f-cp090601e

Rapport d'étape

Accident survenu le **1er juin 2009**
à l'**Airbus A330-203**
immatriculé **F-GZCP**
exploité par **Air France**
vol AF 447 Rio de Janeiro - Paris

BEA

Bureau d'Enquêtes et d'Analyses
pour la sécurité de l'aviation civile

Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer, en charge des technologies vertes et des négociations sur le climat

Avertissement

Ce document a été établi sur la base des premiers éléments rassemblés au cours de l'enquête, sans analyse ni même - en l'absence actuelle d'épave, d'enregistreurs de bord, de trace radar et de témoignages directs - de description des circonstances de l'accident. Certains des points traités peuvent encore évoluer. Rien dans la présentation de ce rapport d'étape ou dans les points qui y sont abordés ne peut être interprété comme une indication sur les orientations ou a fortiori les conclusions de l'enquête.

Conformément à l'Annexe 13 à la Convention relative à l'aviation civile internationale, à la Directive 94/56/CE et au Code de l'aviation civile, l'enquête technique n'est pas conduite de façon à établir des fautes ou à évaluer des responsabilités individuelles ou collectives. Son seul objectif est de tirer de cet événement des enseignements susceptibles de prévenir de futurs accidents ou incidents.

Table des matières

AVERTISSEMENT 1

GLOSSAIRE 5

SYNOPSIS 9

ORGANISATION DE L'ENQUETE 11

1 - RENSEIGNEMENTS DE BASE 13

1.1 Déroulement du vol 13

1.2 Tués et blessés 14

1.3 Dommages à l'aéronef 14

1.4 Autres dommages 14

1.5 Renseignements sur le personnel 14
- 1.5.1 Equipage de conduite 14
- 1.5.2 Equipage de cabine 17

1.6 Renseignements sur l'aéronef 19
- 1.6.1 Cellule 19
- 1.6.2 Moteurs 20
- 1.6.3 Masse et centrage 20
- 1.6.4 Etat de l'avion avant le départ 20
- 1.6.5 Suivi des opérations de maintenance 21
- 1.6.6 Informations sur la chaîne anémométrique 21
- 1.6.7 Vérification et maintenance des sondes Pitot 23
- 1.6.8 Système de communication ACARS 24
- 1.6.9 Système centralisé de maintenance 25
- 1.6.10 Le système de radiocommunications 28

1.7 Conditions météorologiques 28
- 1.7.1 Situation météorologique 28
- 1.7.2 Remarques sur l'information disponible 29

1.8 Aides à la navigation 33

1.9 Télécommunications 33
- 1.9.1 Echanges avec les centres de contrôle 34
- 1.9.2 Coordination entre les centres de contrôle 35

1.10 Renseignements sur l'aérodrome 37

1.11 Enregistreurs de bord 37

1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact 37
1.12.1 Localisation des corps et des éléments de l'avion 37
1.12.2 Identification des éléments récupérés 38
1.12.3 Examen visuel 38
1.12.4 Synthèse de l'examen visuel 40

1.13 Renseignements médicaux et pathologiques 40

1.14 Incendie 41

1.15 Questions relatives à la survie des occupants 41

1.16 Essais et recherches 45
1.16.1 Recherches des enregistreurs 45
1.16.2 Messages ACARS 48

1.17 Renseignements sur les organismes et la gestion 57
1.17.1 Préparation des vols au sein d'Air France 57
1.17.2 Cycles de travail et de repos des personnels navigants 61
1.17.3 Consignes d'utilisation du radar météorologique de bord 63
1.17.4 Lettres d'accord entre organismes de la circulation aérienne 64
1.17.5 Expérimentation de la mise en œuvre du système ADS-C à Dakar 66

1.18 Renseignements supplémentaires 67
1.18.1 Evénements associés à des indications erronées de vitesse air 67
1.18.2 Bref historique des sondes Pitot sur les Airbus A330 / A340 67
1.18.3 Témoignages d'équipages en vol à proximité de la zone de l'accident 68
1.18.4 Procédures en cas de détection d'une indication douteuse de vitesse 69

