

Ecart de trajectoire vertical en approche ILS avec le pilote automatique engagé

Aéronef	Bombardier Canadair CL-600 2C10 (CRJ700) immatriculé F-GRZK
Date et heure	Mardi 19 janvier 2010 vers 8 h 00 ⁽¹⁾
Exploitant	Brit Air
Lieu	AD Paris Charles de Gaulle (95)
Nature du vol	Transport public de passagers, vol régulier
Equipage (de conduite)	Commandant de bord (PF) ; copilote (PNF)
Conséquences et dommages	Aucun

⁽¹⁾Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en temps universel coordonné (UTC).

⁽²⁾Altitude topographique du seuil de piste 08R : 336 ft.

⁽³⁾Approche de précision aux instruments suivie d'un atterrissage avec une DH inférieure à 100 ft et une RVR égale ou supérieure à 200 m.

⁽⁴⁾Engine Indication and Crew Alerting System.

⁽⁵⁾RVR nécessaire de 550 mètres et DH de 200 ft.

DÉROULEMENT DU VOL

Note : dans toute cette section et sauf indication contraire, les hauteurs sont notées AGL. Les valeurs d'altitude sont celles du paramètre enregistré corrigées du QNH et sont notées AMSL.

Les procédures LVP sont en vigueur à Paris Charles de Gaulle. Etabli sur l'ILS piste 08R⁽²⁾ en approche de précision CAT III A⁽³⁾, l'équipage constate à partir de 1 700 ft AMSL un fonctionnement par intermittence du radioaltimètre 1. L'équipage interrompt l'approche vers 800 ft AMSL après avoir détecté un message APCH WARN affiché au système de guidage tête haute (HGS) et au PFD. L'origine de ce message est un écart supérieur aux tolérances entre les hauteurs mesurées par les deux radioaltimètres de l'avion.

Une seconde approche CAT III A est effectuée en piste 08R. A environ 1 700 ft AMSL, le radioaltimètre 1 fonctionne à nouveau par intermittence. Vers 1 000 ft AMSL, un message d'alerte MASTER CAUTION, accompagné du message EFIS COMP MON à l'EICAS⁽⁴⁾ et du message APCH WARN au HGS se déclenche durant quelques secondes pour les mêmes raisons qu'au cours de la première approche. L'équipage interrompt l'approche environ quinze secondes plus tard, à une altitude d'environ 800 ft AMSL. Les messages d'alerte EFIS COMP MON et APCH WARN se déclenchent à nouveau.

La RVR est suffisante pour effectuer une approche de précision CAT I⁽⁵⁾ en piste 08R. En se basant sur le plafond nuageux constaté lors des deux premières approches, l'équipage indique au contrôleur qu'il souhaite faire une approche de CAT I et qu'en cas de nouvelle approche interrompue, il se dérouterait vers l'aérodrome de Lille. Vers 1 700 ft AMSL, le radioaltimètre 1 fonctionne à nouveau par intermittence. Le PA est connecté. A partir de 700 ft AMSL, soit 160 ft au-dessus de la DA et jusqu'à 340 ft AMSL le radioaltimètre 1 ne fournit pas de hauteur. Pendant cette période, l'assiette longitudinale de l'avion commence à osciller. A l'altitude correspondant à la DA, elle est légèrement positive (0,3 degrés à cabrer) puis augmente jusqu'à 1,3 degré à cabrer avant de décroître rapidement jusqu'à une assiette d'environ 7 degrés à piquer vers 100 ft AGL. La déviation G/S est alors d'un point en dessous du plan de descente de l'ILS. Le PF déconnecte le PA dès qu'il constate la diminution d'assiette, vers 120 ft AGL. Il reprend le plan de descente et, en vue de la rampe d'approche, poursuit pour atterrir sans autre difficulté en piste 08R.

RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES

Informations météorologiques

Entre la première approche de CAT III A et l'atterrissage, les conditions météorologiques suivantes ont été observées :

- la hauteur de la base des nuages est restée inférieure à 100 ft (piste 08R) ;
- la RVR en piste 08 R a été comprise entre 500 et 1 000 mètres.

