

1.16.1.4 Organisation des recherches sous-marines

Avant l'arrivée des bâtiments et du sous-marin sur le site estimé de l'accident, un carroyage de la zone des recherches a été effectué au CECLANT à Brest par la Marine nationale et le BEA. La zone a ainsi été découpée en blocs de dix minutes d'arc de longueur de chaque côté (soit approximativement des carrés de 10 NM de côté sous ces latitudes, voir figure au paragraphe 1.16.1.1). Dans la majorité de ces blocs, les profondeurs peuvent dépasser 3 500 m. Les zones de travail ont été réparties entre les moyens de surface et le sous-marin pour que les recherches s'effectuent dans de bonnes conditions de rapidité et de sécurité.

La coordination tactique des recherches a lieu à bord du « Pourquoi Pas ? ». Elle est conduite par le BEA en liaison avec du personnel de la CEPHISMER (Marine nationale).

Un détachement du SHOM à bord du « Pourquoi pas ? » travaille à préciser les connaissances de la topographie de la zone. La mise en œuvre du sondeur multi-faisceau grand fond permet de récolter des données de profondeur. Des données de mesures de courant et de mesures de célérité du son dans l'eau sont aussi traitées.

Quant aux TPL, ils sont remorqués à environ trois nœuds le plus près possible des fonds sous-marins. Pour explorer systématiquement la zone, les navires remorqueurs décrivent des lignes espacées de 2,5 km. Cela tient compte de la fauchée des TPL qui est d'environ 2 NM.

1.16.2 Messages ACARS

1.16.2.1 Messages ATC

Aucun message ATC n'a été reçu ou émis par le F-GZCP. Seules trois tentatives de connexion au système ADS-C du centre de Dakar ont été enregistrées le 1^{er} juin à 1 h 33, 1 h 35 et à 2 h 01. Les trois demandes ont été refusées avec un code FAK4, signifiant que le système de contrôle avait constaté une absence de plan de vol pour cet avion ou une inadéquation entre le plan de vol déposé et l'immatriculation, le numéro de vol et la position reportée.

1.16.2.2 Messages opérationnels

Le premier message de position (message de type AOC) a été émis le 31 mai à 22 h 39. Le 1^{er} juin à 2 h 10 min 34, la dernière position reçue était +02,98° (nord) de latitude et -030,59° (ouest) de longitude. La position transmise est la position FM de l'avion. En conditions normales, cette position est proche de la position GPS.

D'autres messages opérationnels ont été envoyés à l'avion, dont des données de chargement (devis de masse), des cartons de décollage ou des informations météorologiques.

1.16.2.3 Messages de maintenance

Vingt-six messages de maintenance relatifs au vol AF447 ont été reçus. Vingt-quatre d'entre eux l'ont été le 1^{er} juin entre 2 h 10 et 2 h 15.

Les deux premiers messages ont été reçus la veille vers 22 h 45. Il s'agit d'un message *fault* de classe 2 et d'un message *cockpit effect* « MAINTENANCE STATUS TOILET » associé. Le message *fault* « LAV CONFIGURATION » (ATA 383100, source *VSC, pas d'identifiant, HARD) traduit une inadéquation entre la configuration des toilettes de l'avion et celle renseignée dans l'un des systèmes associés.

1.16.2.4 Analyse des messages reçus le 1^{er} juin à partir de 2 h 10

Les messages reçus le 1^{er} juin à partir de 2 h 10 ont transité par un même satellite (Atlantic Ocean West, exploité par la société Inmarsat) et par le réseau ACARS de la SITA. Les vingt-quatre messages de maintenance bruts sont listés dans ce tableau :