2 - PREMIERS FAITS ÉTABLIS 71

LISTE DES ANNEXES 73

Glossaire

AAIB	Air Accident Investigation Branch Organisme d'enquête du Royaume-Uni
ACARS	Aircraft Communications Addressing and Reporting System
ACP	Audio Control Panel
ADIRU	Air Data and Inertial Reference Unit
ADM	Air Data Module
ADR	Air Data Reference
ADS-C	Automatic Dependent Surveillance-Contract
AFS	Système de vol automatique
AIC	Circulaire d'Information Aéronautique
AMU	Audio Management Unit
AOC	Airline Operational Control
ASECNA	Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar
ATA	Air Transport Association of America
ATC	Air Traffic Control
ATPL	Licence de pilote de ligne
ATSU	Air Traffic Service Unit
BFU	Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung Organisme d'enquête d'Allemagne
BITE	Built-In Test Equipment
BS	Bulletin de service
C/C	Chef de cabine
CAS	Vitesse conventionnelle
CAT	Turbulences en air clair
CCO	Centre de Coordination des Opérations (Air France)
CCP	Chef de cabine principal
CCR	Centre de contrôle en route
CCS	Centre de coordination sauvetage
CDL	Configuration Deviation List
CECLANT	Commandement en chef de l'Atlantique
CEL	Contrôle en ligne
CENIPA	Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes aeronãuticos Organisme d'enquête du Brésil

CEPHISMER	Cellule de plongée humaine d'intervention sous la mer
CFR	Current Flight Report
CG	Centre de gravité
CMC	Central Maintenance Computer
CMS	Central Maintenance System
CNOA	Centre National des Opérations Aériennes
CPDLC	Controller-Pilot DataLink Communications
CPL	Licence de pilote professionnel
CRNA	Centre en Route de la Navigation Aérienne
CROSS	Centres Régionaux Opérationnels de Surveillance et de Sauvetage
CSS	Certificat de Sécurité Sauvetage
CCS	Centre de Coordination de Sauvetage
DGAC	Direction Générale de l'Aviation Civile
DMC	Display Management Computer
ECAM	Electronic Centralized Aircraft Monitoring
ECP	Entraînement et contrôle périodique
EFCS	Electronic Flight Control System
ETF	Escale technique facultative
ETOPS	Extended-range Twin-engine Operations
EWD	Engine Warning Display
FADEC	Système de gestion électronique des réacteurs
FCDC	Flight Control Data Concentrator
FCL	Flight Crew Licensing
FCMS	Système de gestion et de contrôle du carburant
FCOM	Flight Crew Operating Manual
FCPC	Calculateur primaire de commandes de vol
FCSC	Calculateur secondaire de commandes de vol
FCTM	Flight Crew Training Manual
FD	Directeur de vol
FIR	Région d'information de vol
FL	Niveau de vol
FM	Flight Management
FMGEC	Calculateur de gestion du vol, de guidage et d'enveloppe
FMS	Système de gestion du vol
FPV	Flight Path Vector

FWS	Système d'alerte de vol
GNSS	Système global de navigation par satellite
GPS	Global Positioning System
HF	Haute fréquence
IATA	Association Internationale du Transport Aérien
IFPS	Initial Flight plan Processing System
IFREMER	Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer
IR	Référence inertielle
IRME	Qualification de vol aux instruments multi-moteur
ISIS	Integrated Standby Instrument System
kHz	Kilohertz
kt	Nœud
MEL	Liste minimale d'équipement
METAR	Rapport d'observation météorologique
MHz	Megahertz
MRCC	Maritime Rescue Coordination Centre
MTOW	Masse maximale au décollage
ND	Ecran de navigation
NM	Mille marin
NOTAM	Message d'information aéronautique
NTSB	National Transportation Safety Board Organisme d'enquête des Etats-Unis
OACI	Organisation de l'Aviation Civile Internationale
OPL	Officier pilote de ligne
PF	Pilote en Fonction
PFD	Primary Flight Display
PFR	Post Flight Report
PNC	Personnel navigant de cabine
PNT	Personnel navigant de conduite
PPV	Préparation et prévision des vols
RCC	Centre de coordination sauvetage
RMP	Panneau de gestion radio
ROV	Robot sous-marin télécommandé
SAR	Recherche et sauvetage
SD	System Display
SELCAL	Selective Calling system

