

⁽¹⁾ Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en Temps universel coordonné (UTC). Il convient d'y ajouter une heure pour obtenir l'heure en France métropolitaine le jour de l'événement.

⁽²⁾ Au sein d'Air France, un copilote est désigné par Officier pilote de ligne (OPL).

⁽³⁾ Sauf mention contraire, les altitudes sont des altitudes QNH.

Incident de l'avion AIRBUS - A318 - 100 immatriculé F-GUGD

survenu le 20 décembre 2019

à proximité de l'aéroport Hyères-Le Palyvestre (83)

Heure	Vers 09 h 16 ⁽¹⁾
Exploitant	Air France
Nature du vol	Transport commercial de passagers
Personnes à bord	Commandant de bord (PM), copilote ⁽²⁾ (PF), 3 membres d'équipage de cabine et 114 passagers
Conséquences et dommages	Aucun

Capture d'un lobe secondaire de l'ILS en approche, augmentation de l'assiette sous pilote automatique, activation des protections du domaine de vol

1 - DÉROULEMENT DU VOL

Note : Les informations suivantes sont principalement issues des données de l'enregistreur de paramètres, des témoignages ainsi que des enregistrements des radiocommunications.

Le vol est en provenance de l'aéroport Paris-Orly (94) et à destination de l'aéroport Hyères-Le Palyvestre. L'équipage passe le point JULEE de la procédure d'arrivée au niveau de vol 110 (FL 110), en descente. Il est en contact avec Toulon Approche, numéro 1 à l'arrivée et autorisé à descendre jusqu'à 1 900 ft⁽³⁾ (voir [Figure 1](#) point ❶). L'équipage sélectionne l'altitude de 1 900 ft au Bandeau de contrôle du vol (FCU).

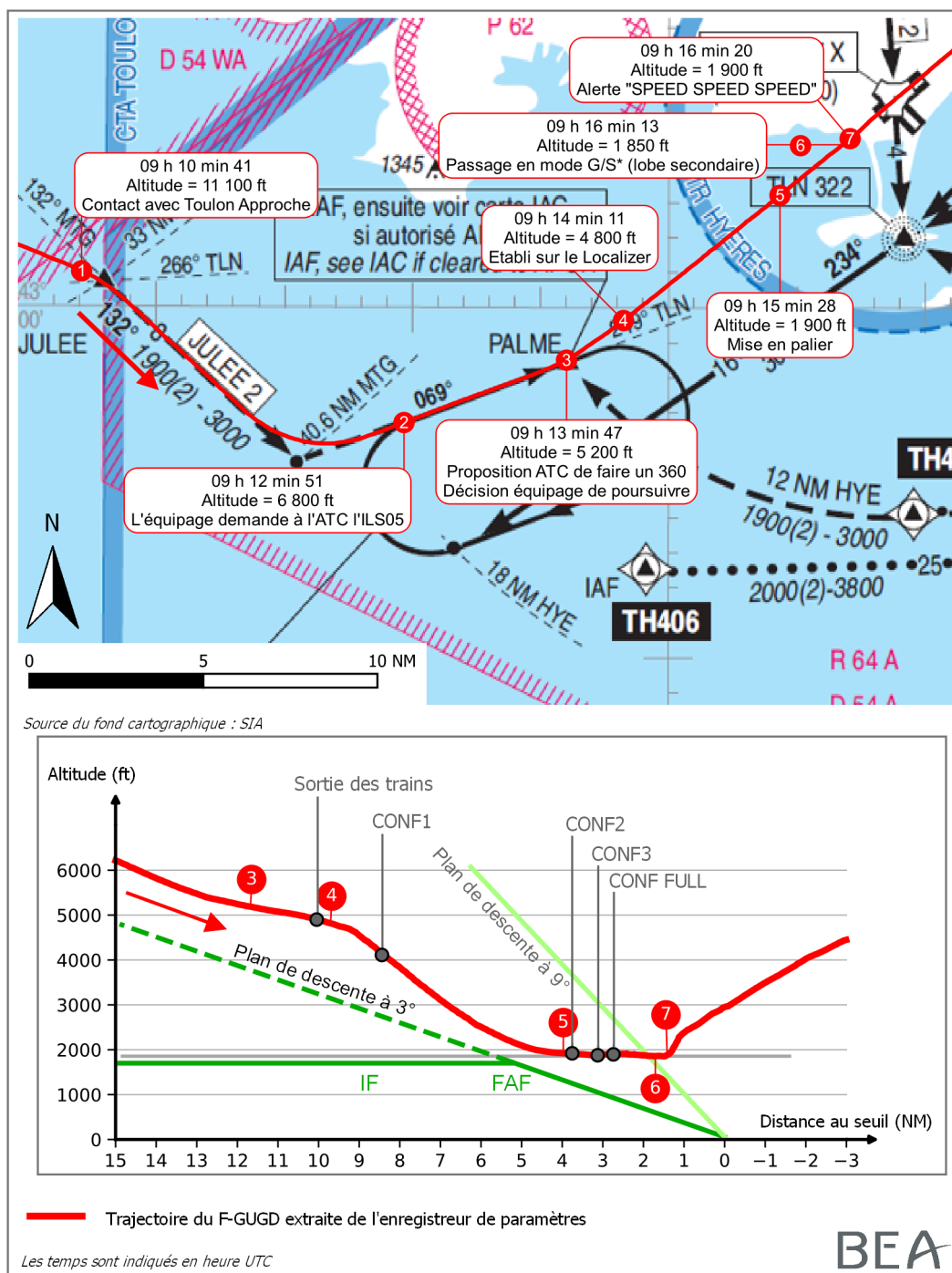


Figure 1 : Trajectoire du F-GUGD

(4) Cet aéroport est équipé d'un seul ILS en piste 05. Lorsque la piste 23 est en service, le contrôle aérien laisse le choix aux équipages d'utiliser la piste 05 si les performances à l'atterrissage le leur permettent (voir § 2).

La remarque du contrôleur peut faire référence au plafond qui le jour de l'événement était proche des minima.

Le contrôleur les informe que la piste 23 est en service, avec un vent venant du 150° pour 12 à 19 kt, et que les conditions météorologiques sont « *peut-être un peu juste* » pour la piste 23 (4).