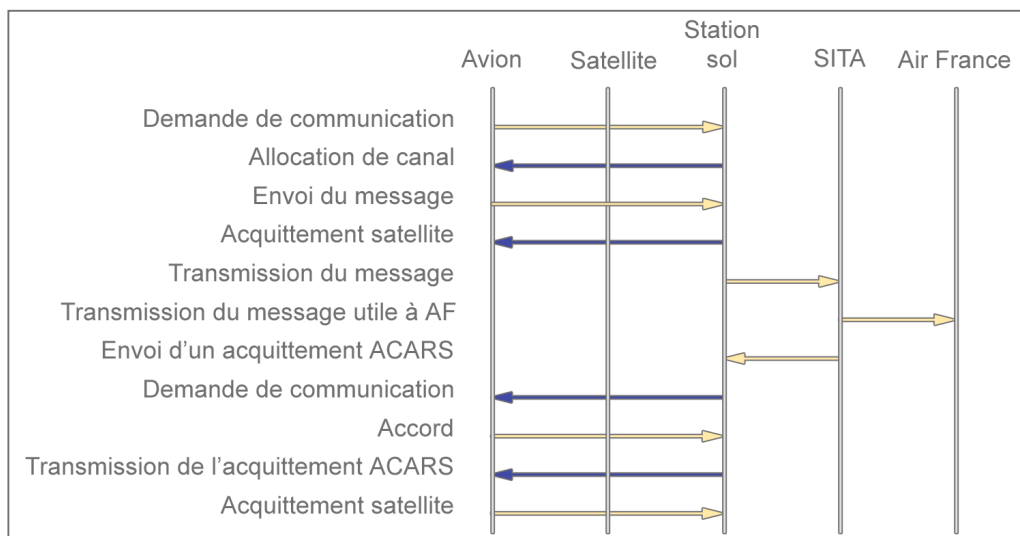
Heure de réception ⁽¹⁷⁾	Message
02:10:10	- .1/WRN/WN0906010210 221002006AUTO FLT AP OFF
02:10:16	- .1/WRN/WN0906010210 226201006AUTO FLT REAC W/S DET FAULT
02:10:23	- .1/WRN/WN0906010210 279100506F/CTL ALTN LAW
02:10:29	- .1/WRN/WN0906010210 228300206FLAG ON CAPT PFD SPD LIMIT
02:10:41	- .1/WRN/WN0906010210 228301206FLAG ON F/O PFD SPD LIMIT
02:10:47	- .1/WRN/WN0906010210 223002506AUTO FLT A/THR OFF
02:10:54	- .1/WRN/WN0906010210 344300506NAV TCAS FAULT
02:11:00	- .1/WRN/WN0906010210 228300106FLAG ON CAPT PFD FD
02:11:15	- .1/WRN/WN0906010210 228301106FLAG ON F/O PFD FD
02:11:21	- .1/WRN/WN0906010210 272302006F/CTL RUD TRV LIM FAULT
02:11:27	- .1/WRN/WN0906010210 279045506MAINTENANCE STATUS EFCS 2
02:11:42	- .1/WRN/WN0906010210 279045006MAINTENANCE STATUS EFCS 1
02:11:49	- .1/FLR/FR0906010210 34111506EFCS2 1,EFCS1,AFS,,,,,PROBE-PITOT 1X2 / 2X3 / 1X3 (9DA),HARD
02:11:55	- .1/FLR/FR0906010210 27933406EFCS1 X2,EFCS2X,,,,,FCPC2 (2CE2) / WRG:ADIRU1 BUS ADR1-2 TO FCPC2,HARD
02:12:10	- .1/WRN/WN0906010211 341200106FLAG ON CAPT PFD FPV
02:12:16	- .1/WRN/WN0906010211 341201106FLAG ON F/O PFD FPV
02:12:51	- .1/WRN/WN0906010212 341040006NAV ADR DISAGREE
02:13:08	- .1/FLR/FR0906010211 34220006ISIS 1,,,,,,ISIS(22FN-10FC) SPEED OR MACH FUNCTION,HARD
02:13:14	- .1/FLR/FR0906010211 34123406IR2 1,EFCS1X,IR1,IR3,,,,,ADIRU2 (1FP2),HARD
02:13:45	- .1/WRN/WN0906010213 279002506F/CTL PRIM 1 FAULT
02:13:51	- .1/WRN/WN0906010213 279004006F/CTL SEC 1 FAULT
02:14:14	- .1/WRN/WN0906010214 341036006MAINTENANCE STATUS ADR 2
02:14:20	- .1/FLR/FR0906010213 22833406AFS 1,,,,,,FMGEC1(1CA1),INTERMITTENT
02:14:26	- .1/WRN/WN0906010214 213100206ADVISORY CABIN VERTICAL SPEED

⁽¹⁷⁾L'heure de réception est l'heure du processeur du serveur du fournisseur de service.