Les équipages des quatre avions ayant atterri avant l'équipage du F-GRZK ont annoncé sur la fréquence tour avoir vu la rampe d'approche à des hauteurs comprises entre 70 et 200 ft.

Radioaltimètres

Généralités

Le CRJ700 est équipé de deux systèmes de radioaltimétrie calibrés pour fournir une information de hauteur. Chaque système est constitué d'un radioaltimètre (calculateur émetteur-récepteur SHF⁽⁶⁾) et de deux antennes (une pour l'émission et l'autre la réception). Chaque radioaltimètre envoie l'information de hauteur à des équipements tels que les EFIS, le GPWS et le système de contrôle automatique du vol (PA/DV). La hauteur du radioaltimètre 1 est affichée sur le PFD du commandant de bord et celle du radioaltimètre 2 sur celui du copilote.

La mesure de la hauteur par le système de radioaltimétrie repose sur la mesure du temps entre l'émission d'un signal transmis vers le sol et la réception par l'avion du signal réfléchi. La hauteur de l'avion est alors directement fonction du temps aller-retour du signal. Lorsque ce temps est supérieur à un temps référence, l'avion est considéré par les systèmes embarqués comme étant à une hauteur indéterminée supérieure à 2 500 ft.

Les radioaltimètres et les antennes ne sont pas spécifiques à un type d'avion. La longueur des câbles entre les antennes et le calculateur dépend de chaque type d'avion. Elle est déterminée de telle sorte que lors du toucher des roues à l'atterrissage, l'information de hauteur soit égale à 0 ft. Des retardateurs peuvent être installés entre les antennes et le calculateur pour limiter la longueur et le poids de câbles, ainsi que leur enroulement.

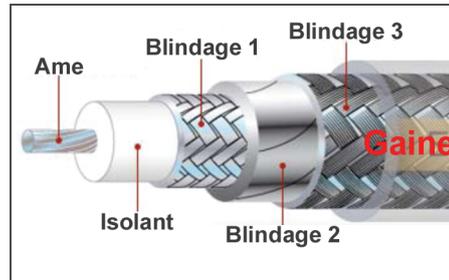
Les informations envoyées à chaque PFD sont comparées de manière permanente pour certains paramètres. Dès qu'un écart est détecté, un indicateur ambre clignote pendant cinq secondes au PFD puis reste affiché tant que l'écart persiste. Un message d'alerte EFIS COMP MON est également affiché sur l'EICAS. Lors d'une approche de précision, la comparaison des hauteurs et des déviations ILS est effectuée en permanence.

Le CRJ700 ne dispose pas de système d'autopoussee ou d'automanette. Des valeurs erronées issues de radioaltimètre n'ont ainsi pas d'impact sur le système de poussée.

⁽⁶⁾Super High Frequency entre 4.2 et 4.3 GHz.

Origine du fonctionnement par intermittence du radioaltimètre 1

Les actions effectuées par le système d'entretien de Brit Air à partir d'un plan d'actions établi par Bombardier ont permis d'identifier l'origine du dysfonctionnement du système de radioaltimétrie 1 au niveau du câble coaxial situé entre l'antenne de réception et le radioaltimètre 1.



Un câble coaxial est constitué d'un fil conducteur (âme) enveloppé dans un isolant, puis de blindages métalliques et d'une gaine extérieure

Un examen du câble coaxial, effectué par l'exploitant, a révélé :

- un court-circuit entre l'âme et les blindages dont l'origine n'a pu être déterminée ;
- un défaut d'isolation du connecteur du câble de l'antenne de réception au radioaltimètre 1 en raison de la présence de fluide gras entre le blindage et le connecteur.

A l'issue de cet examen, le câble coaxial a été remplacé et détruit. Les tests conduits par la suite ont révélé un fonctionnement normal du système de radioaltimétrie.

Lors des trois approches effectuées par l'équipage, le signal réfléchi par le sol était reçu par intermittence par le radioaltimètre 1 en raison de l'endommagement de la chaîne de réception. Par conséquent, le radioaltimètre envoyait aux autres calculateurs l'information que l'avion évoluait au-dessus d'une hauteur de 2 500 ft dès qu'il y avait court-circuit dans le câble coaxial.

