



Incident grave entre les avions BEECH 200 immatriculés F-HNAV et F-HCEV

survenu le 17 avril 2019
à proximité du Bourget (93)

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

Heure	Vers 14 h 00 ⁽¹⁾	
Exploitant	École Nationale de l'Aviation Civile (ENAC)	
Nature des vols	Calibration (opérations spécialisées – partie SPO)	
Personnes à bord	F-HNAV : commandant de bord (PM), copilote (PF), contrôleur en vol	F-HCEV : commandant de bord (PF), copilote (PM), contrôleur en vol
Conséquences et dommages	Aucun	

Deux pertes de séparation consécutives entre deux avions, en vol de calibration de moyens de radionavigation

1 - DÉROULEMENT DU VOL

Note : Les informations suivantes sont principalement issues des enregistrements des radiocommunications, des données radar et des témoignages.

Le Beech 200 immatriculé F-HCEV réalise un vol de calibration au départ de l'aérodrome Paris-Le Bourget⁽²⁾ (93) ayant pour objectif principal la mise en service du nouveau DME associé au VOR de l'Aigle (LGL) situé à 75 NM à l'ouest. Sur son trajet, l'équipage doit également contrôler une radiale utilisée dans la procédure de départ standard (SID) de la piste 21 de cet aérodrome (voir § 2.1).

Le Beech 200 immatriculé F-HNAV réalise le même jour un vol de calibration ayant pour objectif la calibration des deux nouveaux ILS de la piste 08R/26L de l'aérodrome Paris-Charles de Gaulle⁽³⁾ (95).

Les équipages de ces deux vols sont constitués d'un commandant de bord et d'un copilote de l'ENAC qui est l'exploitant réalisant ces vols de calibration. Le suivi des mesures de calibration est réalisé par un contrôleur en vol de la Direction des Services de la Navigation Aérienne (DSNA) situé à l'arrière, dans la cabine.

⁽²⁾ Code OACI : LFPB.

⁽³⁾ Code OACI : LFPG.

Le matin du vol, les trois membres d'équipage du F-HCEV réalisent un briefing pour préparer le vol. Le contrôleur en vol fournit aux deux pilotes une copie du tracé de la radiale 086 sur une carte aéronautique à l'échelle 1/500 000^{ème}. D'après ce tracé, la radiale passe légèrement au nord de Paris, ce qui est cohérent avec le trajet du SID « *Départs initiaux RWY 21* » que l'équipage doit suivre pour calibrer cette radiale. Aucune difficulté particulière n'est identifiée par l'équipage pour suivre ce SID et réaliser la calibration.

L'équipage réalise ensuite un briefing avec l'un des deux contrôleurs aériens de l'approche de Paris-Charles de Gaulle qui seront en charge du contrôle du vol de calibration. Les deux vols de calibration seront en contact avec le même binôme de contrôleurs aériens (voir [§ 2.7](#)).

Une fois à bord, l'équipage du F-HCEV insère dans le Système de gestion de vol (FMS) le SID 21 et la radiale 086 du VOR de l'Aigle qu'ils doivent calibrer. L'équipage paramètre l'écran central (MFD) pour qu'il affiche également les espaces aériens mais le niveau de zoom du MFD, à ce moment-là, ne rend visible qu'une portion du SID 21. L'équipage ne vérifie pas si la radiale 086 correspond bien au trajet du SID en dé-zoomant l'affichage du MFD.

À 14 h 00, l'équipage du F-HCEV décolle de la piste 21 de l'aérodrome Paris-Le Bourget. L'équipage du F-HNAV est déjà en vol et vient de terminer une mesure sur l'ILS de la piste 26L de l'aérodrome Paris-Charles de Gaulle. Pour rejoindre sa prochaine mesure située dans l'axe de la piste 08R il transite à environ 2 000 ft entre l'aérodrome du Bourget et la ville de Paris.

L'équipage du F-HCEV monte dans l'axe de la piste 21 en suivant le SID puis vire à droite au cap 270 donné par le contrôleur aérien pour débiter la mesure de la radiale 086. Au cours de la montée initiale, le PF dé-zoomme l'affichage du MFD et s'aperçoit que la radiale 086 insérée ne correspond pas au trajet du SID et passe dans la zone interdite P23 située au-dessus de la ville de Paris.

Le contrôleur en vol ne comprend pas dans un premier temps comment la radiale peut passer dans la zone interdite P23 et une discussion a lieu entre les deux pilotes et le contrôleur en vol à propos de l'emplacement de la radiale.

Le commandant de bord signale au contrôleur aérien qu'il a besoin de prendre un cap au sud pour rejoindre la radiale et débiter la mesure (point 1 de la [Figure 1](#)). Le contrôleur répond qu'un cap sud n'est pas possible en raison de la proximité avec la ville de Paris et donne l'instruction à l'équipage de « *longer le périph à vue en restant à l'extérieur* » et de prendre ensuite « *le meilleur cap pour début de mesure* ».

Le contrôleur aérien vérifie ensuite auprès de l'équipage du F-HNAV qu'il est en vue du F-HCEV situé devant lui et leur rappelle que l'équipage du F-HCEV « *va suivre le périph et ensuite il va reprendre un peu vers l'ouest* » (points 2). En effet, pour les contrôleurs aériens, le vol du F-HCEV est considéré sur cette partie comme un départ standard vers l'ouest, la mesure de calibration ne nécessitant pas a priori de déviation par rapport à la trajectoire publiée sur le SID 21. Pendant ce temps, l'équipage du F-HCEV réalise un demi-tour par la gauche et se retrouve en trajectoire convergente avec le F-HNAV.

⁽⁴⁾ Les séparations minimales dans cet espace sont de 3 NM horizontalement et de 1 000 ft verticalement. Les deux séparations sont donc simultanément inférieures à 50 % de la séparation minimale.

Le contrôleur aérien donne alors à l'équipage du F-HNAV l'instruction de tourner à droite au cap nord et à l'équipage du F-HCEV de descendre à 1 500 ft (points 3). Il précise à l'équipage du F-HCEV que « *le périph à vue c'était vers l'ouest* ». Deux secondes plus tard, à 14 h 03 min 07, un avis de résolution (RA) TCAS se déclenche à bord des deux avions demandant à monter pour le F-HNAV et à descendre pour le F-HCEV (points 4). Ces RA sont suivis par les équipages. Les séparations minimales sont de 1,16 NM horizontalement et 250 ft verticalement⁽⁴⁾.