Au cours du virage à gauche pour rejoindre le Repère d'approche initiale (IAF) (point PALME), la composante de vent arrière enregistrée par l'avion passe de 0 à 50 kt en une quarantaine de secondes. Elle reste supérieure à 40 kt pendant la descente jusqu'à 3 000 ft environ.

L'équipage demande au contrôleur d'utiliser la piste 05, ayant vérifié au préalable que les performances l'avion à l'atterrissage le permettaient dans les conditions du jour (voir [Figure 1](#) point ②). Le contrôleur accepte la demande de l'équipage. L'avion est alors à environ 16 NM du seuil de piste, à une altitude d'environ 6 500 ft en descente à -2 000 ft/min, à une vitesse indiquée de 250 kt, en configuration lisse. Les aérofreins sont sortis, le pilote automatique (AP) 2 et l'auto-poussee (A/THR) sont engagés en modes OP DES/NAV et THR IDLE.

Environ une minute plus tard, l'équipage passe l'IAF. Le contrôleur demande à l'équipage s'il souhaite faire une approche directe ou faire un tour d'attente pour descendre. L'équipage répond qu'il souhaite faire l'approche directe pour la piste 05. Le contrôleur les autorise à l'approche. Au même moment, le mode APPR et l'AP 1 sont engagés. L'avion se trouve alors à 12 NM du seuil de piste à une altitude de 5 170 ft, soit environ 1 350 ft au-dessus d'un plan de descente à 3°, avec une vitesse indiquée de 237 kt en diminution et une vitesse sol de 307 kt (voir [Figure 1](#) point ③ et Figure 2).



Source : BEA

Figure 2 : Reconstitution de la trajectoire et des principaux instruments de pilotage à 09 h 13 min 47 au passage de l'IAF. La trajectoire est représentée dans le plan vertical avec le plan de descente du Système d'atterrissage aux instruments (ILS) à 3° sur la fenêtre de gauche, et en 3D sur la vue principale

Quelques secondes plus tard, la vitesse indiquée atteint 220 kt, le train d'atterrissage est sorti et l'avion s'établit sur le localizer (voir [Figure 1](#) point ④). Puis la configuration becs/volets 1 est commandée.

Trente secondes plus tard, à 6,4 NM du seuil de piste, l'AP passe en mode ALT* et débute la capture de l'altitude sélectionnée de 1 900 ft, correspondant à la première clairance donnée par le contrôleur de Toulon Approche. L'équipage indique ne pas avoir détecté ce changement de mode.

Peu après, à 09 h 15 min 07, l'équipage passe le Repère d'approche finale (FAF) situé à 5,3 NM du seuil de piste. L'altitude est alors de 2 200 ft en diminution, soit 500 ft au-dessus de l'altitude publiée du FAF (1 700 ft). L'équipage passe en vitesse managée et la position de l'index glide sur l'Écran de vol primaire (PFD) est proche de la butée basse indiquant que l'avion est au-dessus du plan (voir Figure 3).



Source : BEA

Figure 3 : Situation à 09 h 15 min 07 au passage du FAF

L'altitude atteignant 1 900 ft, l'AP passe en mode ALT et l'avion se stabilise en palier, s'éloignant davantage du plan nominal de descente à 3° (voir Figure 1 point 5). L'équipage ne réalise pas que l'avion est en palier et n'a pas la piste en vue en raison de la nébulosité. Dans les vingt secondes qui suivent, il commande la sortie des becs et volets en position 2, 3 puis FULL. D'après l'équipage, la checklist atterrissage est effectuée dans la foulée. La vitesse sol est alors de 175 kt en diminution.

L'avion atteint le lobe secondaire de l'antenne glide situé sur un plan à 9° et le mode G/S* de l'AP s'engage (voir Figure 1 point 6). L'avion traverse le plan à 9° en palier et se retrouve au-dessus. L'AP commande alors un mouvement à cabrer⁽⁵⁾.

L'assiette de l'avion passe alors de 1° à 30° à cabrer en vingt secondes environ. L'équipage indique dans son témoignage que la prise d'assiette, bien que rapide, est peu perceptible.

Pendant cette période, le contrôleur aérien donne à l'équipage l'instruction d'interrompre l'approche, que l'équipage ne collationne pas. L'augmentation de l'assiette provoque une augmentation de l'incidence et une diminution de la vitesse. L'A/THR commence à augmenter la poussée. Lorsque l'incidence atteint le seuil de déclenchement, l'alerte Low energy s'active et l'alerte sonore « SPEED SPEED SPEED » est émise en cockpit (voir Figure 1 point 7 et Figure 4). Deux secondes plus tard, à 09 h 16 min 22, la protection ALPHA PROT s'active, le PF met les manettes de poussée dans le cran TOGA. Le PF indique ne pas avoir annoncé cette action au Commandant de bord (CDB). Dans la seconde qui suit, les deux AP sont déconnectés par l'équipage et la protection ALPHA FLOOR s'active. Le PF voit le message TOGA LK affiché sur l'Annonciateur de mode (FMA). Il place les manettes de poussée en position IDLE pour déconnecter l'A/THR et annuler le TOGA LK, puis les place à nouveau en position TOGA.

⁽⁵⁾ En effet, dans ce lobe parasite de l'ILS, le guidage envoyé à l'avion est inversé. Un signal à cabrer est reçu lorsque l'avion est au-dessus du plan (voir § 2.1).



Source : BEA

Figure 4 : Situation à 09 h 16 min 20 au déclenchement de l'alerte LOW ENERGY

(6) Velocity Lowest Selectable. Vitesse minimum que l'équipage peut demander à l'A/THR de suivre, et en dessous de laquelle il est rare d'évoluer.

(7) Pour les avions de la famille Airbus A320, VS1G est la vitesse de décrochage en palier décéléré. En pratique, la vitesse de décrochage varie en fonction du facteur de charge et peut être temporairement inférieure à VS1G si le facteur de charge est inférieur à 1, ce qui est le cas à ce moment-là du vol.

Lorsque l'assiette atteint 30°, l'incidence atteint 16° et dépasse Alpha Max (15°) pendant une seconde avant de diminuer sous l'effet combiné du déclenchement de la protection ALPHA PROT et des ordres à piquer appliqués par le PF. La vitesse indiquée diminue également et atteint un minimum de 96 kt, soit 20 kt en dessous de VLS⁽⁶⁾ et 2 kt au-dessus de VS1G⁽⁷⁾.