SHOM	Service Hydrographique et Océanographique de la Marine
SIGMET	Messages des phénomènes météorologiques en route spécifiés
TAF	Rapport de prévision météorologique
TCAS	Traffic alert and Collision Avoidance System
TEMSI	Carte de prévision du temps significatif
TPL	Hydrophone acoustique remorqué
TSV	Temps de service de vol
ULB	Balise de localisation subaquatique
USCG	US Coast Guards
UTC	Temps universel coordonné
VHF	Très haute fréquence
ZCIT	Zone de convergence intertropicale

Synopsis

Date de l'accident
Le 1er juin 2009 vers 2 h 15(1)

Lieu de l'accident
A proximité du point TASIL, dans les eaux internationales, océan Atlantique

Nature du vol
Transport public international de passagers
Vol régulier AF447

Aéronef
Airbus A330-203
Immatriculé F-GZCP

Propriétaire
Air France

Exploitant
Air France

Personnes à bord
PNT : 3
PNC : 9
Passagers : 216

(1)Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en temps universel coordonné. Il convient d'y ajouter deux heures pour obtenir l'heure en France métropolitaine le jour de l'événement. L'heure estimée de l'événement est basée sur l'interruption des messages ACARS.

Résumé

Le 31 mai 2009, le vol AF447 décolle de l'aéroport de Rio de Janeiro Galeão à destination de Paris Charles de Gaulle. L'avion est en contact avec le centre de contrôle brésilien d'ATLANTICO sur la route INTOL – SALPU – ORARO au FL350. Il n'y a plus de communications avec l'équipage après le passage du point INTOL. A 2 h 10, un message de position et des messages de maintenance sont émis par le système automatique ACARS. Des corps et des éléments de l'avion seront retrouvés à partir du 6 juin 2009 par les marines nationales française et brésilienne.

Conséquences

	Blessures			Matériel
	Mortelles	Graves	Légères/Aucune	
Membres d'équipage	12	-	-	détruit
Passagers	216	-	-	
Autres personnes	-	-	-	

ORGANISATION DE L'ENQUETE

Le lundi 1er juin 2009 vers 7 h 45, le Centre de coordination des opérations d'Air France, sans nouvelles du vol AF447 entre Rio de Janeiro Galeão (Brésil) et Paris Charles de Gaulle, a alerté le BEA. La disparition de l'avion dans les eaux internationales étant confirmée et conformément à l'Annexe 13 à la Convention relative à l'Aviation Civile Internationale et au Code de l'Aviation Civile (Livre VII), le BEA a ouvert une enquête technique et une équipe a été constituée pour la conduire.

En application des dispositions de l'Annexe 13, des représentants accrédités brésilien, américain, britannique et allemand ont été associés à l'enquête au titre du pays constructeur des moteurs (NTSB) ou parce qu'ils apportaient des informations essentielles pour l'enquête (CENIPA, AAIB et BFU). Les pays suivants ont désigné des observateurs, certains de leurs ressortissants étant au nombre des disparus :

- Afrique du Sud
- Chine,
- Corée,
- Croatie,
- Hongrie,
- Irlande,
- Italie,
- Liban,
- Maroc,
- Norvège,
- Russie,
- Suisse.

L'enquêteur désigné a constitué dans un premier temps quatre groupes de travail pour déterminer et recueillir les renseignements nécessaires à l'enquête dans les domaines suivants :

- Recherches en mer,
- Maintenance,
- Opérations,
- Systèmes et équipements.