Note : un message de report de position (de type AOC) a été reçu à 2 h 10 min 34, entre deux messages de maintenance. Cela s'explique par le fait que les messages AOC ont priorité sur les messages de maintenance.

Les messages sont espacés d'au moins cinq à six secondes, ce qui peut s'expliquer par le débit limité de la communication par satellite. Les écarts supérieurs peuvent avoir deux causes : soit l'avion n'a pas de message à émettre, soit il n'a plus les moyens de le faire (perte de performance de la communication par satellite, par exemple).

Lorsqu'un message est envoyé par l'avion, la séquence est la suivante :



La société exploitant le satellite utilisé par l'AF447 a fourni les traces des messages émis vers l'avion et vus par le satellite. Les informations analysées permettent de dire que :

- ☐ le dernier message a été émis vers l'avion à 2 h 14 min 28 et bien reçu,
- ☐ les vingt-cinq messages émis par l'avion ont été correctement reçus par la station au sol,
- ☐ l'écart observé entre le message de 2 h 13 min 14 et celui de 2 h 13 min 45 est dû, au moins en partie, à une interruption temporaire du lien de communication entre l'avion et le satellite,
- ☐ il n'y a pas eu de communication téléphonique par satellite au cours du vol.

Interprétation des messages

L'interprétation des messages relatifs à la maintenance est rendue délicate par les facteurs suivants :

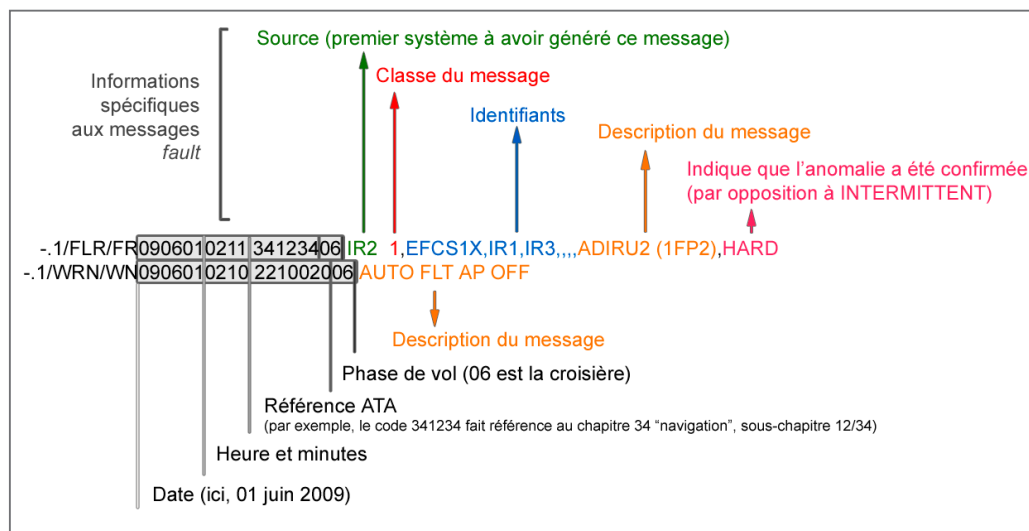
- ☐ un tel message n'est émis qu'une fois, à la première occurrence. Il ne peut indiquer que l'apparition d'une anomalie. Si l'anomalie disparaît, aucun message n'en fait état,
- ☐ certaines alarmes ayant trait à la configuration de l'avion telles que les alarmes de décrochage ou de survitesse ne sont pas enregistrées,
- ☐ la datation des messages par le CMC est précise à une minute près,

- ❑ l'ordre de transmission de ces messages ne correspond pas nécessairement à la succession des événements associés,
- ❑ le débit limité de la liaison par satellite ne permet pas d'exploiter directement l'heure de réception des messages, précise à la seconde près,
- ❑ dans le CFR, un message *fault* de classe 1 n'est pas nécessairement accompagné d'un message *cockpit effect*, et un message *cockpit effect* peut n'être la conséquence d'aucun message *fault*.