Par la suite, le PF effectue une montée dans l'axe de piste, à environ 1 000 ft/min. Pendant la montée, le PF maintient initialement une assiette de 15°, cohérente avec les ordres affichés par le mode SRS des Directeurs de vol (FD). Ceci a pour conséquence le maintien de l'incidence à des valeurs voisines de 12°, seuil de la protection ALPHA PROT qui se déclenche à nouveau pendant dix secondes, et le maintien de la vitesse indiquée en dessous de VLS.

L'équipage commande la rentrée des volets en position 3. La vitesse repasse au-dessus de VLS à 09 h 17 min 08 et sera restée 46 secondes en dessous de cette valeur.

Atteignant 4 000 ft, l'équipage sélectionne 4 000 ft au FCU et remet les manettes de poussée dans le cran CLIMB. L'équipage rentre les volets en position 2, stabilise l'altitude à 4 000 ft, engage l'AP 2 puis l'A/THR. Le contrôleur propose à l'équipage un guidage radar vers l'ILS 05. La seconde approche et l'atterrissage sont effectués sans événement particulier.

2 - RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES

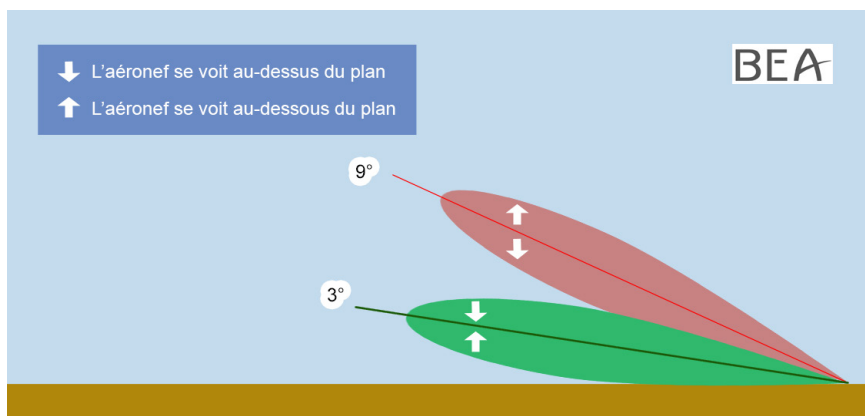
2.1 Description du signal glide de l'ILS et des lobes secondaires

Le radioalignement de descente (glide) d'un ILS est constitué par un ensemble d'antennes situées près du seuil de piste. Le signal glide de l'ILS reçu par l'aéronef lui permet de connaître sa position (l'écart angulaire) par rapport à la pente nominale d'approche (le plus souvent de 3°).

Le lobe principal d'émission, centré sur 3°, concentre la majorité de l'énergie d'émission et correspond au plan de descente publié. Un lobe secondaire, non voulu et dû à la nature du rayonnement des antennes du glide, s'ajoute autour de 9°. Dans ce lobe secondaire, le signal glide est inversé (voir Figure 5).

Les flèches du schéma ci-dessous montrent comment le signal de l'ILS est interprété par l'aéronef et comment l'AP réagit :

- ❑ Une flèche vers le haut signifie que l'aéronef se voit sous le plan. L'AP élabore un ordre pour rejoindre le plan qui sera globalement à cabrer ;
- ❑ Une flèche vers le bas signifie que l'aéronef se voit au-dessus du plan. L'AP élabore un ordre pour rejoindre le plan qui sera globalement à piquer.



Source : BEA

Figure 5 : Schéma de principe d'un ILS

On remarque en particulier que lorsque l'aéronef est situé au-dessus du plan de descente de 9°, dans le lobe secondaire, il se voit en dessous de la pente nominale d'approche et l'AP commandera des ordres à cabrer.

⁽⁸⁾ Voir § 2.9.

Dans le cadre d'une enquête sur un incident grave en 2013⁽⁸⁾, l'Organisme d'enquête de sécurité des Pays-Bas (DSB) a publié une vidéo qui traite du sujet de l'interception d'un lobe secondaire de glide d'un d'ILS et en explique le fonctionnement (https://www.youtube.com/watch?v=PxBOTMs_iEs).

2.2 Renseignements sur les systèmes de l'avion

2.2.1 Mode de capture du glideslope du pilote automatique (G/S*)

L'engagement du mode G/S*, mode vertical de capture du glide, est automatique à partir du moment où l'équipage appuie sur le bouton « APPR » sur le FCU.

Le mode G/S* s'engage lorsque la déviation glide passe en dessous d'un seuil inférieur à 2 dots (butée de la déviation glide au PFD). Les systèmes de l'avion ne vérifient pas la cohérence du signal du glide avec les autres informations disponibles (distance DME, altitude).

Lors cet incident, l'avion s'est rapproché du plan à 9° en palier, par le dessous. Le mode G/S* s'est engagé peu avant que l'avion n'atteigne le plan à 9°. L'avion étant alors sous le plan à 9°, l'AP a généré des ordres à piquer (voir § 2.1). Cette phase « à piquer », qui a duré trois secondes, a été trop brève pour infléchir la trajectoire et l'avion a croisé le plan à 9° en palier. Une fois au-dessus du plan, l'avion a reçu un signal de l'ILS à cabrer et l'AP a généré des ordres à cabrer qui ont abouti à la prise d'assiette excessive.

L'A318 ne disposait pas à la date de l'incident de la protection *anti pitch up excursions* qui est disponible sur d'autres avions Airbus (voir § 2.8).

2.2.2 Protections et alerte associées au domaine de vol de l'avion

2.2.2.1 Alerte Low energy

Une alerte sonore « SPEED SPEED SPEED » indique au pilote que la vitesse est trop basse et que l'énergie de l'avion devient inférieure à un seuil au-dessous duquel la poussée doit être augmentée et l'assiette ajustée. Elle permet à l'équipage de réagir avant l'engagement des protections en incidence.

Dans l'événement, cette alerte est activée pendant la phase d'augmentation de l'assiette, avant le déclenchement de la protection ALPHA FLOOR.

2.2.2.2 Protections ALPHA PROT et ALPHA FLOOR

Lorsque l'incidence de l'avion augmente et devient plus grande qu'un certain seuil α_{prot} , les lois de commande de vol en tangage sont modifiées : la compensation automatique à cabrer s'arrête et l'angle d'incidence varie proportionnellement au déplacement du mini-manche.