Le contrôleur aérien guide l'équipage du F-HCEV pour qu'il se présente face à l'ouest avec le trajet du SID 21 face à lui. Puis le contrôleur aérien contacte l'équipage du F-HCEV : « *maintenant vous pouvez prendre le cap que vous voulez pour suivre le périph du côté extérieur et faire votre mesure* » (point 5). Le commandant de bord (PF) annonce à l'équipage qu'une autoroute se trouve sous l'avion et qu'il va la suivre pour éviter Paris. Le copilote pense qu'il s'agit du périphérique et le contrôleur en vol manifeste un doute.

Pendant environ 1 min 30, l'équipage du F-HCEV, stable à 2 000 ft, suit une route globalement nord-ouest (point 6). La trajectoire du F-HCEV se rapprochant à nouveau de celle du F-HNAV, le contrôleur aérien donne à l'équipage du F-HCEV l'instruction de tourner à gauche au cap 270, puis renouvelle cette instruction dix secondes plus tard « *tournez immédiatement à gauche 270* ». À 14 h 06 min 26, les séparations minimales sont de 1,43 NM horizontalement et de 475 ft verticalement. Ce deuxième rapprochement ne s'accompagne pas du déclenchement d'un RA TCAS.

Le contrôleur aérien indique à l'équipage du F-HCEV que la mesure est terminée et qu'il va les guider vers l'aérodrome Paris-Le Bourget. Le commandant de bord demande à poursuivre les mesures vers le VOR de l'Aigle. Dans un premier temps, le contrôleur refuse de prendre en charge ces mesures en raison des deux rapprochements successifs qui viennent d'avoir lieu. Après des échanges téléphoniques de coordination avec le centre de contrôle de Paris-Orly, les contrôleurs de Paris-Charles de Gaulle acceptent de finalement reprendre en charge l'avion pour les mesures sur le VOR de l'Aigle. Le reste du vol se passe sans événement particulier.

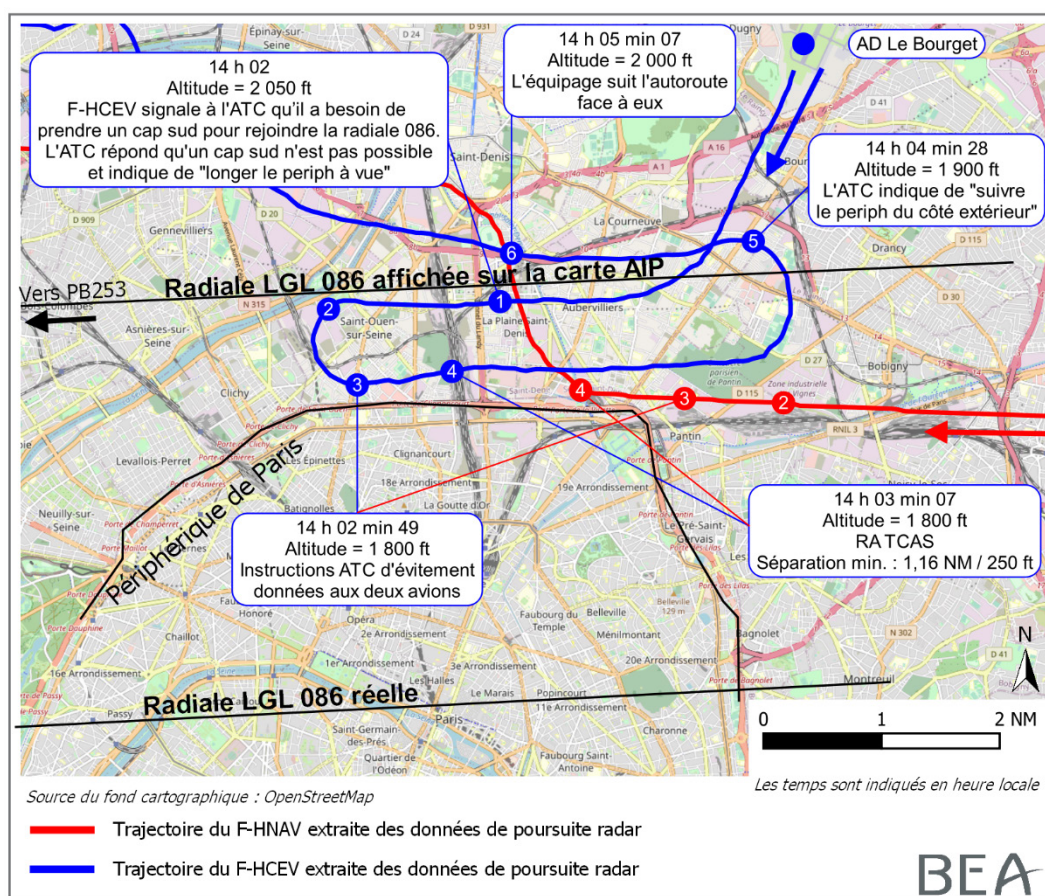


Figure 1 : Trajectoires du F-HCEV et du F-HNAV

2 - RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES

2.1 Renseignements sur les conditions météorologiques

D'après le message METAR automatique de l'aérodrome Paris - Le Bourget daté de 14 h 00, les conditions météorologiques observées étaient les suivantes :

- ☐ vent 4 kt variable ;
- ☐ visibilité supérieure à 10 km ;
- ☐ FEW à 3 800 ft, SCT à 4 500 ft ;
- ☐ température 16 °C, température du point de rosée 6 °C ;
- ☐ QNH 1020 ;
- ☐ pas de phénomène météorologique significatif.