Valeurs erronées issues de radioaltimètres

Retour d'expérience de Brit Air et de Bombardier

De nombreux ASR ont été émis par les équipages de Brit Air à propos de valeurs erronées fournies par un des deux radioaltimètres des avions de la flotte. Ces constatations n'ont pas eu de conséquences aussi sérieuses que celles de cet événement mais elles ont toutes fait l'objet d'actions correctrices sur avion et de notifications auprès de Bombardier.

De son côté, Bombardier a reçu de la part de nombreux exploitants des rapports concernant la fiabilité des systèmes des radioaltimètres. Le constructeur a notamment trouvé que les câbles coaxiaux se dégradent avec le temps pour les principales raisons suivantes :

- excès de courbure au-delà du rayon de courbure minimum, dégradant les blindages principalement au niveau de l'interface entre les connecteurs et les câbles ;

- humidité (eau, fluide hydraulique ou de nettoyage...) au niveau des câbles et/ou des connecteurs ;
- vibrations de la cellule ;
- opérations d'entretien au cours desquelles les câbles coaxiaux sont forcés pour des raisons d'accessibilité.

Des modifications ont été apportées pour limiter la pénétration d'humidité dans les zones non-pressurisées où se trouvent certains câbles coaxiaux.

Accident survenu à un Boeing 737-800 en approche à Amsterdam⁽⁷⁾

Au cours de la descente pour une approche ILS, le radioaltimètre 1 fournit régulièrement une hauteur de - 8 ft, affichée sur le PFD du commandant de bord, ce qui génère des alarmes « LANDING GEAR CONFIGURATION », le train d'atterrissage étant rentré. Cette valeur erronée de hauteur est considérée comme valide par les systèmes exploitant cette information, en particulier l'automanette. Le PA 2 est engagé et utilise les informations provenant du radioaltimètre 2. En approche finale, les volets en position 15 et le train d'atterrissage sorti, le radioaltimètre 1 fournit à nouveau une hauteur de - 8 ft, ce qui amène l'automanette en mode RETARD et les manettes de poussée en position ralenti. Etabli sur le plan de descente, la vitesse diminue tandis que l'incidence augmente sans que l'équipage ne le perçoive. A 460 ft AGL, le stick shaker devient actif. Quelques secondes plus tard, l'avion décroche et entre en collision avec le sol à environ 1,5 km du seuil de piste.

Concernant les valeurs erronées pouvant être fournies par les radioaltimètres aux différents systèmes de l'avion, il ressort de l'enquête de sécurité conduite par l'organisme d'enquête néerlandais que :

- la documentation technique pilote ne permettait pas de comprendre les conséquences possibles de valeurs erronées de hauteurs fournies par un radioaltimètre sur les systèmes embarqués utilisant ces informations ;
- les problèmes liés à des valeurs erronées de hauteur fournies par des radioaltimètres étaient connus de Boeing et de la FAA et ont fait l'objet d'études qui n'ont pas permis de déterminer avec certitude les causes de ces anomalies ;
- la notification non systématique par les équipages et les services d'entretien d'anomalies constatées, sur les radioaltimètres en particulier, ne permettait pas d'évaluer les risques liés.

En septembre 2010, la FAA a proposé une consigne de navigabilité (AD) pour les modèles -600, -700, -700C, -800 et -900 de la famille des Boeing 737 qui demande de détecter et de corriger au niveau des FCC des avions les éventuelles valeurs erronées fournies des radioaltimètres.

Boeing a également publié un bulletin technique opérationnel⁽⁸⁾ à propos des conséquences possibles de valeurs erronées fournies par au moins un des trois radioaltimètres équipant les Boeing 777. Ce bulletin mentionne l'importance du travail en équipage en cas de détection d'un tel problème et demande aux équipages de réduire le niveau d'automatisation pour assurer et maintenir le contrôle de l'avion.