Sans ordre au mini-manche, l'incidence est maintenue à la valeur α_{prot} . L'incidence peut être augmentée par un ordre à cabrer du pilote, jusqu'à une valeur maximale égale à α_{max} .

Dans l'événement, cette protection s'active à deux reprises :

- ❑ Une première fois, après l'activation de l'alerte *Low energy*. L'AP est engagé et l'angle d'incidence devient supérieur à 13°. La protection s'active quatre secondes.
- ❑ une deuxième fois huit secondes plus tard. L'AP est cette fois désengagé, le pilote applique globalement des ordres à cabrer et l'assiette et l'incidence sont stabilisées à des valeurs élevées. La protection s'active dix secondes.

Si l'incidence augmente encore et atteint une valeur seuil α_{floor} , l'A/THR passe en mode ALPHA FLOOR et commande automatiquement la poussée maximale TOGA, puis la maintient quelle que soit la position des manettes de commande de poussée. Le verrouillage de cette poussée maximale est appelé « *TOGA LOCK* ». Les actions du pilote sur les manettes de poussée ne commandent plus la poussée. Ce mode ne peut être désengagé que par une déconnexion manuelle de l'A/THR.

Dans l'événement, la protection ALPHA FLOOR s'est engagée pendant six secondes juste après la première activation de la protection ALPHA PROT.

2.3 Rattrapage du plan par le haut

Le Manuel d'exploitation des équipages (FCOM) d'Airbus décrit une procédure d'interception du plan de descente par le haut pour une approche ILS, une fois l'avion établi sur le localizer. Cette procédure consiste, sous AP, à :

- ☐ armer le mode APPR, s'il ne l'était pas déjà, ce qui permet d'armer le mode G/S (Glide Slope) ;
- ☐ sélectionner une altitude au FCU supérieure à l'altitude courante de l'avion ;
- ☐ engager le mode V/S (vertical speed) et sélectionner -1500 ft/min initialement.

L'armement du mode G/S permet d'armer la capture du plan de descente et d'éviter le risque de Vol contrôlé dans le relief (CFIT). La sélection d'une altitude au-dessus de l'altitude courante permet d'éviter une mise en palier non-voulue au cours de la descente. En effet, si une altitude inférieure à l'altitude courante est sélectionnée au FCU, l'AP interceptera cette altitude, sauf si le mode G/S* ou G/S est engagé.

Pendant le rattrapage du plan, l'A/THR est en mode SPD et contrôle la vitesse, permettant ainsi de prévenir un éventuel dépassement de la Vitesse maximale pour la manoeuvre et l'utilisation des dispositifs hypersustentateurs (VFE), et le taux de descente est « piloté » par l'équipage au travers de la consigne de vitesse verticale affichée au FCU.

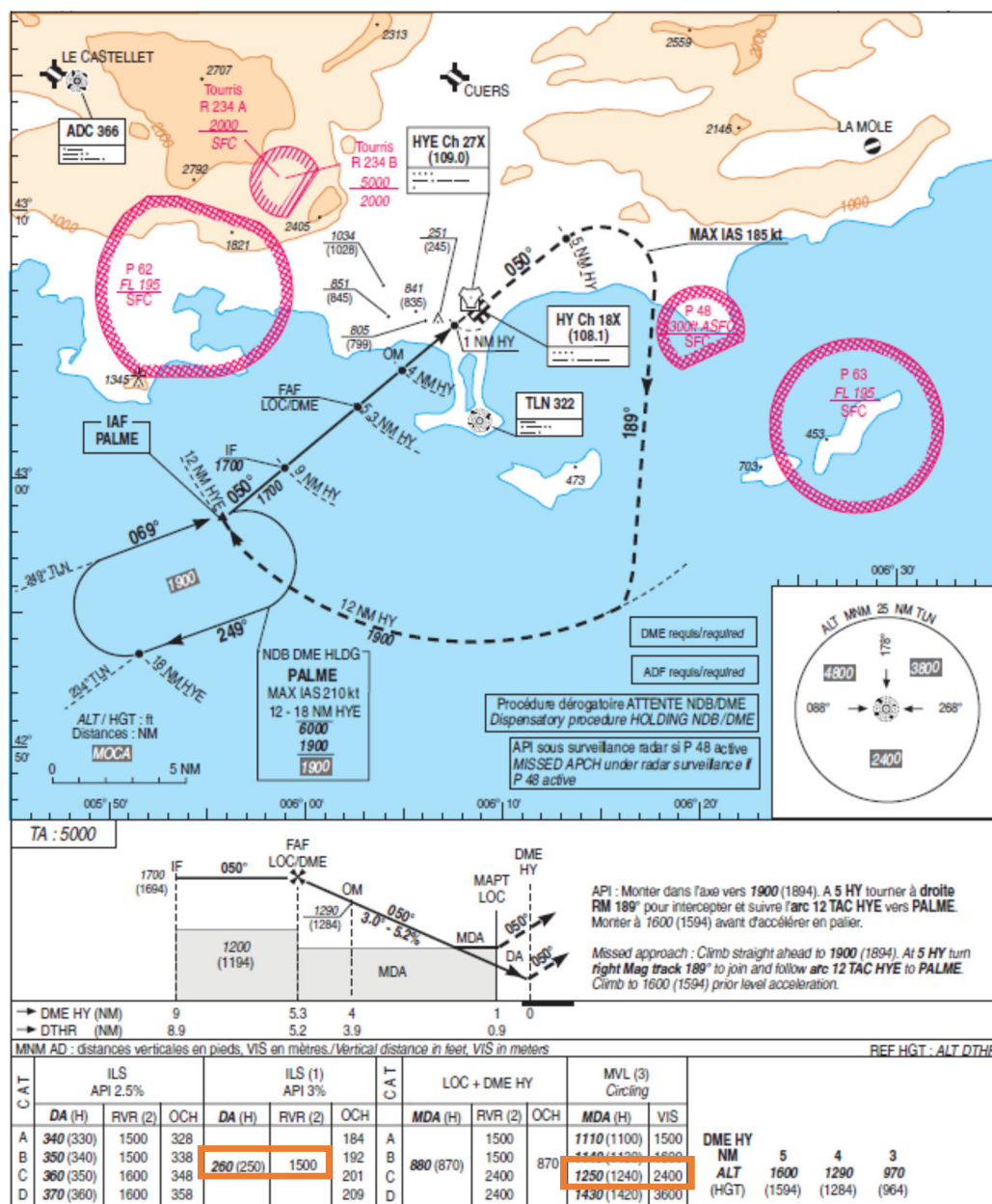
Une fois le glide slope de l'ILS capturé par l'AP, l'équipage doit changer l'altitude sélectionnée au FCU et afficher l'altitude de remise des gaz.

