Manuel d'exploitation de l'exploitant, il est précisé, pour l'aspect *leadership et travail en équipage* :

- *crée un environnement d'équipe positif ;*
- *fait preuve d'initiative, donne des directives, implique les autres ;*
- *établit les priorités en matière de sécurité avec assurance ;*
- *fait preuve d'empathie et de respect*.

Dans les évaluations des deux membres d'équipage (une trentaine sur les trois dernières années par pilote), ces compétences ont toujours été notées satisfaisantes. Cependant, sur les évaluations du CDB, à deux reprises, l'évaluateur a spécifié qu'il pouvait mieux organiser le cockpit, en précisant sur l'une des évaluations que le suivi des procédures (« *patterns*, SOP ») et le partage des tâches devaient être améliorés.

2.6.4 Dégradation du travail de l'équipage au cours du vol

Dès le début de l'approche, les interactions entre le CDB et le copilote ont commencé à se dégrader : le CDB souhaitait raccourcir la trajectoire au maximum, l'objectif du copilote était de conserver une distance suffisante aux cellules orageuses. Aucun des pilotes n'a clairement communiqué à l'autre ses objectifs et l'atmosphère du poste s'est dégradée. Le CDB a peu tenu compte des propositions du PF. Le PF s'est effacé progressivement en constatant que ses apports n'étaient pas pris en compte.

Lors de l'approche, le CDB, au travers de messages très directifs, a commencé à empiéter sur les fonctions du PF, notamment sur la gestion de la navigation, le choix des vitesses et la gestion de la configuration, contribuant à une diminution de la conscience de la situation du copilote et à l'écarter des prises de décision. Le CDB, en s'impliquant dans des tâches attribuées au PF, n'avait probablement plus suffisamment de disponibilité pour assurer la fonction de PM.

Le travail de l'équipage s'est ainsi déstructuré : peu d'annonces techniques ont été effectuées, et les check-lists « approche » et « avant atterrissage » n'ont pas été verbalisées. L'équipage a perdu la conscience de la situation, notamment celle de l'énergie et de la configuration de l'avion, au regard du raccourcissement de la trajectoire demandé par le CDB.

En l'absence d'annonce d'écarts précis et sans objectif de stabilisation à 1 000 ft, le copilote a poursuivi l'approche, sous les encouragements du CDB « *C'est bon, tu es parfait, tu es un petit peu au-dessus, mais tu es bien* », « *allez c'est bon* », alors que quatre des neuf critères de stabilisation n'étaient pas remplis (vitesse, configuration, poussée des moteurs et check-list).

2.6.5 Actions prises par l'exploitant

L'enquête interne conduite par l'exploitant à la suite de l'incident grave avait recommandé une action de sécurité immédiate : un entraînement au simulateur (ensemble ou individuel) pour l'équipage. Cette session devait notamment permettre d'évaluer les compétences non techniques de l'équipage (voir § 2.6.3), sa capacité à suivre les procédures dans des situations chargées. Cette action n'a finalement pas été réalisée et l'équipage a été licencié.

Trois actions de sécurité supplémentaires ont également été émises dans le rapport de l'enquête interne :

- la refonte des entraînements au simulateur et du système de vérification ;
- la refonte de la formation CRM et des vérifications ;
- l'amélioration des audits des formations sur simulateur et des formations CRM.

À ce titre, en 2023, l'exploitant a revu son cours CRM pour ne plus se fonder uniquement sur l'analyse des événements, mais également sur les retours d'expérience des formateurs. Un nouveau support de formation a été créé et est désormais utilisé.

L'exploitant a également prévu de développer l'EBT (*Evidence Based Training*). À l'automne 2023, l'exploitant n'avait pas encore développé les solutions envisagées.

2.7 Événements similaires

Le BEA a récemment publié deux rapports d'enquête en lien avec le thème de la poursuite d'une approche non stabilisée liée à un raccourcissement de trajectoire et avec le thème de la perte de conscience de la situation en approche :

- incident survenu à l'Airbus A318-100 immatriculé F-GUGM exploité par Air France le 12 septembre 2020 à Paris-Orly (94) : Approche non stabilisée, déclenchement des alarmes MSAW et *Glide Slope* ;
- incident survenu à l'Airbus A318-100 immatriculé F-GUGD exploité par Air France le 20 décembre 2019 à proximité de l'aéroport Hyères-Le Palyvestre (83) : Capture d'un lobe secondaire de l'ILS en approche, augmentation de l'assiette sous pilote automatique, activation des protections du domaine de vol.