Les messages *fault* sont identifiés par les lettres FLR (failure) au début du message, et les messages *cockpit effect* par les lettres WRN (warning) :

fault : - .1/FLR/FR0906010211 34123406IR2 1,EFCS1X,IR1,IR3,,,,ADIRU2 (1FP2),HARD
cockpit effect : - .1/WRN/WN0906010210 221002006AUTO FLT AP OFF

Les informations contenues dans un message sont différentes selon le type de message. Certaines sont néanmoins communes :



Note : les messages *fault* générés par les EFCS sont toujours de type HARD.

Analyse des messages *cockpit effect*

Note : lorsque des messages de type *cockpit effect* sont associés à des procédures, celles-ci sont référencées en annexe 5.

Les messages *cockpit effect* sont décrits dans l'ordre dans lequel ils apparaissent au CFR. Pour chacun, pris isolément, sont donnés les symptômes théoriques au poste de pilotage : le message ECAM, les alertes visuelles et sonores, la page SD appelée et les alarmes locales qui lui correspondent.

AUTO FLT AP OFF (2 h 10)

Alarme ECAM	Alerte sonore	Alerte visuelle	Page SD	Alarme locale	Inhibé en phase 06
AUTO FLT AP OFF	Cavalry charge	Master warning	-	-	non

Signification : ce message indique une déconnexion du pilote automatique autrement que par l'utilisation du bouton prévu à cet effet sur les mini-manches (*instinctive disconnect*).

AUTO FLT REAC W/S DET FAULT (2 h 10)

Alarme ECAM	Alerte sonore	Alerte visuelle	Page SD	Alarme locale	Inhibé en phase 06
AUTO FLT REAC W/S DET FAULT	Single chime	Master caution	-	-	non

Signification : ce message indique l'indisponibilité de la fonction réactive de détection de cisaillement de vent.

F/CTL ALTN LAW (2 h 10)

Alarme ECAM	Alerte sonore	Alerte visuelle	Page SD	Alarme locale	Inhibé en phase 06
F/CTL ALTN LAW (PROT LOST)	Single chime	Master caution	-	-	non

Les chevrons verts matérialisant les protections en attitude sur le PFD sont remplacées par des croix ambres.

Signification : ce message indique le passage en loi *alternate*.

FLAG ON CAPT PFD SPD LIM et FLAG ON F/O PFD SPD LIM (2 h 10)

Symptômes : disparition de l'affichage des vitesses caractéristiques (notamment VLS et green dot) sur les PFD côtés commandant de bord et copilote, avec affichage du drapeau SPD LIM en bas des bandeaux de vitesse.

Signification : ce message indique l'indisponibilité de la fonction de calcul des vitesses caractéristiques par les FMGEC.

AUTO FLT A/THR OFF (2 h 10)

Alarme ECAM	Alerte sonore	Alerte visuelle	Page SD	Alarme locale	Inhibé en phase 06
AUTO FLT A/THR OFF	Single chime	Master caution	-	-	non

Signification : ce message indique une déconnexion de l'auto-poussée autrement que par l'utilisation du bouton prévu à cet effet sur les manettes de commande de poussée (*instinctive disconnect*) ou par un déplacement de celles-ci sur le cran ralenti (*idle*).

NAV TCAS FAULT (2 h 10)

Alarme ECAM	Alerte sonore	Alerte visuelle	Page SD	Alarme locale	Inhibé en phase 06
NAV TCAS FAULT	-	-	-	Drapeau sur PFD et ND	non

Signification : ce message indique que le TCAS est inopérant. A ce stade de l'enquête, ce message n'est pas complètement expliqué.

FLAG ON CAPT PFD FD et FLAG ON F/O PFD FD (2 h 10)

Symptômes : disparition du directeur de vol sur les PFD côtés commandant de bord et copilote et affichage du drapeau FD rouge.

Signification : ce message indique que la fonction directeur de vol est sélectionnée et indisponible.

F/CTL RUD TRV LIM FAULT (2 h 10)

Alarme ECAM	Alerte sonore	Alerte visuelle	Page SD	Alarme locale	Inhibé en phase 06
F/CTL RUD TRV LIM FAULT	Single chime	Master caution	F/CTL	-	non

Signification : ce message indique l'indisponibilité de la fonction de calcul de la limitation de débattement de la gouverne de direction. La valeur de la limitation reste figée à la valeur qu'elle avait au moment de la panne (jusqu'à la commande de sortie des becs).