La documentation d'Air France précise de plus que cette procédure ne doit pas être réalisée au-dessus d'un plan à 5° pour éviter le risque de capture d'un lobe secondaire de l'ILS. Lors de l'incident, l'équipage est resté en dessous d'un plan à 5° jusqu'à la mise en palier à 1 900 ft.

2.4 Renseignements sur l'aérodrome

Hyères-Le Palyvestre est un aérodrome à usage restreint équipé d'une piste principale 05-23 d'une longueur de 2 123 m, et d'une piste secondaire 13-31, d'une longueur de 1 902 m. Le seuil de la piste 05 étant décalé, la Distance utilisable à l'atterrissage (LDA) sur cette piste est de 1 904 m.

La piste 05 est équipée d'un ILS tandis que la piste 23 est accessible par une Manœuvre à vue libre (MVL) uniquement. Par rapport à une approche ILS, la réalisation d'une MVL est plus pénalisante pour les équipages car elle impose une charge de travail plus élevée et des minima plus contraignants. En effet, l'altitude minimale de descente est de 1 250 ft pour la MVL 23 tandis que l'altitude de décision est de 260 ft pour la procédure ILS 05 (voir Figure 6). Par conséquent, même si la piste 23 est en service, les équipages préfèrent en général utiliser la piste 05 si les performances de l'avion à l'atterrissage le permettent. Pour cette raison, les contrôleurs aériens peuvent laisser aux équipages le choix de la piste pour l'atterrissage, ce qui était le cas pour ce vol.



Source : SIA

Figure 6 : Extrait de la carte d'approche ILS pour la piste 05

2.5 Renseignements sur les conditions météorologiques

D'après le message d'observation automatique de 09 h 00 UTC, les conditions météorologiques sur l'aérodrome Hyères-Le Palyvestre étaient les suivantes :

- ❑ vent 12 kt, de direction variable comprise entre 100° et 160°, temporairement vent 20 kt rafales à 40 kt venant du 170° ;
- ❑ visibilité de 5 000 m ;
- ❑ présence de pluie et brume ;
- ❑ trois couches de nuages fragmentées (BKN) avec une base à une hauteur de 1 700 ft, 2 200 ft et 4 600 ft et présence de cumulus congestus (TCU), la nébulosité évoluant vers une couche de nuage fragmentée avec une base à 1 800 ft et un ciel couvert (OVC) à 3 400 ft.

2.6 Renseignements sur l'équipage et témoignages

2.6.1 Copilote, PF

Le copilote a pris ses fonctions chez Air France en février 2019 et a fini son Adaptation En Ligne (AEL) en juin 2019. Il totalisait environ 5 500 heures de vol, dont 400 heures sur des avions de la famille Airbus A320. C'est la première fois qu'il atterrissait sur l'aérodrome Hyères-Le Palyvestre sur A320. Les informations suivantes sont issues de son témoignage.

Pendant la descente, le contrôleur aérien a informé l'équipage que « *les conditions météorologiques étaient peut-être un peu juste pour la MVL 23* ». Le copilote indique que d'après son expérience, il pense que « *ça ne va pas passer* ». Il savait qu'il y avait un fort vent du sud au sol, que la visibilité était faible mais que les performances pour la piste 05 étaient dans les limites. Il a donc proposé au CDB de faire une approche ILS pour la piste 05 ce que le CDB a accepté. L'approche ILS 05 a alors été demandée au contrôleur aérien qui l'a autorisée. Lors du briefing arrivée, le copilote a mentionné en particulier le risque de cisaillement de vent. La menace liée à la présence de vent arrière a également été évoquée pour l'atterrissage.

Il ajoute que d'après lui, la descente a été commencée à temps, mais lors de l'approche il était conscient d'être haut par rapport au plan et un peu rapide, avec beaucoup de vent arrière. Cependant, en accord avec le CDB, l'approche directe pour la piste 05 a été préférée, plutôt que le tour d'attente proposé par le contrôleur. Le copilote indique ne pas avoir été particulièrement inquiet car il était possible de continuer à descendre jusqu'à 1 000 ft, quitte à remettre les gaz en l'absence de stabilisation à cette altitude. Il a donc choisi de continuer l'approche tout en utilisant au maximum les automatismes pour garder de la disponibilité.

L'objectif ensuite était de configurer l'avion tôt pour rattraper le plan et être stabilisé avant d'arriver à 1 000 ft. Le copilote n'a pas détecté la mise en palier à 1 900 ft et les changements de mode associés. Une fois l'avion configuré, l'équipage a fait la checklist avant atterrissage. Le copilote indique qu'ils étaient dans la couche nuageuse et ne pense pas avoir eu la piste en vue sinon il aurait réalisé où ils se trouvaient.

Une fois la checklist terminée, le copilote a regardé de nouveau son PFD et a vu la forte attitude à cabrer de l'avion et le message TOGA LK. Il a alors déconnecté l'A/THR et positionné la manette dans le cran TOGA tout en diminuant l'assiette vers 15°. Selon lui, ces valeurs correspondaient au couple assiette/poussée de la procédure « *Unreliable Speed Indication* » et lui donnaient quelques secondes pour revenir dans le vol. Il se souvient avoir entendu l'alerte Low Energy à peu près en même temps que son application de la poussée TOGA. Il est ensuite rentré dans le schéma d'une remise de gaz, sans toutefois en faire l'annonce au CDB. Puis la seconde approche et l'atterrissage se sont déroulés sans particularité.

Il indique ne pas avoir eu conscience d'être situé au niveau du lobe secondaire de l'ILS lors de l'événement. Il ajoute qu'il aurait dû prendre davantage en compte la composante élevée de vent arrière lors de l'approche. Il explique s'être concentré sur la vitesse indiquée et ne pas avoir regardé la vitesse sol, ce qui aurait pu l'alerter sur les chances de succès de l'approche. Il indique également que la checklist avant atterrissage n'a sans doute pas été faite au bon moment.