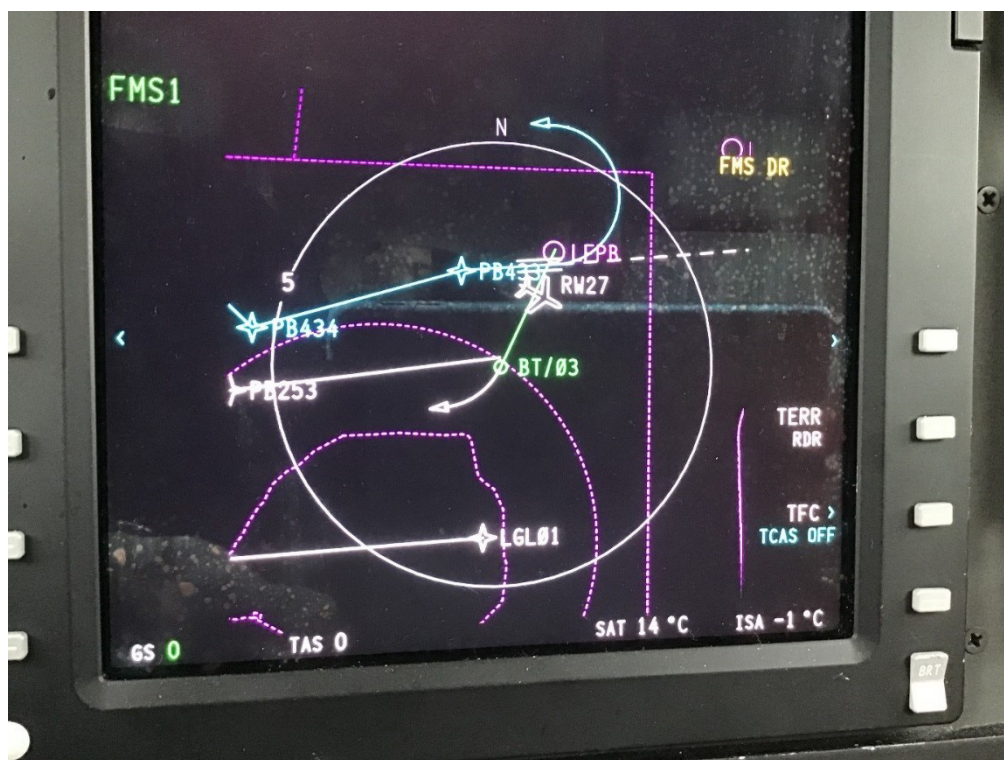
2.2 Préparation d'un vol de calibration

Le manuel d'exploitation de l'ENAC, dans sa partie A relative aux consignes générales, ne contient pas de consigne particulière pour la préparation d'un vol de calibration. Les consignes applicables sont les mêmes que pour les autres activités de l'exploitant.

Dans la pratique, le contrôleur en vol de la DSN définit le programme de calibration, document qui contient des informations détaillées sur les mesures à réaliser, les trajectoires à suivre, et un tracé schématisé du plan de vol. Pour le vol de l'événement, ce tracé est représenté en [Figure 2](#).

Pour ce vol, les deux pilotes n'ont pas tracé la radiale 086 sur leur EFB avant le vol car le tracé effectué par le contrôleur en vol sur la carte aéronautique papier était cohérent avec le SID et aucune difficulté particulière n'était identifiée pour cette partie du vol de calibration.

À bord du Beech 200, l'équipage peut également afficher le SID 21, les espaces aériens et la radiale à suivre sur le MFD comme le montre l'image ci-dessous (Figure 4).



Source : ENAC

Figure 4 : Affichage du SID 21 et de la radiale 086 du VOR de l'Aigle sur le MFD d'un Beech 200

En région parisienne, les équipages de calibration affichent systématiquement les espaces aériens. Cependant, les informations à afficher par l'équipage sur le MFD lors de la préparation de l'avion au parking et au cours du vol ne sont pas décrites dans un document et relèvent des bonnes pratiques de chaque équipage.

Pour ce vol, l'équipage avait inséré le SID 21, la radiale 086 et avait affiché les espaces aériens. En revanche, l'affichage était centré sur la trajectoire de départ et ne permettait pas de voir la radiale 086 et la zone P23. L'équipage n'ayant pas dé-zoomé l'affichage du MFD avant le décollage, il n'a pas pu identifier l'incohérence entre l'emplacement de la radiale 086 et le trajet du SID21.

2.3 Description du système de calibration et suivi d'une radiale VOR

Le système de calibration dont est équipé le F-HCEV est composé de capteurs GPS indépendants de ceux de l'avion, de récepteurs radioélectriques également indépendants, d'un calculateur qui traite les signaux reçus et d'un système d'affichage. L'affichage comporte deux écrans : un écran avec la position GPS de l'avion et le trajet à suivre (une radiale ou une procédure), et un autre écran avec le signal radioélectrique reçu du moyen de radionavigation.

Pour la calibration d'une radiale, le contrôleur en vol insère dans le système de calibration la radiale à suivre et les pilotes font de même dans le FMS de l'avion. Une fois en vol, le principe est de faire coïncider la position de l'avion issue des capteurs GPS du système de calibration avec la radiale insérée, et d'enregistrer le signal radioélectrique reçu pour mesurer la déviation angulaire et évaluer ses propriétés.

Le pilote intercepte la radiale VOR insérée dans le FMS en pilotage manuel ou automatique. Le suivi de la radiale est ensuite réalisé sous pilote automatique (AP). Le guidage est basé sur la position GPS de l'avion. Si besoin, le pilote peut ajuster le cap sélectionné de manière à faire coïncider la position de l'avion vue par le système de calibration avec la radiale à mesurer. Pour cela, l'équipage a à sa disposition un instrument spécifique (Sandel) qui affiche l'écart mesuré par le système de calibration (Figure 5).



Figure 5 : Instrument d'affichage de la déviation mesurée par le banc de calibration (Sandel)

Au moment où le commandant de bord demande au contrôleur aérien de prendre un cap au sud pour rejoindre la radiale 086, les deux pilotes avaient sur leur MFD un affichage vraisemblablement similaire à celui de la [Figure 4](#) montrant la radiale 086 dans la zone interdite P23. De plus, le Sandel affichait un écart indiquant que la radiale se trouvait au sud de leur position.

De son côté, le contrôleur en vol avait devant lui l’affichage suivant fourni par le système de calibration (Figure 6). Cet affichage a pu être reconstitué grâce aux données de calibration enregistrées.