MAINTENANCE STATUS EFCS2 et MAINTENANCE STATUS EFCS1 (2 h 10)

Ces messages ECAM ne sont pas portés à la connaissance de l'équipage en vol.

FLAG ON CAPT PFD FPV et FLAG ON F/O PFD FPV (2 h 11)

Symptômes : disparition du FPV (*bird*) sur les PFD côtés commandant de bord et copilote et affichage du drapeau FPV rouge.

Signification : ce message indique que la fonction FPV est sélectionnée et indisponible.

NAV ADR DISAGREE (2 h 12)

Alarme ECAM	Alerte sonore	Alerte visuelle	Page SD	Alarme locale	Inhibé en phase 06
NAV ADR DISAGREE	Single chime	Master caution	-	-	non

Signification : ce message indique que les EFCS ont rejeté une ADR, puis identifié une incohérence entre les deux ADR restantes sur l'un des paramètres surveillés.

F/CTL PRIM 1 FAULT (2 h 13)

Alarme ECAM	Alerte sonore	Alerte visuelle	Page SD	Alarme locale	Inhibé en phase 06
F/CTL PRIM 1 FAULT	Single chime	Master caution	F/CTL	Lumière "Fault" sur le bouton correspondant	non

Signification : ce message indique l'arrêt de fonctionnement du FCPC1 (PRIM 1). Cet arrêt pourrait être commandé ou faire suite à une panne.

F/CTL SEC 1 FAULT (2 h 13)

Alarme ECAM	Alerte sonore	Alerte visuelle	Page SD	Alarme locale	Inhibé en phase 06
F/CTL SEC 1 FAULT	Single chime	Master caution	F/CTL	Lumière "Fault" sur le bouton correspondant	non

Signification : ce message indique l'arrêt de fonctionnement du FCSC1 (SEC 1). Cet arrêt pourrait être commandé ou faire suite à une panne.

MAINTENANCE STATUS ADR2 (2 h 14)

Ce message ECAM n'est pas porté à la connaissance de l'équipage en vol.

ADVISORY CABIN VERTICAL SPEED (2 h 14)

Symptômes : clignotement de l'indicateur de vitesse verticale cabine sur la page PRESS du SD.

Signification : ce message indique une variation de l'altitude cabine supérieure en valeur absolue à 1 800 ft/min pendant cinq secondes.

Analyse des messages *fault*

Cinq messages *fault* ont été reçus par ACARS. Ils sont décrits dans l'ordre dans lequel ils apparaissent au CFR.

PROBE PITOT 1+2 / 2+3 / 1+3 (9DA) (02 h 10)