Il indique avoir peu l'expérience des rattrapages de plan par le haut. Il n'a senti aucune pression temporelle sur ce vol, ni ressenti de fatigue particulière.

2.6.2 Commandant de bord, PM

Le CDB a commencé comme copilote sur Airbus A320 (environ 2 300 heures de vol) puis sur Boeing B777 (un peu plus de 10 000 heures de vol) avant de retourner sur A320 en tant que CDB au début de l'année 2019. C'est son premier atterrissage sur l'aérodrome de Hyères-Le Palyvestre depuis une vingtaine d'années. Les informations suivantes sont issues de son témoignage.

Il indique que le début du vol et la croisière étaient standards et qu'il n'y avait pas de pression temporelle sur cette étape. Le briefing arrivée effectué par le PF a notamment listé comme menaces la présence de vent arrière pour l'atterrissage et la présence possible d'oiseaux sur le terrain. Ils ont calculé les performances pour la piste 05, qui était mouillée, et avec du vent arrière. Les performances dans les conditions du jour étant compatibles avec un atterrissage en piste 05, ils ont convenu qu'atterrir sur cette piste était la première option, la deuxième étant de faire la MVL pour la piste 23, solution qui pouvait être compliquée compte tenu des conditions météorologiques.

Selon lui, la descente a été débutée à temps. Il n'a pas effectué de contrôles du plan lors de la descente, ni bien identifié l'influence du vent arrière lors de l'approche. Il avait conscience d'être un peu haut sur le plan, mais vu que les trains d'atterrissage et les aérofreins étaient sortis, il pensait pouvoir le rattraper sans difficulté. Il ne se souvient pas avoir eu la piste en vue lors de l'approche.

Lorsque le contrôleur leur a proposé de faire un tour d'attente pour descendre, il s'est tourné vers le copilote qui lui a fait signe que c'était bon. Le CDB ne se souvient plus s'il a fait un contrôle de plan à ce moment-là.

L'objectif annoncé avec le copilote était d'être stabilisé à 1 500 ft, le CDB indique qu'il était par conséquent focalisé sur la vitesse pour sortir les becs et volets dans les plages de vitesses correspondantes. La checklist atterrissage a été faite avant 1 500 ft et il n'a pas eu conscience que l'avion s'était stabilisé à l'altitude cible de 1 900 ft car il avait les yeux dans la checklist.

Après avoir terminé la checklist, il était en train de ranger la documentation quand il a entendu l'alerte « *SPEED SPEED SPEED* ». Il s'est d'abord focalisé sur la vitesse très faible et n'a pas regardé l'assiette. La poussée était sur TOGA et son premier souci était de garder l'axe de piste, sans prendre d'inclinaison, pour limiter le facteur de charge et augmenter la vitesse. Quand il a regardé l'assiette au PFD, celle-ci était normale. Il ajoute qu'il n'a pas eu conscience du TOGA LK.

Pendant la remise de gaz effectuée « *sans stress* », ils ont initialement conservé la configuration de l'avion, puis ils ont rentré les becs et volets et les trains d'atterrissage et sont montés jusqu'à 4 000 ft. En effet, il se souvenait qu'il y avait du relief dans les environs.

Lors de la deuxième approche, il a réalisé l'intensité de la composante de vent arrière au moment d'intercepter le localizer. Le vent arrière était alors de l'ordre de 50 kt.

Enfin, il indique qu'il a été surpris lorsqu'il a vu les paramètres de l'analyse de vol dans les jours qui ont suivi l'événement. Pour lui, la vitesse faible était probablement due à un cisaillement de vent.

À posteriori, il indique qu'il aurait pu prendre davantage en compte l'influence du vent arrière sur la trajectoire et la valeur de la vitesse sol qui donne une idée du temps restant avant la piste, ainsi que renforcer les contrôles de plan pendant l'approche.

Il a réalisé quelques interceptions d'ILS par le dessus depuis qu'il est qualifié sur A320. C'est une situation opérationnelle rare à laquelle il dit ne pas être habitué.

2.7 Analyse des menaces pour l'approche et l'atterrissage

La menace liée à la présence de vent arrière a été évoquée par l'équipage lors du briefing arrivée (APPROACH briefing). Cependant cette menace concernait l'atterrissage et non la phase d'approche. Le témoignage de l'équipage montre que cette menace en approche n'a pas été suffisamment prise en compte. Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette sous-estimation :

- ❑ La présence d'autres menaces pouvant être perçues comme plus graves comme le cisaillement de vent ont pu faire passer le vent arrière pendant l'approche au second plan.
- ❑ Le risque lié au vent arrière est souvent pris en compte pour l'atterrissage et moins pour l'approche. Pour ce vol c'est particulièrement le cas, l'équipage étant amené à atterrir avec du vent arrière sur une piste mouillée, les menaces liées aux performances à l'atterrissage sont davantage présentes que celles liées au plan de descente en approche.
- ❑ Dans le dossier de vol, le vent indiqué pour l'approche est de 25 kt arrière sur la trajectoire d'approche, donc moins fort que celui réellement rencontré en vol. La menace était ainsi difficilement identifiable lors de la préparation des vols.

En raison du fort vent arrière durant l'approche et de la vitesse d'évolution, il s'est écoulé moins de 2 min 30 entre le moment où l'équipage, à 12 NM de la piste, décide de poursuivre l'approche directe pour la piste 05 sans faire de tour d'attente et la capture par l'AP du lobe secondaire de l'ILS. Durant cette période, l'équipage a tenté de rattraper le plan par le haut et préparé l'avion pour l'atterrissage. Avec cette charge de travail, la menace de vent arrière pendant l'approche, peu présente dans l'évaluation initiale, a été oubliée ou non prise en compte.

2.8 Récupération de la situation d'*upset*

À la suite de l'alerte *Low energy*, le PF a affiché la poussée TOGA, ce qui a eu pour conséquence l'engagement du mode SRS des FD puis a repris le pilotage manuel. Lorsque l'assiette a atteint 30°, il a appliqué un ordre à piquer, moins soutenu initialement que celui demandé par le FD, puis a maintenu l'assiette à des valeurs voisines de 15°, ce qui était cohérent avec le suivi des ordres des FD en mode SRS dans les conditions du jour.