Des équipes d'enquête ont également été envoyées au Brésil, au Sénégal et en mer, dans la zone de disparition de l'avion.

Les opérations qui ont été effectuées sur le site ou sur les éléments de l'avion l'ont été en coordination avec les responsables de l'enquête judiciaire.

1 - RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1 Déroulement du vol

Le dimanche 31 mai 2009, l'Airbus A330-203 immatriculé F-GZCP exploité par la compagnie Air France est programmé pour effectuer le vol régulier AF447 entre Rio de Janeiro Galeão (Brésil) et Paris Charles de Gaulle. Douze membres d'équipage (3 PNT, 9 PNC) et 216 passagers sont à bord. Le départ est prévu à 22 h 00.

Vers 22 h 10, l'équipage est autorisé à mettre en route les moteurs et à quitter son poste de stationnement. Le décollage a lieu à 22 h 29.

La masse au décollage est de 232,8 t (pour une MTOW de 233 t), dont 70,4 t de carburant.

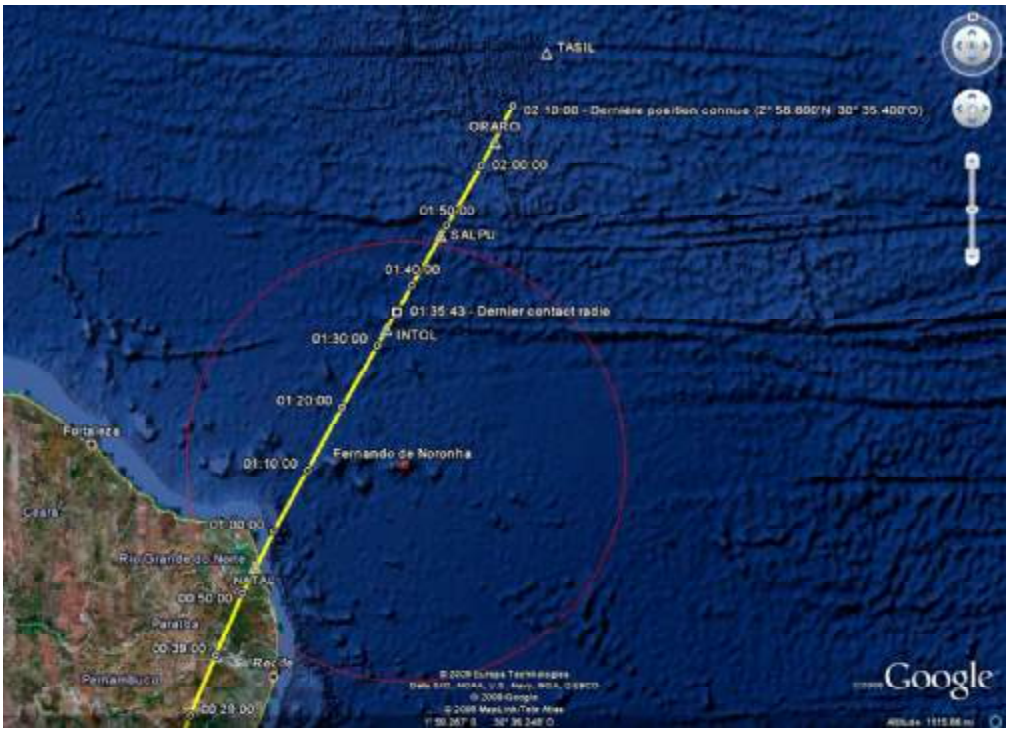
L'équipage contacte successivement :

- le contrôle d'approche de Rio de Janeiro,
- le contrôle de CURITIBA qui l'autorise à monter au FL350 à 22 h 45 min 26,
- le contrôle de Brasilia à 22 h 55 min 41,
- le contrôle de Récife à 23 h 19 min 27, l'avion est stable au FL350,
- le contrôle d'ATLANTICO en HF à 1 h 33 min 25.