⁽⁷⁾Rapport d'enquête
www.onderzoeksraad.nl/docs/rapporten/rapport_TA_ENG_web.pdf

⁽⁸⁾Flight Operations
Technical Bulletin
n° 777-30 du
21 juillet 2010.

Revue Safety First d'Airbus

La revue Safety First n° 11 publiée par Airbus en janvier 2011 fait également état de notifications d'événements en service relatifs à des problèmes de radioaltimètres. Une valeur erronée de hauteur fournie par un radioaltimètre peut être considérée comme valide par les systèmes de l'avion et peut ainsi avoir des conséquences sur les écrans d'affichage, les systèmes d'avertissement, les directeurs de vol (DV) et les protections en incidence des avions. En particulier, une valeur erronée de - 6 ft a été observée dans plusieurs événements provoquant les activations du mode FLARE par le pilote automatique et du mode RETARD par l'autopoussee⁽⁹⁾ ainsi que l'inhibition de certaines protections en incidence des avions.

L'origine de ces indications erronées peut être interne ou externe au système du radioaltimètre. Elle peut être liée à :

- une ingestion d'eau dans l'installation des antennes d'émission et de réception des radioaltimètres, pouvant affecter les antennes et potentiellement les câbles coaxiaux ;
- une installation dégradée au niveau des connecteurs des câbles ;
- un terrain présentant des variations de réflectivité.

Suite à ces notifications d'événements, Airbus a publié :

- des bulletins à l'attention des exploitants⁽¹⁰⁾ qui décrivent les conséquences opérationnelles et fournissent des recommandations à suivre en cas de détection d'erreurs d'un radioaltimètre ;
- de nouvelles opérations d'entretien liées aux antennes de radioaltimètres et aux câbles coaxiaux.

Airbus demande également que les équipages identifient et notifient toute détection d'indications erronées de radioaltimètres. Afin de mieux détecter les problèmes liés aux erreurs fournies par les radioaltimètres, des améliorations sont en cours de développement aussi bien au niveau des radioaltimètres que des systèmes embarqués.

Guidage sur un plan de descente ILS

Utilisation de la hauteur dans les lois de guidage sur un plan de descente ILS

Les déviations G/S (par rapport au plan de descente de l'ILS) indiquées au pilote sont directement fonction de l'écart angulaire entre l'avion et le plan oblique matérialisant le plan de descente.

Pour une déviation donnée, la distance de l'avion au plan de descente est d'autant plus faible que l'avion est proche du seuil de piste. La correction de trajectoire à appliquer pour revenir sur le plan de descente devient par conséquent moins importante au fur et à mesure que l'avion se rapproche du seuil de piste.

⁽⁹⁾FLARE et THR IDLE affichés au FMA

⁽¹⁰⁾Operator Information Telex/Flight Operations Telex et Red Operations Engineering Bulletins

Afin d'adapter cette correction à appliquer pour revenir sur le plan de descente, les consignes du DV sont pondérées en utilisant l'information de hauteur fournie par le radioaltimètre. Cette information permet d'adapter le gain, et donc l'utilisation de la déviation G/S dans la loi de guidage du DV sur le plan de descente.

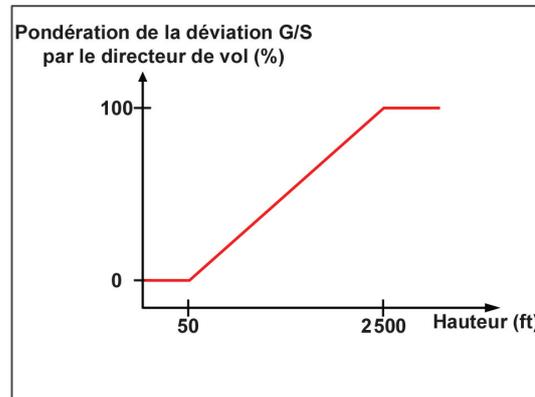
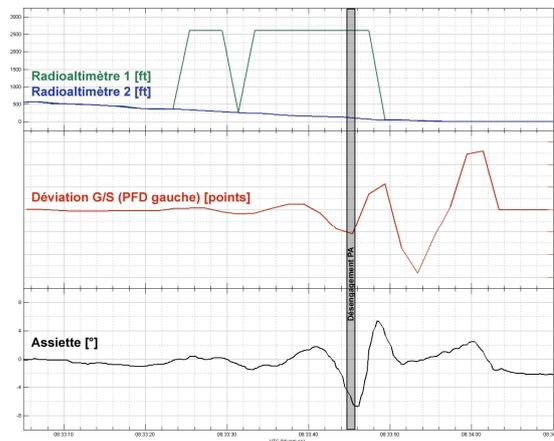