3 CONCLUSIONS

Les conclusions sont uniquement établies à partir des informations dont le BEA a eu connaissance au cours de l'enquête.

Scénario

Après avoir conduit un briefing « approche » avec une prise en compte partielle des menaces liées aux orages prévus dans l'ATIS, l'équipage a commencé la descente vers l'aéroport Paris-Orly.

Pendant la descente, l'équipage n'a pas réussi à se mettre d'accord sur la stratégie d'évitement des cellules orageuses. La répartition des rôles entre le PF et le PM ainsi que la prise de décision et la conscience partagée de la situation se sont progressivement dégradées. Le PM (CDB) a pris l'initiative sur les demandes du PF et les décisions relatives à la conduite de l'approche. Par la suite, il a agi sur certaines commandes sans coordination préalable avec le PF, entraînant une dégradation de sa propre capacité à exercer efficacement son rôle de PM.

Peu avant la capture simultanée du plan et de l'axe de l'ILS, l'avion est arrivé rapidement, avec une vitesse dépassant de plus de 60 kt celle préconisée pour l'interception du plan, et selon une trajectoire raccourcie. Ces facteurs ont conduit à la traversée de l'axe de l'ILS.

Le PF a rapidement corrigé la trajectoire horizontale au détriment de la trajectoire verticale. L'avion s'est retrouvé au-dessus du plan de descente. La sélection d'un cap par le PF sans l'annoncer a entraîné une réversion du mode de guidage qui a surpris le PM. Le PM a ensuite improvisé une procédure de rattrapage du plan de descente par le dessus ; cependant, ni la vitesse verticale choisie ni l'altitude sélectionnée ne permettaient de revenir sur le plan de descente nominal. Au cours de cette phase, la vitesse de l'avion, supérieure à la VFE, ne permettait pas la sortie des volets 22°, recommandée avant la capture du plan de descente. Le train d'atterrissage a néanmoins été sorti, et la sortie des volets 22° (demande et action) a finalement été oubliée. Ce n'est qu'après une phase de pilotage manuel par le PF que l'avion est revenu sur le plan de descente vers une altitude de 1 500 ft. Cette phase d'interception de l'axe et du plan de l'ILS, rapide, non préparée et peu coordonnée, a considérablement augmenté la charge de travail de l'équipage, ne lui permettant plus d'avoir une bonne conscience de la situation, de l'énergie de l'avion et de sa configuration.

Peu avant d'avoir atteint la hauteur de 1 000 ft AAL, le PM a décidé qu'ils atterriraient avec les volets 22°, même si les volets 45° avaient été décidés lors du briefing « approche » et confirmés 45 s plus tôt. La vitesse de l'avion dépassait de plus de 35 kt la VFE des volets 45°.

À 1 000 ft AAL, la stabilisation n'a pas été mentionnée alors que quatre des neuf critères de stabilisation n'étaient pas acquis : la vitesse était supérieure de 45 kt à la VAPP, l'avion n'était pas configuré, la poussée des moteurs n'était pas stabilisée et la check-list « avant atterrissage » n'avait pas été effectuée. Le PM n'assurait plus sa fonction de surveillance, occupé à d'autres tâches liées à la gestion du vol et au changement de stratégie. Le PF était très concentré sur le pilotage dans la turbulence et l'averse de pluie. Lors de la clairance d'atterrissage, l'équipage n'a pas intégré la composante de vent arrière de 8,5 kt.

Aucun écart n'a été annoncé par le PM en courte finale. Ce dernier a par ailleurs invité le PF à poursuivre, en l'encourageant. Cela a pu inciter le PF à écarter la possibilité d'une interruption de l'approche. Pendant l'approche finale, la direction du vent est passée de sud à sud-est puis est,

avec une force de l'ordre de 25 kt. L'équipage n'a pas détecté ce changement de vent. À une hauteur d'environ 240 ft AAL, une alerte visuelle et sonore TAWS a été émise en raison de la configuration des volets erronée. Les deux membres d'équipage indiquent ne pas avoir perçu cette alerte. Cependant, deux secondes plus tard, le PM s'est aperçu de l'oubli et a sorti les volets 22° en l'annonçant au PF, annonce non perçue par ce dernier.