A 1 h 35 min 15, l'équipage informe le contrôleur d'ATLANTICO qu'il a passé le point INTOL[2] puis il annonce les estimées suivantes : SALPU à 1 h 48 et ORARO à 2 h 00. Il transmet également son code SELCAL et un essai est effectué.

A 1 h 35 min 46, le contrôleur lui demande de maintenir le FL350 et de lui donner son estimée du point TASIL.

Entre 1 h 35 min 53 et 1 h 36 min 14, le contrôleur redemande par trois fois. l'estimée TASIL. Il n'y aura plus aucun contact avec l'équipage.



[2]INTOL, SALPU, ORARO et TASIL sont des points de report utilisés par l'aviation civile.

1.2 Tués et blessés

Blessés	Membres d'équipage	Passagers	Autres personnes
Mortels	12	216[3]	0
Graves	0	0	0
Légères/Aucune	0	0	0

[3]Dont un bébé.

1.3 Dommages à l'aéronef

Entre le 6 et le 20 juin 2009, de nombreux éléments de l'avion sont retrouvés en mer.

1.4 Autres dommages

Sans objet.

1.5 Renseignements sur le personnel

Compte tenu de la durée de vol prévue et conformément au manuel d'exploitation d'Air France et à la réglementation en vigueur, l'équipage de conduite était renforcé.

La réglementation définit l'équipage renforcé comme suit :

« Un équipage de conduite dont le nombre de membres est supérieur au nombre minimal requis pour l'exploitation de l'avion et au sein duquel chaque membre de l'équipage de conduite peut quitter son poste et être remplacé par un autre membre de l'équipage de conduite ayant la qualification appropriée »[4].

Les procédures de la compagnie aérienne[5] précisent que pour renforcer la fonction de pilotage, un membre d'équipage doit posséder la même qualification que le membre d'équipage qu'il vient renforcer et, qu'en outre, durant la période de repos du commandant de bord, un pilote possédant la même licence que lui doit être aux commandes.

En l'état actuel des données rassemblées, il n'est pas possible de déterminer quelle était la composition de l'équipage de conduite en fonction au moment de l'événement.

Note: l'équipage était parti de Paris le jeudi 28 mai 2009 au matin et arrivé à Rio de Janeiro le même jour dans la soirée.

[4]Réglement N° 859/2008 de la Commission Européenne du 20 août 2008, dit EU-OPS paragraphe 1.1095.

[5]GEN.OPS 01.07.02.00.

1.5.1 Equipage de conduite

1.5.1.1 Commandant de bord

Homme, 58 ans

- Licence ATPL obtenue le 8 mars 1990, limitée MTOW 20 000 kg
- Licence ATPL sans limitation obtenue le 19 février 1992
- Commandant de bord depuis le 19 juin 1998

- Qualification d'instructeur pilote professionnel 1ère classe (IPP1) obtenue le 31 mars 1993
- Qualification de type Airbus A330 obtenue le 27 octobre 2006
- Fin d'adaptation en ligne le 17 février 2007
- Qualification de type Airbus A340 obtenue le 9 août 2007
- Fin d'adaptation en ligne le 7 septembre 2007
- Dernière visite d'aptitude médicale de classe 1 effectuée le 10 octobre 2008, valable jusqu'au 31 octobre 2009
- Autres qualifications de type : Caravelle XII, Airbus A320 et Boeing 737
- Expérience :
  - totale : 10 988 heures de vol, dont 6 258 en qualité de commandant de bord
  - sur type : 1 747 heures de vol[6], toutes en qualité de commandant de bord
  - dans les six derniers mois : 346 heures, 18 atterrissages, 15 décollages
  - dans les trois derniers mois : 168 heures, 8 atterrissages, 6 décollages
  - dans les trente derniers jours : 57 heures, 3 atterrissages, 2 décollages

[6]Dont 1 093 heures sur Airbus A330 et 654 sur Airbus A340.