La documentation d'Air France précise que lorsque l'assiette dépasse 25°, l'avion est en situation d'*upset*. Il convient dans ce cas d'appliquer les techniques de récupération, dites *upset recovery*. En cas d'assiette à cabrer excessive, la technique prévoit que le PF effectue les actions suivantes :

- ☐ reconnaître et confirmer la situation ;
- ☐ déconnecter l'AP et l'A/THR et reprendre le pilotage en manuel ;
- ☐ appliquer un ordre à piquer aussi important que nécessaire pour obtenir une variation d'assiette à piquer ;
- ☐ ajuster la poussée ;
- ☐ ajuster le roulis, sans dépasser 60° d'inclinaison ;
- ☐ revenir à un vol en palier à une vitesse suffisante.

La réaction initiale du PF correspond aux premiers items de la technique de récupération. Par la suite, l'assiette maintenue autour de 15° correspond davantage au suivi des ordres FD qu'à l'exécution de la technique de récupération. Ceci a eu pour conséquence un maintien prolongé en situation de vitesse faible, inférieure à VLS. L'application complète de la technique de récupération de l'*upset* lié à l'attitude à cabrer excessive aurait pu contribuer à une sortie plus rapide de la situation de faible énergie de l'avion.

2.9 Événements similaires et actions de sécurité prises avant l'incident

Plusieurs événements similaires de capture d'un lobe secondaire du signal glide de l'ILS se sont produits avant cet incident. On peut citer en particulier :

- ☐ l'incident grave de l'Airbus A340 immatriculé F-GLZU exploité par Air France survenu le 13 mars 2012 en approche à Paris – Charles de Gaulle. Cet événement a fait l'objet d'un rapport du BEA comportant cinq recommandations de sécurité⁽⁹⁾.
- ☐ l'incident grave du Boeing 737-800 immatriculé EI-ENL exploité par Ryanair survenu le 31 mai 2013 en approche à Eindhoven (Pays-Bas). Cet événement a fait l'objet d'un rapport du DSB comportant quatre recommandations de sécurité⁽¹⁰⁾.

⁽⁹⁾ <https://www.bea.aero/docspa/2012/f-zu120313/pdf/f-zu120313.pdf>

⁽¹⁰⁾ https://www.onderzoeksraad.nl/en/media/attachment/2018/7/10/b10255e47744rapport_stick_shaker_en_interactief.pdf

Les recommandations émises par le BEA et les actions prises par les différents acteurs à la suite de l'événement de mars 2012 ont porté sur les thèmes suivants :

- ❑ La définition d'une limite opérationnelle explicite fournissant aux pilotes une aide à la décision avant d'effectuer un rattrapage du glide par le haut. Le FCOM d'Air France précise désormais dans la procédure de rattrapage de glide par le haut que celle-ci ne peut être exécutée au-delà d'un plan à 5°.
- ❑ La sensibilisation du contrôle aérien et des exploitants sur les approches non stabilisées, l'interception d'un glide par le haut étant un précurseur de ce type d'approche. Air France, à la suite de l'incident du F-GLZU, a diffusé une communication interne aux pilotes pour leur rappeler les phénomènes pouvant être associés à la capture du lobe secondaire du glide et a diffusé en interne la vidéo explicative réalisée par le DSB.
- ❑ La mise en place d'un système permettant d'aider les contrôleurs aériens à déterminer la position dans le plan vertical d'un aéronef par rapport au plan de descente publié. Dans cet incident, les contrôleurs aériens militaires de l'aérodrome Hyères-Le Palyvestre ne disposaient pas d'une visualisation de l'avion dans le plan vertical mais ont néanmoins alerté l'équipage sur sa position par rapport au plan de descente et proposé une alternative.
- ❑ La mise en place de protections dans les systèmes de bord destinées à empêcher la capture d'un lobe secondaire d'ILS et la prise d'attitudes inadaptées sous AP. Une protection *anti pitch-up excursions* a été développée par Airbus pour limiter les conséquences d'une prise d'assiette excessive en mode G/S*: les ordres des FD ne peuvent pas mettre l'avion en montée. Lors de la capture d'un lobe secondaire d'ILS sous AP, l'avion reste en palier. Cette protection fait partie de l'avionique standard pour les A350, A380 et A320neo. Elle est disponible également pour les avions de la famille A330/A340 selon les versions des calculateurs de bord⁽¹¹⁾. La protection *anti pitch excursions* sera disponible progressivement sur toutes les versions de calculateurs équipant la famille A320 classique (A320 CEO) à partir de 2023.

⁽¹¹⁾ Les A330 d'Air France sont équipés de cette protection.

3 - CONCLUSIONS

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

Scénario

Lors du briefing arrivée pour l'aérodrome de Hyères Hyères-Le Palyvestre, l'équipage a choisi de privilégier l'approche ILS pour la piste 05, les performances à l'atterrissage dans les conditions du jour le permettant. L'équipage a évoqué la présence de vent arrière en lien avec les performances à l'atterrissage et non avec la trajectoire d'approche. D'autres menaces comme le cisaillement de vent et la présence possible d'oiseaux sur l'aérodrome faisaient davantage partie des préoccupations de l'équipage.

Lors du premier contact avec le contrôleur d'approche de Toulon, l'équipage a sélectionné l'altitude de 1 900 ft au Bandeau de contrôle du vol (FCU) conformément à l'instruction reçue.

Pendant la descente, le contrôleur a signalé à l'équipage que les conditions météorologiques étaient « *un peu justes* » pour la piste 23, ce qui dans l'esprit de l'équipage signifiaient que les minima n'auraient pas permis de réaliser cette approche. L'équipage savait qu'il était au-dessus du plan de descente et avait par conséquent sorti les aérofreins, puis le train d'atterrissage.

Lorsque le contrôleur a proposé à l'équipage de faire un tour d'attente pour descendre, l'équipage a choisi de continuer l'approche directe pour la piste 05. Le PF savait qu'il avait toujours la possibilité d'interrompre l'approche en l'absence de stabilisation à 1 000 ft et le PM a suivi l'avis du PF. L'équipage a cependant sous-estimé l'influence que pourrait avoir le vent arrière sur la trajectoire d'approche et n'a pas suffisamment évalué la faisabilité du rattrapage du plan par le haut.