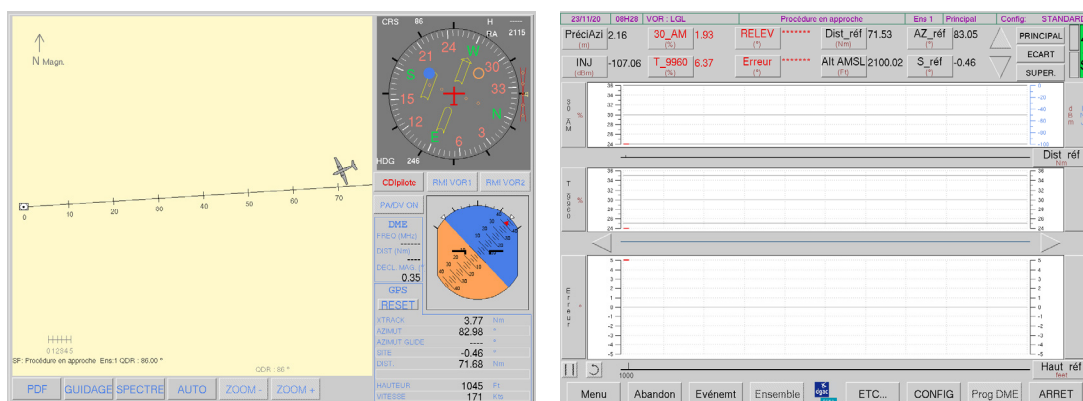


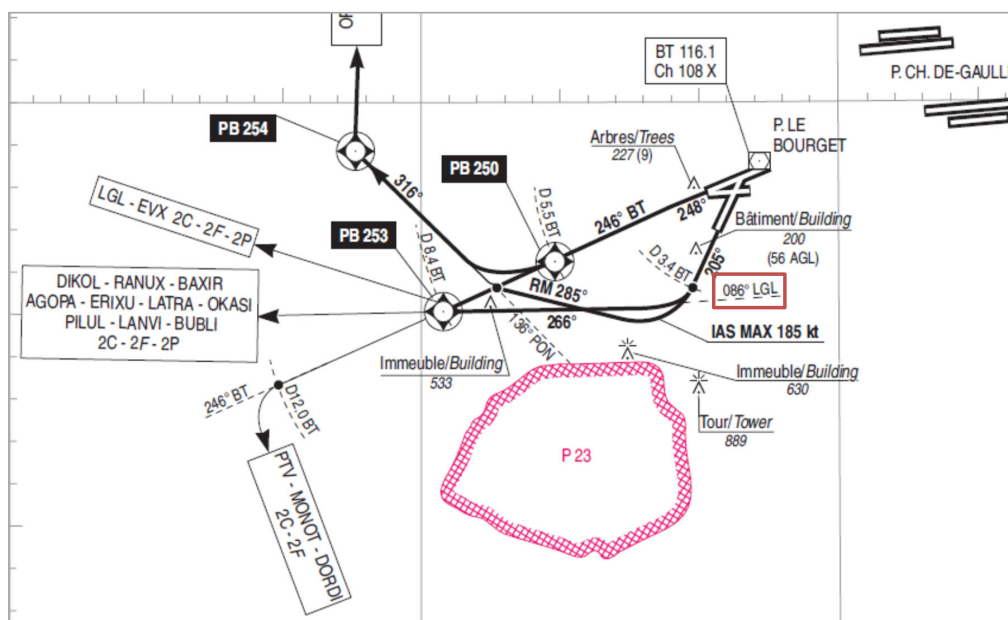
Figure 6 : Écrans du système de calibration à 12 h 02

L’image de gauche montre la position de l’avion ainsi que la radiale 086 depuis le VOR de l’Aigle. Il n’est pas possible sur cet écran d’afficher les espaces aériens ni le SID 21. Cette visualisation ne permettait pas au contrôleur en vol d’identifier l’erreur de position de la radiale 086. L’image de droite montre qu’aucun signal radioélectrique n’est reçu du VOR à ce moment-là.

(6) Navigation basée sur des points tournants, waypoints, définis par des coordonnées géographiques, par opposition à la navigation classique qui s’appuie sur des moyens de radionavigation.

2.4 Renseignement sur la procédure de départ de Paris-Le Bourget

La procédure que l’équipage du F-HCEV devait contrôler est le SID de la piste 21 de l’aérodrome Paris-Le Bourget (Figure 2). Cette procédure peut être suivie par navigation de surface (RNAV⁽⁶⁾) ou par navigation conventionnelle à l’aide des moyens classiques de radionavigation.



Source : AIP France, AD2 LFPB SID RWY21-25 INI

Figure 7 : Extrait du SID « Départs initiaux RWY 21 » de l’aérodrome Paris Le Bourget

Le SID 21 utilise la radiale 086 du VOR de l'Aigle LGL situé à 75 NM à l'ouest. Sur la procédure publiée, cette radiale passe au nord de la zone P23 correspondant à la ville de Paris. La zone P23 est interdite à la circulation aérienne générale de la surface jusqu'à 6 500 ft d'altitude. En réalité, il s'avère que la radiale 086 passe plus au sud, dans la zone P23. La radiale correspondant à la procédure publiée était en fait la radiale 082. Cette erreur était présente dès la conception de la procédure. L'enquête n'a pas permis de retrouver l'origine de l'erreur initiale et les raisons de sa non-détection.

L'enquête n'a pas permis de mettre en évidence d'autres événements au cours desquels un pilote ou un exploitant aurait signalé une difficulté pour suivre cette procédure du fait de la position de la radiale 086.

D'après l'AIP, la piste 21 ne peut être utilisée qu'à titre exceptionnel. De plus, l'erreur sur la radiale 086 n'affecte que la navigation conventionnelle, la navigation RNAV ne dépendant pas des moyens de radionavigation. L'utilisation du SID de la piste 21 en navigation conventionnelle est donc probablement rare, ce qui pourrait expliquer l'absence report par les équipages.

À la suite de cet incident, la procédure publiée a été corrigée : la valeur de la radiale a été changée et indique désormais 082 (voir [§ 2.8](#)).

2.5 Renseignements sur le traitement des non-conformités identifiées en calibration

La DSNA avait signalé l'absence de réception du signal VOR de la radiale 086 entre son point interception et le point PB253 de la procédure, dans le précédent rapport de calibration datant de 2017. Le rapport indique qu'à cet endroit l'aéronef se trouve sous l'horizon radio.

En effet, l'interception de cette radiale a lieu à 75 NM du VOR de l'Aigle. À cette distance, l'horizon radio se trouve à une hauteur de 3 700 ft environ⁽⁷⁾, ce qui signifie qu'en dessous de cette altitude, il n'est en théorie pas possible de recevoir le signal radio du VOR. Les données de calibration enregistrées lors du vol de l'incident confirment, d'ailleurs, qu'aucun signal radioélectrique n'est reçu du VOR de l'Aigle à cet endroit ([Figure 6](#)).

En cas de mesure hors tolérance lors d'un contrôle périodique de procédure, comme c'était le cas pour cet incident et lors du contrôle précédent en 2017, les procédures de la DSNA⁽⁸⁾ prévoient que le service technique en charge de la maintenance de la station VOR :

- ☐ « informe le(s) service(s) exploitation concerné(s) par la non-conformité de la radiale ou partie de radiale aux tolérances CEV et de ses conséquences ;
- ☐ demande, en rapport avec le service exploitation concerné par la radiale inexploitable, la diffusion d'une information aéronautique temporaire (NOTAM) pour déclarer la procédure associée inutilisable ».

⁽⁷⁾ Le calcul utilise la formule suivante qui donne la portée d'un signal radio en NM en fonction de la hauteur de la station émettrice en ft : $D = 1,23\sqrt{h}$.