ATA : 341115

Source : EFCS2

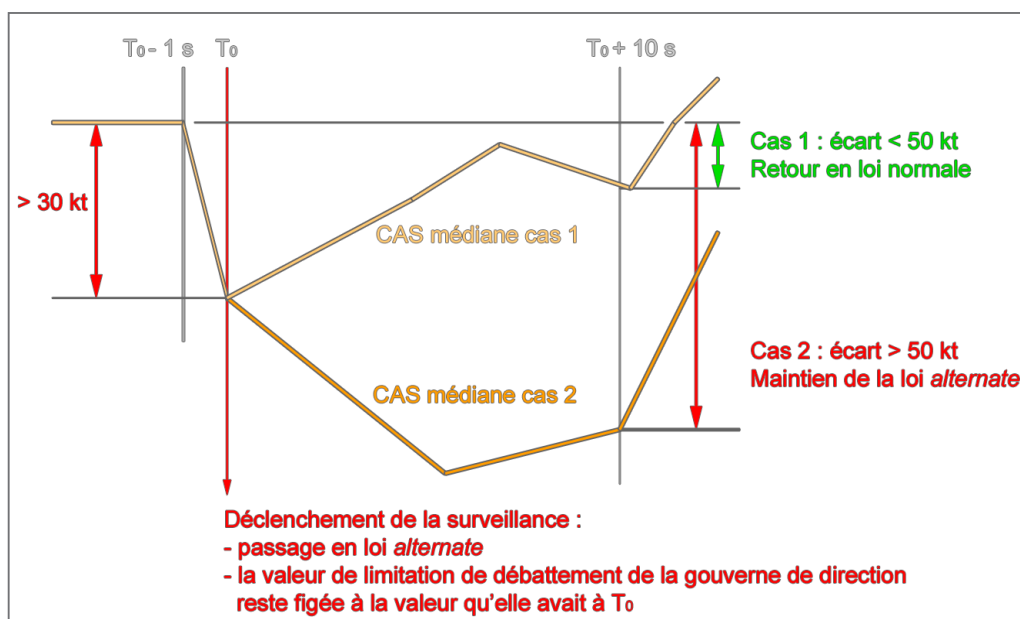
Identifiants : EFCS1, AFS

Classe 1, HARD

Ce message, émis par le EFCS2 (FCDC2), signifie que les FCPC (ou PRIM) ont déclenché l'une des surveillances effectuées sur les vitesses : ils ont détecté une diminution de plus de 30 kt en une seconde de la valeur de vitesse « votée ». Les trois ADR étaient considérées comme valides par l'EFCS2 au moment du déclenchement de la surveillance, car le rejet préalable d'une ADR aurait généré un message *fault* de classe 2 et l'on aurait donc un astérisque devant la source. Dans ce cas, la valeur « votée » est la valeur médiane.

Lors du déclenchement de cette surveillance, les FCPC ouvrent une fenêtre au cours de laquelle ils fonctionnent en loi alternate 2 (voir schéma ci-après). La fonction de limitation de débattement de la gouverne de direction est également figée, mais l'alarme associée est inhibée. A la fin de la fenêtre, si l'écart entre la valeur votée aux deux extrémités de cette fenêtre est de moins de 50 kt, les FCPC se remettent à fonctionner en loi normale. Autrement, ils poursuivent en loi alternate 2, la fonction de limitation de débattement de la gouverne reste indisponible et l'alarme correspondante est générée.

Note : la loi de commande alternate 2 est une loi en facteur de charge en tangage et loi directe en roulis. Seule la protection en facteur de charge reste disponible. Dans certains cas, les stabilités haute et basse vitesses peuvent également être disponibles.



La présence du message F/CTL RUD TRV LIM FAULT indique que la surveillance EFCS a été activée et que la loi altermate a été maintenue. La valeur de limitation du débattement de la gouverne de direction est alors restée celle qu'elle était avant le déclenchement de la surveillance.

Les identifiants sont :

- ❑ l'EFCS1 : le FCDC1 est un clone du FCDC2 et il est donc probable que le message émis par l'EFCS1 a été le même. Il n'est cependant pas possible de l'affirmer à ce stade de l'enquête car une vingtaine de messages peuvent être générés par les EFCS avec un code ATA commençant par 341.
- ❑ l'AFS : il n'effectue pas cette surveillance spécifique mais peut générer un message avec un code ATA commençant par 341 à la suite du déclenchement d'une autre surveillance qui ne pointe pas explicitement sur les vitesses, contrairement à celle des FCPC. Le fait que l'AFS soit un identifiant implique néanmoins que la surveillance déclenchée l'a été dans la même minute que celle de l'EFCS2.

Ce message en lui-même et les identifiants qui lui sont associés témoignent donc du déclenchement de surveillances distinctes, dont l'une est explicitement liée aux vitesses fournies par les ADR. Le déclenchement combiné de ces surveillances a pour effets :

- ❑ au niveau des EFCS :
 - passage en loi de commande altermate 2,
 - indisponibilité de la fonction de limitation de débattement de la gouverne de direction, qui apparaît le cas échéant dix secondes plus tard.
- ❑ au niveau de l'AFS :
 - indisponibilité du pilote automatique,
 - indisponibilité de l'auto-poussée,

- indisponibilité de la fonction directeur de vol,
- indisponibilité de la fonction de calcul des vitesses caractéristiques,
- indisponibilité de la fonction réactive de détection de cisaillement de vent.