Le commandant de bord avait réalisé seize rotations sur le secteur Amérique du Sud depuis son arrivée dans la division A330/A340 en 2007. Sa reconnaissance de ligne de type océanique était valide jusqu'au 31 mai 2010.

ECP saisons d'instruction 2008/2009 et 2009/2010 :

- Entraînement A340 (E34) le 11 octobre 2008
- Contrôle Hors Ligne A330 (C33) le 12 octobre 2008
- Entraînement A330 (E33) le 22 avril 2009
- Contrôle Hors Ligne A340 (C34) le 23 avril 2009
- Contrôle en Ligne A340 (CEL34) le 21 juillet 2008
- Contrôle en Ligne A340 (CEL34) le 7 septembre 2007
- Contrôle en Ligne A330 (CEL33) le 15 février 2007
- Cours au sol S1 le 12 janvier 2009
- Cours au sol 4S le 7 août 2008

Note : une saison d'instruction va du 1er avril au 31 mars de l'année suivante.

1.5.1.2 Copilote

Homme, 37 ans

- Licence ATPL obtenue le 13 avril 2001
- Qualification de type Airbus A340 obtenue le 14 février 2002
- Fin d'adaptation en ligne le 13 avril 2002
- Qualification de type Airbus A330 obtenue le 1er octobre 2002
- Fin d'adaptation en ligne le 25 octobre 2002
- Autre qualification de type : Airbus A320 obtenue en février 1999

- Dernière visite d'aptitude médicale de classe 1 effectuée le 11 décembre 2008, valable jusqu'au 31 décembre 2009 avec port de verres correcteurs obligatoire
- Heures de vol :
  - totale : 6 547 heures de vol
  - sur type : 4 479 heures de vol[7]
  - dans les six derniers mois : 204 heures, 9 atterrissages, 11 décollages
  - dans les trois derniers mois : 99 heures, 6 atterrissages, 5 décollages
  - dans les trente derniers jours : 39 heures, 2 atterrissages, 2 décollages

[7]Dont 2 597 heures sur Airbus A340 et 1 882 heures sur Airbus A330.

Les licences de ce pilote lui permettaient d'assurer la fonction de pilote suppléant du commandant de bord en tant que pilote de renfort.

Il exerçait également en tant que cadre PNT au CCO de l'exploitant.

Activité du mois de mai au CCO :

- le 12 mai de 6 h 00 à 16 h 00,
- du 13 mai 16 h 00 au 14 mai 6 h 00,
- le 17 mai de 6 h 00 à 16 h 00,
- du 18 mai 16 h 00 au 19 mai 6 h 00,
- du 20 mai 8 h 00 au 22 mai 17 h 00[8].

[8]Pendant cette dernière période, il n'était pas présent au CCO mais soumis à une astreinte téléphonique.

Ce pilote avait réalisé trente-neuf rotations sur le secteur Amérique du Sud depuis son arrivée dans la division A330/A340 en 2002. Sa reconnaissance de ligne de type océanique était valide jusqu'au 28 février 2010.

ECP saisons d'instruction 2008/2009 et 2009/2010 :

- Entraînement E34 le 22 juillet 2008
- Contrôle Hors Ligne C33 le 23 juillet 2008
- Entraînement E33 le 6 décembre 2008
- Contrôle Hors Ligne C34 le 21 décembre 2008
- Contrôle en Ligne CEL34 le 30 octobre 2007
- Contrôle en Ligne CEL33 le 26 octobre 2008
- Cours au sol S1 le 18 mars 2009
- Cours au sol 4S le 10 décembre 2008

1.5.1.3 Copilote

Homme, 32 ans

- Licence FCL de pilote professionnel (CPL) obtenue le 23 avril 2001
- Qualification de vol aux instruments multi-moteur (IR ME) obtenue le 16 octobre 2001
- ATPL théorique obtenu en septembre 2000
- Qualification de type Airbus A340 obtenue le 26 février 2008
- Fin d'adaptation en ligne le 9 juin 2008
- Qualification de type Airbus A330 obtenue le 1er décembre 2008
- Fin d'adaptation en ligne le 22 décembre 2008