⁽⁸⁾ Procédure de mise en service et de suivi des stations sol VOR..

Il appartenait alors au service technique du Service de la Navigation Aérienne Ouest (SNA-O), destinataire du rapport de contrôle en vol :

- ❑ d'informer le service exploitation du SNA de la région parisienne (SNA-RP) de l'existence d'une non-conformité impactant une procédure située dans sa zone de compétence ;
- ❑ de demander, en rapport avec le service exploitation du SNA-RP, la diffusion d'un NOTAM pour déclarer le SID 21 en navigation conventionnelle inutilisable.

La station VOR avait été vérifiée par le service technique du SNA-O et fonctionnait normalement. Cette information avait été transmise au service exploitation du SNA-O. Cependant, aucune information n'avait été transmise au service exploitation du SNA-RP.

2.6 Renseignements sur les aéronefs

Les deux avions étaient équipés d'un enregistreur phonique (CVR) mais pas d'enregistreur de paramètres. La réglementation ne l'exigeait pas.

Lors des premiers contacts pris avec l'exploitant le lendemain de l'événement, les deux avions avaient chacun revolé plus de deux heures, les enregistrements phoniques de l'incident n'étaient donc plus disponibles.

Les deux avions n'étaient pas équipés d'autres calculateurs pouvant présenter un intérêt pour l'enquête : seul le système de calibration enregistre une trajectoire GPS lorsqu'il est actif. Ces données ont été déchargées pour les deux avions et n'ont permis de reconstituer qu'une trajectoire partielle des deux aéronefs, moins complète que les trajectoires issues des données radar. Les données du système de calibration n'ont donc pas été exploitées davantage.

2.7 Renseignements sur les équipages

2.7.1 Équipage du F-HCEV

Le commandant de bord est titulaire d'une licence de pilote commercial avion CPL(A), ainsi que des qualifications pour le vol aux instruments multimoteurs (IR-ME), d'instructeur (FI), d'examineur (FE) et de type sur Beech 200. Le jour de l'événement, il totalisait environ 11 800 heures de vol dont 1 700 sur type. Il avait cinq ans d'expérience de calibration, dont plusieurs calibrations en région parisienne, et savait repérer visuellement le périphérique.

Le copilote est titulaire d'une licence CPL(A), ainsi que des qualifications IR-ME, FI et de type sur Beech 200. Le jour de l'événement, il totalisait environ 5 800 heures de vol dont 350 sur type. Il a été cinq ans pilote dans le centre ENAC de Melun et avait l'habitude de voler en région parisienne.

2.7.2 Équipage du F-HNAV

La commandant de bord est titulaire d'une licence CPL(A), ainsi que des qualifications IR-ME, FI et de type sur Beech 200. Le jour de l'événement, elle totalisait environ 7 000 heures de vol dont 1 900 sur type.

Le copilote est titulaire d'une licence de pilote de ligne avion ATPL(A), des qualifications IR-ME, FI et de type sur Beech 200. Le jour de l'événement, il totalisait environ 6 000 heures de vol dont 250 sur type.

2.8 Renseignements sur le contrôle aérien

Les vols de calibration sont pris en charge par deux contrôleurs aériens dédiés : un contrôleur à la radio et un contrôleur qui assure la coordination avec les secteurs adjacents. Ce binôme assure également le contrôle des autres trafics à basse altitude, mais si ce trafic est trop important les positions de contrôle sont dégroupées.

Les vols de calibration occasionnent peu d'occupation de fréquence, mais demandent une analyse de la part du contrôleur aérien pour assurer les séparations minimales et limiter l'impact sur l'écoulement du trafic.

Au sein du centre de contrôle de Paris-Charles de Gaulle, seuls quelques contrôleurs aériens peuvent contrôler les vols de calibration. Un chapitre spécifique du manuel d'exploitation du centre de contrôle détaille les procédures à suivre pour de tels vols. Ce manuel prévoit la réalisation d'un briefing avec l'équipage de calibration chaque début de semaine de calibration pour vérifier les prévisions météorologiques, la compatibilité des manœuvres prévues avec le trafic environnant et les créneaux de vol.

Le briefing réalisé le matin du vol avec l'équipage de calibration a permis d'aborder ces items.

2.9 Entretiens

2.9.1 Entretien avec l'équipage du F-HCEV

Le matin du vol, l'équipage constitué du commandant de bord, du copilote et du contrôleur en vol s'est retrouvé pour faire un briefing du vol de calibration. Le contrôleur en vol a tracé sur une carte 1 / 500 000^{ème} la radiale 086 qui passait légèrement au nord de la zone P23. Le commandant de bord indique que les imprécisions de tracés sur la carte peuvent amener des écarts supérieurs à 3 NM à cette distance du VOR.

L'équipage du F-HCEV savait que l'équipage du F-HNAV réalisait un vol de calibration en piste 08R/26L de l'aérodrome Paris-Charles de Gaulle, sans plus de détails sur leur programme.

Le contrôleur en vol du F-HCEV a appelé le contrôleur aérien de Paris-Charles de Gaulle vers 13 h. Le commandant de bord et le copilote étaient également présents et ont participé au briefing téléphonique. Le briefing était standard et a duré environ dix minutes.

Le contrôleur en vol indique que pour préparer ce vol, il avait consulté le compte-rendu du précédent contrôle de la radiale 086. Il s'attendait donc à ne pas recevoir le signal du VOR, ce qui ne gênait pas la conduite du vol, car le signal du VOR n'était pas utilisé pour leur navigation. En revanche, il ne s'attendait pas à ce que la radiale 086 insérée dans le FMS ne corresponde pas au trajet du SID publié et nécessite d'aller au sud.

Après avoir réalisé l'incohérence de la position de la radiale 086, le commandant de bord indique qu'il avait le projet de faire un demi-tour par la gauche puis par la droite pour rejoindre le début de mesure à 74 NM du VOR/DME. Le copilote et le contrôleur en vol pensaient que le commandant de bord allait se diriger vers le sud puis poursuivre vers l'ouest pour rejoindre la radiale. Cependant le copilote rapporte que dans la dynamique de la situation, il « *n'a pas été choqué* » par le virage à gauche réalisé par le commandant de bord.

Le commandant de bord indique qu'ils étaient en navigation à vue, ne recevaient pas de cap de la part du contrôleur aérien, qu'ils connaissent le périphérique de Paris et qu'ils n'avaient aucun problème pour voir le sol car il faisait beau ce jour-là.