Schéma simplifié de l'utilisation de la déviation G/S par les directeurs de vol lors d'un guidage sur un plan de descente ILS

En approchant de la DA lors de la dernière approche, les informations de hauteur fournies par le radioaltimètre 1 au DV1 ont conduit celui-ci à considérer l'avion à une hauteur supérieure à 2 500 ft et donc loin du seuil de piste. Pour rattraper le plan de descente, le DV a ainsi commandé des sur-corrrections⁽¹¹⁾, entraînant une déviation G/S opposée, laquelle a été à nouveau sur-correctée. La déviation G/S et l'assiette ont alors commencé à osciller avec une amplitude croissante.

⁽¹¹⁾Une déviation G/S à une faible distance du seuil est corrigée par une assiette adaptée à cette même déviation à une distance plus importante.



Approches de précision

Approches de précision en conditions LVP

Selon le manuel d'exploitation de Brit Air⁽¹²⁾, pour réaliser une approche de précision en conditions LVP, le commandant de bord est obligatoirement PF.

Approches de précision CATIII

Lors d'approches de précision CAT III, le commandant de bord effectue l'approche en manuel en utilisant le HGS. Lorsqu'il est armé, ce système assure la surveillance de différents capteurs, de son intégrité et des performances d'approche et d'atterrissage.

⁽¹²⁾Manuel d'exploitation partie B.02.04 page 01.

En cas de détection d'une anomalie au-dessus de 500 ft AGL, un message AIII s'affiche en jaune au PFD et un message NO AIII est affiché au niveau de la visualisation tête haute et sur le panneau de contrôle du système HGS. En dessous de 500 ft AGL, un message d'alarme APCH WARN s'affiche au niveau de la visualisation tête haute. Il est également affiché en rouge au niveau des PFD. Lorsque ce message s'affiche, si les références visuelles extérieures ne sont pas acquises, le commandant doit interrompre l'approche.

Les deux approches CAT III ont été interrompues par l'équipage comme le prévoient les procédures de l'exploitant, suite au déclenchement des messages APCH WARN.

Approche de précision CATI en conditions LVP

Ce type d'approche doit être effectué, dans la mesure du possible, avec le PA et le DV engagés⁽¹³⁾. A la DA, le PF peut déconnecter le PA ou le conserver jusqu'à une hauteur minimale de 80 ft. Le PNF répond en annonçant « décision » et si les références visuelles extérieures sont suffisantes pour poursuivre l'approche, le PF annonce « contact » et poursuit l'approche. Si les références visuelles extérieures ne sont pas suffisantes le PF annonce « remise de gaz ».

Pour l'équipage, même si la décision d'effectuer une approche de CAT I, avant le dégageant, entraînait un relèvement de la DA, cette décision permettait certainement de s'affranchir de la surveillance assurée par le système HGS en approche de CAT III. L'approche de CAT I effectuée a pu être affectée par les problèmes du radioaltimètre 1, en générant des messages d'alerte EFIS COMP MON à l'EICAS. Mais contrairement à une approche de CAT III, l'équipage avait la possibilité de poursuivre l'approche malgré ces messages d'alerte, en conformité avec les procédures.

Cependant, il n'avait pas connaissance de l'utilisation par le DV des informations provenant des radioaltimètres lors d'un guidage sur un plan de descente ILS et des conséquences d'un problème de radioaltimètre sur les consignes du DV. La descente a été poursuivie avec le PA connecté jusqu'à une hauteur d'environ 120 ft, soit 40 ft au-dessus de la limite autorisée de son utilisation.