- Autre qualification de type : Airbus A320 obtenue le 7 septembre 2004
- Dernière visite d'aptitude médicale de classe 1 effectuée le 24 octobre 2008, valable jusqu'au 31 octobre 2009 avec port de verres correcteurs obligatoire.
- Heures de vol :
  - totale : 2 936 heures de vol
  - sur type : 807 heures de vol[9]
  - dans les six derniers mois : 368 heures, 16 atterrissages, 18 décollages
  - dans les trois derniers mois : 191 heures, 7 atterrissages, 8 décollages
  - dans les trente derniers jours : 61 heures, 1 atterrissage, 2 décollages

[9]Il totalise 591 heures sur Airbus A340 et 216 heures sur Airbus A330.

Ce pilote avait réalisé cinq rotations sur le secteur Amérique du Sud depuis son arrivée dans la division A330/A340 en 2008, dont une vers Rio de Janeiro. Sa reconnaissance de ligne de type océanique était valide jusqu'au 31 mai 2010.

ECP saison d'instruction 2008/2009 :

- Entraînement E33 le 2 février 2009
- Contrôle Hors Ligne C34 le 3 février 2009
- Cours au sol 4S le 15 janvier 2009

La validité des entraînements, contrôles et cours au sol E34, C33, CEL34, CEL33, S1 est couverte par les dates d'obtention des qualifications de types Airbus A330 et A340 ainsi que par la date de fin d'adaptation en ligne (lâcher).

Ces entraînements et contrôles étaient à programmer avant les échéances suivantes :

- Entraînement E34 : 31 août 2009
- Contrôle Hors Ligne C33 : 31 août 2009
- Contrôle En Ligne CEL34 : 31 décembre 2009
- Contrôle En Ligne CEL 33 : 31 décembre 2010
- Cours au sol S1 : 31 mars 2010

1.5.2 Equipage de cabine

Pour cet avion, la composition minimale de l'équipage de cabine prévue par le Manuel d'exploitation[10] est de cinq personnes.

[10]Manuel Sécurité-sauvetage (MSS), partie Avions A330/A340, Généralités avion - Données générales - 01.20.30 p.01.

Sur le vol AF447, neuf membres d'équipage exerçaient en cabine :

- un CCP, qualifié et compétent sur le type avion Airbus A330/A340,
- deux C/C, qualifiés et compétents sur le type avion Airbus A330/A340,
- trois membres d'équipage de cabine, qualifiés et compétents sur type avion Airbus A330/A340 (PNC requis par la réglementation),
- deux membres d'équipage de cabine supplémentaires, non compétents sur le type avion Airbus A330/A340 (PNC en supplément de l'équipage minimal requis par la réglementation),
- un PCB (Personnel des services complémentaires de bord).

1.5.2.1 Chef de Cabine Principal

Femme, 49 ans

- CSS du 19 juillet 1985
- Stage d'adaptation Airbus A330/A340 du 1er août 1995
- Stage de maintien des compétences Généralités du 22 octobre 2008
- Stage de maintien des compétences Airbus A330/A340 du 27 novembre 2008
- Visite d'aptitude physique et mentale du 11 juin 2008
- Expérience : 8 649 heures de vol, dont 2073 sur A330/A340

1.5.2.2 Chef de Cabine

Femme, 54 ans

- CSS du 10 juillet 1981
- Stage d'adaptation Airbus A330/A340 du 06 juin 1997
- Stage de maintien des compétences Généralités du 16 octobre 2008
- Stage de maintien des compétences Airbus A330/A340 du 4 novembre 2008
- Visite d'aptitude physique et mentale du 17 février 2009
- Expérience : 6 704 heures de vol, dont 2 353 sur Airbus A330/A340