Pendant le demi-tour par la gauche, le commandant de bord se souvient avoir dit au contrôleur en vol qu'il ne pouvait pas rejoindre la radiale 086 car sinon il allait rentrer dans la zone P23. Le contrôleur en vol lui a répondu que cela n'était pas possible. Il y a eu des échanges entre les membres d'équipage à propos du passage ou pas de la radiale 086 dans la zone P23.

Lorsque l'équipage a reçu un message du contrôleur aérien, le commandant de bord a levé les yeux et a vu le F-HNAV au-dessus. Il a mis immédiatement l'avion en descente et simultanément, le contrôleur aérien leur a demandé de descendre. Le commandant de bord n'a pas vu de RA TCAS, le copilote a vu brièvement le voyant lumineux rouge RA sans alarme orale.

L'équipage est descendu et a viré à gauche pour rejoindre le point de début de mesure. Le contrôleur aérien leur a proposé de prendre le meilleur cap pour suivre le périphérique et rejoindre le début de mesure. D'après le contrôleur en vol, le commandant de bord a indiqué à l'équipage qu'une autoroute se trouvait sous eux et qu'il allait la suivre pour éviter la zone P23. Le contrôleur en vol a manifesté un doute sur le fait que ça puisse être le périphérique. Le copilote indique qu'il voyait bien l'autoroute devant et qu'ils avaient un cap environ au 300. Il rapporte qu'il a alors eu un doute à propos de la route à suivre et que le contrôleur aérien n'a pas relevé leur éloignement par rapport au périphérique. Il savait cependant que leur route les éloignait de la zone interdite P23, ce qui était un point essentiel.

Au moment du deuxième rapprochement, le copilote indique qu'il y a eu un avis de trafic (TA) TCAS mais pas de RA. L'équipage pense avoir suivi le périphérique et s'être trompé sur une bifurcation.

2.9.2 Entretien avec l'équipage du F-HNAV

L'équipage réalisait un vol pour la calibration des deux nouveaux ILS de la piste 26L/08R de l'aérodrome Paris-Charles de Gaulle. Les deux équipages du F-HNAV et du F-HCEV s'étaient vus à midi le jour du vol mais l'équipage du F-HNAV ne savait pas que leurs collègues effectuaient une mesure avant de partir vers l'ouest. Lors du briefing entre l'équipage du F-HNAV et le contrôleur aérien, les mesures du F-HCEV n'ont pas été évoquées.

Après une mesure en piste 26L, l'équipage a réalisé une longue vent arrière qui les faisaient longer le périphérique au sud de l'aérodrome du Bourget, en guidage radar. En croisant l'axe de la piste 21 de Paris-Le Bourget, l'équipage a aperçu un avion face à eux en virage à gauche. Le TCAS a émis un TA. Ils ont reçu une instruction du contrôle de virer à droite et un RA TCAS « *climb, climb* » a été émis. Quelques secondes plus tard, le TCAS a indiqué « *clear of conflict* ».

Ils ont ensuite débuté leur mesure dans l'axe de la piste 08R. La commandant de bord indique qu'elle a aperçu un plot jaune sur son affichage TCAS. Elle rapporte avoir entendu que le contrôle aérien donner fermement une instruction de cap à un avion. L'équipage du F-HNAV n'a pas eu de consigne du contrôle donc ils ont conservé leur trajectoire. Ce deuxième rapprochement a donné lieu à un TA TCAS. Sur le moment, l'équipage n'a pas compris que l'avion concerné était à nouveau le F-HCEV.

2.9.3 Entretien avec les contrôleurs aériens

Le contrôleur aérien en position de coordination au moment du premier rapprochement a participé au briefing téléphonique du matin avec l'équipage du F-HCEV. La menace identifiée lors du briefing était le risque d'un autre avion en finale pour la piste 07 de l'aérodrome Paris-Le Bourget car il y pouvait y avoir un conflit à gérer. De manière générale, les contrôleurs aériens indiquent qu'ils n'auraient pas accepté de prendre en charge deux avions de calibration en même temps. Ils ajoutent que le vol du F-HCEV n'était pas considéré comme un vol de calibration mais comme un départ standard vers l'ouest.

Le contrôleur en fréquence indique qu'il a donné l'instruction de suivre le périphérique à vue de nombreuses fois par le passé et qu'il ne s'attendait pas à un virage à gauche du F-HCEV.

Après le premier rapprochement, le contrôleur aérien a redonné un cap à l'ouest à l'équipage du F-HCEV puis leur a donné l'instruction de prendre le meilleur cap pour rejoindre le début de mesure. Les contrôleurs ont alors exercé une surveillance accrue sur cet avion et rapportent que l'équipage du F-HCEV était plutôt « *silencieux* ». Ils n'ont pas perçu que l'équipage avait besoin d'une aide particulière. Le contrôleur a ensuite vu le F-HCEV partir vers le nord et se rapprocher à nouveau du F-HNAV. Il a alors donné un cap à gauche et a demandé à l'équipage de se reposer au Bourget.

Le contrôleur en fréquence a été relevé après ce deuxième rapprochement.

Le contrôleur assurant la coordination indique que l'instruction de suivre le périphérique est utilisée pour faire transiter les avions de calibration entre l'aérodrome du Bourget et la zone P23 car c'est plus efficace et plus précis que de donner des caps successifs.

2.10 Transition de la navigation IFR au cheminement à vue

Lorsque l'équipage du F-HCEV a reçu l'instruction du contrôleur aérien de suivre le périphérique à vue, l'équipage est passé d'une navigation aux instruments (IFR) basée sur le suivi d'une procédure à l'aide des instruments de bord à un cheminement à vue basé sur le suivi de repères au sol. L'équipage n'était vraisemblablement pas préparé à cette éventualité à ce moment du vol. De plus, le contrôleur aérien n'avait pas les moyens de savoir, sauf à le demander explicitement à l'équipage, si celui-ci était réellement en mesure de voir le repère au sol. Du point de vue de l'équipage, le cheminement à vue en région parisienne, de manière générale, n'est pas une situation confortable et nécessite une attention supplémentaire par rapport à un guidage basé sur des caps.

L'altitude minimale de sécurité (MSA) dans cette zone est de 3 200 ft et l'altitude minimale de sécurité radar (AMSR) est de 1 500 ft. Au moment où le contrôleur aérien donne à l'équipage du F-HCEV l'instruction de suivre le périphérique à vue, l'avion est en palier à 2 000 ft donc en dessous de la MSA. Dans ce cas, comme pour tout vol en régime IFR, il est possible pour l'équipage de s'écarter du SID uniquement si les conditions météorologiques sont celles du vol à vue (VMC), ce qui était le cas ce jour-là. L'avion étant toujours en guidage radar, le contrôleur aérien et le commandant de bord étaient tous les deux responsables du respect des marges de franchissement d'obstacles.