FCPC2(2CE2)/WRG:ADIRU1 BUS ADR1-2 TO FCPC2 (2 h 10)

ATA : 279334

Source : *EFCS1

Identifiants : *EFCS2

Classe 2, HARD

Ce message indique que le FCPC 2 ne considère plus les informations qui lui parviennent de l'ADR 1 (via le bus 2) comme valides. Le code ATA débutant par 27 indique que l'anomalie n'a été détectée par aucun autre FCPC au cours des trois secondes qui ont suivi (sinon ce message aurait été classé en ATA 34). A ce stade de l'enquête, ce message n'est pas complètement expliqué.

ISIS (22FN-10FC) SPEED OR MACH FUNCTION (2 h 11)

ATA : 342200

Source : ISIS

Identifiants : -

Classe 1, HARD

Ce message, émis par l'ISIS, peut être consécutif à :

- ☐ une panne interne au niveau de la fonction d'élaboration de la CAS ou du Mach,
- ☐ des valeurs de la CAS ou du Mach qui se trouveraient en dehors de certaines limites.

Si la CAS se trouve en dehors de ces limites, le drapeau SPD est affiché sur le bandeau de vitesse de l'ISIS. Si le Mach dépasse la limite supérieure, le drapeau M est affiché à la place du Mach. S'il est inférieur à la limite basse, la valeur de Mach n'est plus affichée mais ce drapeau n'apparaît pas. L'affichage de ces drapeaux n'est pas capturé par le CMC dont était équipé l'avion.

ADIRU2 (1FP2) (2 h 11)

ATA : 341234

Source : IR2

Identifiants : *EFCS1, IR1, IR3

Classe 1, HARD

A ce stade de l'enquête, ce message n'est pas complètement expliqué. Il a été généré par l'IR 2, mais il est possible que la fenêtre de corrélation ait été ouverte par l'EFCS 1 à partir d'un message de classe 2.

FMGEC1 (1CA1) (2 h 13)

ATA : 228334

Source : AFS

Identifiants : -

Classe 1, INTERMITTENT

A ce stade de l'enquête, ce message n'est pas complètement expliqué. Le caractère INTERMITTENT signifie que l'anomalie a été détectée durant moins de 2,5 secondes.

1.16.2.5 Conclusion partielle

A ce stade de l'enquête, les messages exploités permettent de conclure au déclenchement de différentes surveillances. Au moins l'une d'elles correspond à une incohérence dans les mesures de vitesse. Plusieurs des messages *cockpit effects* enregistrés pourraient correspondre aux conséquences de ces surveillances :

- ☐ AUTO FLT AP OFF,
- ☐ AUTO FLT A/THR OFF,
- ☐ AUTO FLT REAC W/S DET FAULT,
- ☐ F/CTL RUD TRV LIM FAULT,
- ☐ F/CTL ALTN LAW,
- ☐ FLAG ON CAPT (F/O) PFD SPD LIMIT,
- ☐ FLAG ON CAPT (F/O) PFD FD.

Note: le CFR a été conçu pour faciliter les opérations d'entretien, il n'a pas vocation à être utilisé à des fins d'enquête.

1.17 Renseignements sur les organismes et la gestion

1.17.1 Préparation des vols au sein d'Air France

Deux entités participent à la préparation des vols :

- ☐ le service d'étude centrale des vols, chargé de l'élaboration du dossier de vol,
- ☐ l'escale de départ, chargée de remettre à l'équipage le dossier de vol éventuellement complété d'informations locales (fonction « départ des vols »).

Un dossier de vol exploitation est constitué de trois parties :

- ☐ une partie A qui contient notamment le ou les plans de vol exploitation et le plan de vol ATC, les informations aéronautiques (NOTAM),
- ☐ une partie B qui contient les cartes météorologiques réglementaires (TEMSEI, cartes de vent et température) ainsi que des cartes supplémentaires de CAT à différents niveaux de vol,
- ☐ une partie C qui contient « un chaînage » d'informations météorologiques comportant des TAF et METAR ainsi que des SIGMET.

1.17.1.1 Etude centrale des vols

Le service d'étude centrale des vols est organisé en trois entités localisées au sein du CCO, situé au siège d'Air France sur l'aérodrome de Paris Charles de Gaulle et comprenant :

- ☐ des techniciens chargés de la préparation de la partie A des dossiers de vol,
- ☐ des techniciens chargés de la gestion des créneaux et du suivi des plans de vol ATC,
- ☐ des « dispatchers » assurant le suivi des vols.