Par la suite, les deux membres d'équipage ont été attentifs à l'évolution de la vitesse indiquée, mais n'ont pas pris en compte les valeurs élevées de la vitesse sol et de la vitesse verticale. Le rattrapage du plan de descente a augmenté la charge de travail de l'équipage et la vitesse sol importante due au fort vent arrière a réduit le temps nécessaire pour atteindre la piste. Ces deux facteurs ont abouti à une perte de la conscience de la situation par les pilotes. L'équipage n'a pas réalisé que l'altitude sélectionnée au FCU était toujours de 1 900 ft puis n'a pas détecté la mise en palier de l'avion à cette altitude et les changements de mode FMA associés.

La mise en palier a éloigné l'avion du plan de descente à 3° et a abouti à l'interception du lobe secondaire de l'ILS sur un plan à 9°. Pendant cette période, l'équipage a fini de configurer l'avion pour l'atterrissage et réalisé la checklist atterrissage.

L'interception du lobe secondaire de l'ILS a provoqué une augmentation de l'assiette jusqu'à 30° sans perception par l'équipage puis le déclenchement de l'alerte *Low energy*, le déclenchement des protections en incidence et une diminution de la vitesse. L'alerte *Low energy* s'est déclenchée 1 min 25 après l'activation non détectée du mode ALT*, durée pendant laquelle les actions de l'équipage témoignent d'une perte de la conscience de la situation. Le PF a réagi en appliquant la poussée TOGA sans l'annoncer au PM et en diminuant l'assiette. L'équipage a ensuite effectué une remise de gaz et la deuxième approche s'est déroulée sans événement particulier.

Facteurs contributifs

Ont pu contribuer à la capture du lobe secondaire de l'ILS, puis l'augmentation de l'assiette sous pilote automatique (AP) et l'activation des protections du domaine de vol :

- ☐ La sous-estimation de la menace que représente un vent arrière fort pendant l'approche, évoquée pour la phase d'atterrissage lors du briefing arrivée et insuffisamment prise en compte par la suite. Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette sous-estimation :
 - La présence d'autres menaces pouvant être perçues comme plus graves telles que le cisaillement de vent ont pu mettre cette menace au second plan ;
 - Le risque lié au vent arrière est souvent pris en compte pour l'atterrissage et moins pour l'approche ;
 - Dans le dossier de vol, le vent indiqué pour l'approche était de 25 kt arrière. La menace était donc difficilement identifiable lors de la préparation du vol.
- ☐ Une surveillance insuffisante du plan de descente par le PM et le PF lors de l'approche.
- ☐ La non prise en compte de la suggestion du contrôleur d'interrompre l'approche.
- ☐ L'absence d'objectif pour l'équipage en termes d'altitude et de distance au seuil, et l'absence de contrôle aux points clés de l'approche, notamment au passage du Point d'approche finale (FAP).
- ☐ La faible exposition des deux pilotes, en entraînement et en ligne, à la réalisation d'un rattrapage de plan par le haut malgré leur expérience aéronautique.

Mesures prises après l'événement

Air France a édité en juillet 2020 un document pédagogique (FOCUS) à destination des pilotes sur l'interception d'un *glide slope* par le haut. Ce document qui est utilisé en support aux séances d'instruction précise en particulier :

- ☐ Que si l'avion se trouve au-dessus d'un plan à 5°, il existe un risque important de capture d'un lobe secondaire de l'ILS.
- ☐ Que pour vérifier sa position par rapport à un plan à 5°, il suffit de multiplier sa hauteur en milliers de ft par 2 (ex : à 5 000 ft, le plan à 5° est à 10 NM du seuil de piste).
- ☐ Que l'interception d'un glide slope par le haut est réalisée, une fois établi sur le localizer, en suivant la procédure décrite dans le FCOM.

L'absence de calcul par l'équipage de sa position par rapport au plan à 5° ou une gestuelle non anticipée font partie des conditions de renoncement à la réalisation d'un rattrapage de plan et donc d'exécution d'une interruption de l'approche.

Enseignements de sécurité

Prise en compte du vent arrière pendant l'approche

Le vent arrière est une menace souvent associée à la phase d'atterrissage. Lors d'une approche, un fort vent arrière contribue à déstabiliser la trajectoire d'approche mais aussi à diminuer le temps restant avant la piste, ce qui modifie considérablement les paramètres habituels. Ainsi, même s'il n'est pas immédiatement associé à des risques graves, il contribue doublement à l'augmentation de la charge de travail de l'équipage. C'est donc un facteur important à prendre en compte pour évaluer les chances de succès d'une approche.

Rattrapage du plan par le haut

La réalisation d'un rattrapage de plan par le haut est une manœuvre de récupération peu pratiquée en entraînement et inhabituelle en ligne. Des actions supplémentaires par rapport à une approche standard sont nécessaires pour le PF et pour le PM. C'est donc un facteur supplémentaire d'augmentation de la charge de travail de l'équipage. Un équipage, même expérimenté, peut avoir une faible expérience dans une situation opérationnelle donnée. Dans ce cas, sa capacité à absorber une augmentation de la charge de travail est réduite et il devient plus vulnérable à une perte de la conscience de la situation.

Au cours d'un rattrapage de plan, le PF est davantage mobilisé par le pilotage de la trajectoire et la gestion de l'énergie de l'avion, le rôle du PM est donc d'autant plus important. Sa tâche première est de surveiller la trajectoire de l'avion, les actions non liées à la trajectoire ne devant pas être réalisées au détriment de cette surveillance première. Cependant, il y a un équilibre à trouver pour le PM qui doit également garder suffisamment de recul pour évaluer les chances de succès de la manœuvre de rattrapage et anticiper les conséquences sur la stabilisation de l'approche.

Partage du projet d'action

En cas de remise de gaz, l'annonce standard « *GO AROUND, FLAPS* » par le membre d'équipage qui débute la manœuvre permet à l'autre pilote de partager le plan d'action, d'activer mentalement la séquence des actions qui vont suivre, et rend ainsi possible le travail en équipage dans une phase très dynamique.

Protections du domaine de vol

Dans le cas où un équipage se retrouve à croiser le plan de l'ILS à 9° avec l'AP engagé, la présence de la protection *anti pitch up excursions*, disponible sur les dernières générations d'Airbus, permet d'éviter une prise d'assiette excessive. Cette protection fait partie de l'avionique standard pour les A350, A380 et A320neo. Elle est disponible également pour les avions de la famille A330/A340 selon les versions des calculateurs de bord. La protection *anti pitch excursions* sera disponible progressivement sur toutes les versions de calculateurs équipant la famille A320 classique (A320 CEO) à partir de 2023.