Après le premier rapprochement dangereux, le contrôleur aérien a repositionné l'équipage du F-HCEV face à l'ouest et a donné à nouveau à l'équipage l'instruction de suivre le périphérique à vue (point 5 de la [Figure 1](#)). Les voies rapides sont nombreuses en région parisienne et il est possible que l'équipage, par biais de confirmation, ait décidé de suivre la voie rapide située devant eux, plus facilement identifiable que le périphérique situé sur le côté gauche de l'avion.

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

Le programme de vol du F-HCEV prévoyait une calibration de la radiale 086 du VOR de LGL en suivant la procédure de départ standard (SID 21), puis une poursuite vers le VOR de LGL situé à 75 NM à l'ouest. Cette calibration n'était donc pas considérée par les contrôleurs aériens comme une activité pouvant interférer avec le programme de calibration de l'équipage du F-HNAV, en cours au moment de l'événement.

Lors de la préparation du vol, le contrôleur en vol a tracé cette radiale sur une carte aéronautique. Le tracé manuel faisait passer la radiale 086 au nord de la zone interdite P23 correspondant à la ville de Paris et semblait cohérent avec le trajet du SID 21. Les deux pilotes n'ont donc pas vérifié le tracé du contrôleur en vol.

Avant le décollage, l'équipage du F-HCEV a inséré le SID 21 et la radiale 086 dans le FMS de l'avion et a affiché les espaces aériens. Le niveau de zoom du MFD n'a pas permis à l'équipage de visualiser où passait cette radiale et d'identifier l'incohérence. Une telle vérification n'ayant pas été faite, elle n'a pas permis à l'équipage de détecter que la mesure n'était pas possible.

L'équipage du F-HCEV a décollé de la piste 21, est monté dans l'axe en suivant le SID 21, puis a viré à droite pour prendre le cap 270 donné par le contrôleur aérien. Au cours de la montée initiale, le commandant de bord du F-HCEV a dé-zoomé l'affichage du MFD et a constaté que la radiale insérée dans le FMS se situait plus au sud qu'attendu et passait dans la zone interdite P23.

Le contrôleur en vol n'avait pas la possibilité d'afficher les espaces aériens ni le SID 21 sur les écrans du système de calibration. Il n'avait donc pas la même représentation de la situation que les pilotes du F-HCEV et pour lui, la radiale ne pouvait pas passer dans Paris.

Après des échanges entre les pilotes et le contrôleur en vol du F-HCEV, l'équipage a demandé au contrôleur aérien de prendre un cap au sud pour tenter de rejoindre la radiale 086. En réponse, le contrôleur aérien a donné l'instruction de longer le périphérique à vue et de prendre le meilleur cap pour débiter la mesure, pensant que l'équipage poursuivrait sa route vers l'ouest. En effet, pour le contrôleur il s'agissait d'un départ standard avec une mesure de calibration lors du passage sur le SID, il s'attendait donc avant tout à un respect du SID.

L'instruction du contrôle a été interprétée différemment par le commandant de bord du F-HCEV qui a fait un demi-tour par la gauche pour rejoindre le début de mesure, se retrouvant alors face à l'est, en trajectoire convergente avec le F-HNAV situé derrière lui. Un avis de résolution TCAS s'est déclenché malgré les instructions d'évitement données aux deux équipages par le contrôleur aérien.

L'équipage du F-HCEV a ainsi donné la priorité à la réalisation de la mesure, quitte à s'écarter du SID. Il est également possible que le passage d'un mode de navigation consistant à suivre une procédure standard à l'aide des instruments de bord à un mode de navigation nécessitant l'acquisition et le suivi de repères au sol ait pu perturber l'équipage.

Après ce premier rapprochement, le contrôleur aérien a guidé l'équipage du F-HCEV pour qu'il se présente face à l'ouest avec la trajectoire du SID 21 devant lui et a de nouveau donné à l'équipage l'instruction de suivre le périphérique à vue pour rejoindre le début de mesure. L'équipage du F HCEV a alors confondu le périphérique avec une autre voie rapide située devant eux. Cette confusion a pu être favorisée par l'existence d'un repère visuel similaire devant l'avion au moment où le contrôleur a donné cette instruction.

Le suivi de ce repère visuel a amené l'équipage à prendre une route au nord-ouest, les rapprochant à nouveau du F-HNAV. L'équipage n'a pas identifié qu'une route au nord-ouest n'était pas compatible avec le suivi du périphérique. Pour le copilote, l'essentiel était de ne pas se rapprocher de la zone interdite P23.

Pendant cette phase de cheminement à vue, qui a duré environ 1 min 30, l'équipage du F-HCEV a douté du repère à suivre mais ne s'est pas manifesté auprès des contrôleurs aériens qui, de leur côté, n'ont pas compris pourquoi l'équipage partait au nord-ouest et n'ont pas contacté l'équipage pour lever le doute.

À l'issue du deuxième rapprochement, le comportement du F-HCEV a paru suffisamment erratique au contrôleur aérien pour qu'il demande à l'équipage d'interrompre la calibration et de revenir se poser sur l'aérodrome du Bourget. Après plusieurs échanges avec les contrôleurs aériens, l'équipage du F-HCEV a finalement poursuivi son programme de mesure vers le VOR de LGL.

Facteurs contributifs

Ont pu contribuer à la première perte de séparation entre les deux avions de calibration°:

- ☐ l'erreur sur la radiale à suivre dans la procédure publiée ;
- ☐ l'absence de vérification par l'équipage de conduite du F-HCEV de la position de la radiale 086 fournie par le contrôleur en vol, et notamment sa cohérence par rapport au trajet du SID 21 ;
- ☐ l'absence de vérification par l'équipage de conduite de la position de cette radiale lors de sa saisie dans le FMS de l'avion ;
- ☐ l'instruction donnée par le contrôleur aérien de suivre le périphérique à vue interprétée par l'équipage du F-HCEV dans un sens différent de celui attendu par le contrôleur aérien.

Ont pu contribuer à la deuxième perte de séparation :

- ☐ l'instruction donnée à nouveau à l'équipage du F-HCEV de suivre le périphérique à vue ;
- ☐ l'identification erronée par l'équipage du F-HCEV du repère visuel à suivre, cette confusion pouvant s'expliquer par la multiplicité des repères visuels en région parisienne pouvant ressembler au périphérique ;
- ☐ l'absence de communication entre l'équipage du F-HCEV et le contrôleur aérien au cours du cheminement le long d'un repère visuel erroné, l'équipage doutant du repère à suivre sans le faire savoir au contrôleur et le contrôleur ne comprenant pas la route prise par l'équipage sans toutefois le contacter à ce propos.