⁽¹³⁾Manuel d'exploitation partie B.02.03 page 35.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

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

Lors de l'événement, la comparaison des valeurs de hauteur issues des deux radioaltimètres affichées sur leurs PFD respectifs a permis au pilote de détecter l'origine du problème au niveau du radioaltimètre 1. Les deux membres d'équipage n'avaient toutefois pas connaissance des conséquences de l'utilisation de ces valeurs erronées par le PA/DV qui, considérant ces hauteurs comme valides, avait tendance à sur-corriger les écarts de trajectoire par rapport au plan de descente de l'ILS. Ayant conservé le PA connecté le plus longtemps possible, le PF, certainement surpris par l'écart de trajectoire, a dû réagir à très faible hauteur pour rattraper le plan de descente.

Fragilité des câbles en maintenance

Il est possible, compte tenu des caractéristiques des câbles coaxiaux, des manipulations pouvant être effectuées pour brancher ces câbles ou de la longueur de câble utilisé (rouleau entre les antennes et l'émetteur-récepteur), qu'un excès de courbure du câble ait provoqué un court-circuit. Les systèmes de radioaltimétrie sont composés de plusieurs éléments distincts (radioaltimètre, câbles, antennes...) qui peuvent être changés et manipulés de manière indépendante, entraînant une éventuelle dégradation des autres éléments du système. Ainsi, des recommandations des constructeurs des avions à l'attention des services d'entretien sur les actions à effectuer en cas d'anomalie détectée provenant d'un système de radioaltimétrie ainsi que sur les opérations d'entretien de ces systèmes permettraient de limiter le nombre d'événements liés à des valeurs erronées de hauteur.

Influence de valeurs erronées de hauteur

Les différents exemples présentés montrent l'importance de l'utilisation des valeurs de hauteurs des radioaltimètres par les systèmes embarqués et les conséquences de valeurs erronées sur leur fonctionnement. La fourniture par les radioaltimètres de telles valeurs est un problème général connu qui concerne les systèmes embarqués de plus en plus complexes de tous les types d'avions. Les exemples montrent également la volonté des constructeurs de limiter les risques associés aux valeurs erronées issues des radioaltimètres.

Dans la plupart des cas, les équipages détectent, soit par eux-mêmes en surveillant leur PFD, soit par avertissement des systèmes, les dysfonctionnements de radioaltimètres. Par contre, les équipages sont souvent amenés à réagir aux événements indésirables résultants de l'utilisation de ces valeurs erronées par les systèmes embarqués, plutôt que de décider et à agir par anticipation. Ceci peut s'expliquer par l'insuffisance de renseignements fournis aux équipages, dans la documentation à leur disposition, durant leur formation mais aussi par les systèmes d'avertissement en vol. Cette carence ne permet pas d'anticiper les conséquences d'erreurs provenant des radioaltimètres.

Les décisions alors prises par les équipages peuvent être inappropriées, surtout en approche où l'estimation en temps réel du risque associé à ces problèmes n'est pas forcément possible. Des compléments d'information sur l'utilisation par les automatismes des hauteurs fournies par les radioaltimètres (documentation équipage, procédures, formation, entraînement...) permettraient aux équipages de mieux appréhender un dysfonctionnement du système de radioaltimétrie.

C'est pourquoi le BEA recommande à l'AESA de s'assurer que :

Recommandation FRAN-2012-008

- **les constructeurs d'aéronefs examinent et corrigent quand cela est possible les effets indésirables produits sur les systèmes embarqués par des valeurs de hauteurs erronées fournies par au moins un radioaltimètre ;**

Recommandation FRAN-2012-009

- **les constructeurs d'aéronefs modifient les manuels d'utilisation des avions en précisant l'exploitation par les systèmes embarqués des informations fournies par les radioaltimètres ainsi que les recommandations ou procédures à suivre pour les équipages en cas de détection d'informations erronées provenant d'au moins un radioaltimètre ;**

Recommandation FRAN-2012-0010

- **les constructeurs d'aéronefs modifient les procédures d'entretien pouvant avoir des conséquences sur le système de radioaltimétrie afin de prendre en compte les risques de détérioration.**