L'effet aérodynamique lié à la sortie des volets dans l'effet de sol, la vitesse de l'avion supérieure de 30 kt à la vitesse de référence au passage du seuil et le vent arrière de près de 20 kt ont conduit à un atterrissage long, à 1 150 m du seuil de piste, au-delà de la zone de toucher des roues. Bien que conscient que cet atterrissage était long, le PM n'a pas ordonné l'interruption de l'atterrissage. Compte tenu de la dernière information d'état de piste (mouillée glissante, freinage bon), il a considéré que la longueur de piste était suffisante. L'équipage avait prévu de dégager la piste au bout de la piste.

Dans les faits, la zone située à mi-piste était contaminée par une eau stagnante de 4 à 5 mm d'épaisseur à la suite de l'orage passé quelques minutes plus tôt, alors que l'avion était en approche finale. L'avion a subi un phénomène d'aquaplanage à l'atterrissage. Aucun élément ne permettait à l'équipage de connaître l'état de piste réel. L'équipage était insuffisamment préparé à la survenue d'une dégradation des conditions pour l'atterrissage, en présence des orages. L'avion est sorti longitudinalement de la piste à haute vitesse et s'est immobilisé à environ 450 m de l'extrémité de la piste 25, et 50 m à droite de l'axe de piste.

Facteurs contributifs

Ont pu contribuer à la sortie de piste longitudinale :

- l'absence de partage des doutes et préoccupations de chacun des deux membres d'équipage, ayant conduit à l'absence d'un projet commun ;
- la déstructuration du travail en équipage lors de la descente et de l'approche notamment le non-respect de la répartition des rôles PF/PM ;
- une évolution vers un cockpit autocratique, avec une tendance du CDB à outrepasser son rôle de PM et un copilote PF, qui a pu accepter cette évolution sans chercher à s'affirmer ;
- l'absence de tentative de récupération de la synergie attendue, malgré la perception commune de la dégradation du CRM ;
- une gestion des erreurs et des menaces (TEM) incomplète dans une situation orageuse évolutive, avec en particulier l'absence d'identification des possibles limitations de piste, du vent arrière et du vent de travers dans un contexte orageux propice aux cisaillements de vent et aux averses ;
- la gestion inadaptée de la trajectoire et de l'énergie de l'avion par l'équipage, l'amenant à réaliser une interception du plan de descente par le dessus avec un avion trop rapide et non configuré ;
- la poursuite de l'approche par l'équipage, alors que la plupart des critères de stabilisation n'étaient pas remplis et qu'une alerte TAWS « *TOO LOW TERRAIN* » s'était déclenchée ;
- la poursuite de l'atterrissage, alors que l'atterrissage était long.

Enseignement de sécurité

Risques associés aux orages

Les informations disponibles aux équipages (état de surface de la piste, météorologie) ne permettent pas à ce jour une information précise en temps réel des conditions qui seront rencontrées lors de l'atterrissage. Pour des conditions météorologiques difficiles et fortement évolutives, le TEM développé dans le briefing « approche » doit considérer les menaces relatives à la trajectoire et à l'atterrissage pour permettre à l'équipage de prendre une décision adaptée le cas échéant. Il doit également inclure les mesures d'atténuation associées (stratégie, procédures, vérifications spécifiques), afin de garantir les marges de sécurité. En particulier en présence d'orages, l'équipage doit prendre en compte le vent (renforcement, rotation, cisaillement) et la probabilité de précipitations (changement d'état de surface de la piste), même quand les conditions annoncées sont nominales (vent calme, piste sèche).

Les constructeurs développent actuellement des systèmes de prévention des sorties de piste, tels que le ROAAS (*Runway Overrun Awareness and Alerting System),* permettant d'alerter l'équipage en cas de possibilité de sortie longitudinale de piste à l'atterrissage.

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.