Enseignements de sécurité

Préparation du vol

Lors de la préparation du vol, le contrôleur en vol prépare le programme de calibration, trace le cas échéant les radiales à suivre, et fournit ces informations à l'équipage de conduite. L'équipage de conduite doit néanmoins garder une part active dans la préparation du vol et vérifier les informations fournies par le contrôleur en vol, en particulier pour ce qui concerne les trajectoires à suivre lors du vol.

Type d'instruction donnée par le contrôle aérien

Les instructions données par le contrôle aérien basées sur du cheminement à vue ne sont pas compatibles avec les vols de calibration réalisés en régime IFR. Lorsqu'une instruction basée sur du cheminement à vue est donnée à un vol IFR, cela introduit des incertitudes à plusieurs niveaux : l'équipage peut ne pas être en mesure d'identifier le repère au sol, ou se tromper de repère, ou bien l'équipage et le contrôleur peuvent comprendre différemment l'instruction donnée. Ce point fait l'objet d'une recommandation de sécurité.

Traitement des anomalies identifiées lors des vols de calibration

Cet incident a mis en évidence l'existence d'une défaillance dans le traitement des anomalies identifiées lors des vols de calibration. Le contrôle en vol de novembre 2017 a identifié que le VOR de LGL était hors de portée sur le début du SID 21. Cependant, cela n'a pas donné lieu à la mise en place des actions prévues, à savoir l'information du service exploitation du SNA-RP et la publication d'un NOTAM pour informer les usagers que la procédure n'était plus utilisable. Alors que ce type de non-conformité aurait nécessité une action immédiate, il s'est passé plus de trois ans entre sa détection et la publication du NOTAM. Une mention plus explicite du caractère critique des non-conformités dans le rapport de contrôle en vol pourrait faciliter la mise en place d'actions immédiates. Par ailleurs, les procédures de la DSNA relatives au suivi des stations VOR pourraient indiquer que les services techniques informent « *sans délai* » les services exploitations concernés ou les subdivisions Espaces et procédure de ces services.

Préservation des données de l'enregistreur phonique

Les deux avions étaient équipés d'un enregistreur phonique. Ces enregistrements n'ont pas été préservés ce qui a limité les possibilités d'analyse lors de l'enquête. Il est important que les exploitants et les équipages restent sensibilisés à la durée d'enregistrement limitée des enregistreurs phoniques et donc à la nécessité de préserver sans délai les enregistrements en cas d'incidents grave pouvant donner lieu à l'ouverture d'une enquête de sécurité.

Mesures prises à la suite de cet incident

À la suite de cet incident, les mesures suivantes ont été prises par la DGAC :

- ❑ La procédure de départ standard SID CONV RWY 21-25 (3C – 3F et 3P) a été mise à jour et publiée en août 2019, indiquant de suivre la radiale 083 du VOR de l'Aigle ; une deuxième mise à jour a eu lieu en octobre 2020 indiquant de suivre la radiale 082.
- ❑ Deux NOTAMs ont été publiés le 8 février 2021, valables jusqu'au 20 mai 2021, signalant que les procédures de départ standard SID CONV RWY 21-25 (4C – 4F et 4P) sont désormais inutilisables, le VOR de LGL étant hors de portée. Pour le départ 4P que l'équipage devait suivre le jour de l'événement, le NOTAM indique de monter en suivant la route magnétique 204, de tourner à droite à 3,4 NM de BT pour prendre la route magnétique 262 jusqu'au point PB253, puis de suivre le SID RNAV.
- ❑ À compter du 20 mai 2021, de nouvelles procédures de départ standard RNAV remplaceront les procédures conventionnelles au départ de la piste 21.
- ❑ Les opérations simultanées de calibration par plusieurs aéronefs dans un même espace aérien ont été interdites en région parisienne.
- ❑ Le temps de contrôle pour un contrôleur aérien prenant en charge un vol de calibration a été réduit de 4 h à 2 h 30.
- ❑ La procédure de transmission des informations en cas de non-conformité détectée lors d'un contrôle en vol a été rappelée à tous les chefs de service technique des SNA en janvier 2021.

L'ENAC a fait un rappel à ses équipages notamment sur la nécessité de :

- ❑ Renforcer la préparation des vols de calibration et l'identification des menaces potentielles, en particulier durant le briefing avec le contrôleur aérien.
- ❑ Identifier collégialement les risques et les menaces lors du briefing avec le contrôleur aérien et définir les moyens de gestion de ces risques.
- ❑ Lever les doutes en échangeant avec le contrôleur aérien et transmettre les informations au membre d'équipage qui n'a pas participé au briefing.
- ❑ Renforcer la gestion des ressources (CRM) en vol et encourager le PM dans son rôle.

4 - RECOMMANDATION

Rappel : conformément aux dispositions de l'article 17.3 du règlement n° 996/2010 du Parlement européen et du Conseil du 20 octobre 2010 sur les enquêtes et la prévention des accidents et des incidents dans l'aviation civile, une recommandation de sécurité ne constitue en aucun cas une présomption de faute ou de responsabilité dans un accident, un incident grave ou un incident. Les destinataires des recommandations de sécurité rendent compte à l'autorité responsable des enquêtes de sécurité qui les a émises, des mesures prises ou à l'étude pour assurer leur mise en œuvre, dans les conditions prévues par l'article 18 du règlement précité.

Clairance du contrôle pour les vols de calibration

L'enquête a mis en évidence que dans la pratique du contrôle des vols de calibration, des clairances basées sur du cheminement à vue peuvent être données aux équipages. Ce type d'instruction n'est pas compatible avec des vols de calibration réalisés en régime IFR et peut introduire des risques supplémentaires.

Par conséquent, le BEA recommande que :

- **considérant que lors des vols de calibration réalisés en régime IFR, seules les clairances conformes à ce régime de vol sont autorisées ;**
- **considérant que les contrôleurs aériens ne sont pas en mesure de savoir si un équipage peut effectivement voir un repère au sol donné ;**
- **considérant qu'un équipage peut se tromper de repère au sol et cheminer à vue le long d'un repère erroné ;**
- **considérant qu'une instruction basée sur du cheminement à vue introduit un risque d'incompréhension entre le contrôleur et l'équipage ;**

la DSNA s'assure que les clairances données par les contrôleurs aériens aux équipages lors de vols de calibration en régime IFR soient conformes à l'ensemble des règles régissant les vols IFR.

[Recommandation FRAN 2021-003]