1.5.2.3 Chef de Cabine

Femme, 45 ans

- CSS du 18 septembre 1989
- Stage adaptation Airbus A330/A340 du 18 décembre 2003
- Stage de maintien des compétences Généralités du 11 mars 2009
- Stage de maintien des compétences Airbus A330/A340 du 13 mars 2009
- Visite d'aptitude physique et mentale du 17 février 2009
- Expérience : 8 688 heures de vol, dont 1 241 sur Airbus A330/A340

1.5.2.4 Hôtesses et Stewards

Femme, 44 ans

- CSS du 16 septembre 1991
- Stage de maintien des compétences Généralités du 19 janvier 2009
- Visite d'aptitude physique et mentale du 17 décembre 2007
- Expérience : 2 142 heures de vol, dont 510 sur Airbus A330/A340

Remarque : non qualifiée sur Airbus A330/A340.

Femme, 38 ans

- CSS du 20 août 1996
- Stage d'adaptation Airbus A330/A340 du 28 mars 2003
- Stage de maintien des compétences Généralités du 6 août 2008
- Stage de maintien des compétences Airbus A330/A340 du 30 septembre 2008
- Visite d'aptitude physique et mentale du 1er août 2008
- Expérience : 6 236 heures de vol, dont 1 160 sur Airbus A330/A340

Homme, 33 ans

- CSS du 9 mars 1998
- Stage d'adaptation Airbus A330/A340 du 21 juin 1999
- Stage de maintien des compétences Généralités du 16 octobre 2008
- Stage de maintien des compétences Airbus A330/A340 du 30 mars 2009
- Visite d'aptitude physique et mentale du 25 juin 2007
- Expérience : 8 098 heures de vol, dont 2 091 sur Airbus A330/A340

Femme, 31 ans

- CSS du 5 juin 2001
- Stage adaptation Airbus A330/A340 du 5 mars 2001
- Stage de maintien des compétences Généralités du 2 octobre 2008
- Stage de maintien des compétences Airbus A330/A340 du 16 décembre 2008
- Visite d'aptitude physique et mentale du 2 mai 2008
- Expérience : 5 154 heures de vol, dont 1 047 sur Airbus A330/A340

Femme, 31 ans

- CSS du 21 juillet 2004
- Stage de maintien des compétences Généralités du 21 août 2008
- Visite d'aptitude physique et mentale du 5 novembre 2007
- Expérience : 3 137 heures de vol, dont 662 sur Airbus A330/A340

Remarque : non qualifiée sur Airbus A330/A340.

Homme, 23 ans

- Stage de formation initiale de PCB du 22 octobre 2007
- Stage de maintien des compétences de PCB du 26 août 2008
- Visite d'aptitude physique et mentale du 14 juin 2007
- Expérience : 873 heures de vol, dont 222 sur Airbus A330/A340

Remarque : non titulaire du CSS.

1.6 Renseignements sur l'aéronef

Air France était propriétaire de l'avion depuis avril 2005. Il avait été livré neuf.

1.6.1 Cellule

Constructeur	Airbus
Type	A330-203
Numéro de série	0660
Immatriculation	F-GZCP
Mise en service	Avril 2005
Certificat de navigabilité	N° 122424/1 du 18 avril 2005 délivré par la DGAC
Certificat d'examen de navigabilité	2009/122424/1 valable jusqu'au 17/04/2010
Utilisation au 31 mai 2009	18 870 heures de vol et 2 644 cycles

1.6.2 Moteurs

Constructeur : General Electric
Type : CF6-80-E1A3

	Moteur n° 1	Moteur n° 2
Numéro de série	811296	811297
Date d'installation	01/10/2004	01/10/2004
Temps total de fonctionnement	18 870 heures et 2 644 cycles	18 870 heures et 2 644 cycles

Les moteurs faisaient l'objet d'un suivi en temps réel dans le cadre du programme de suivi de l'état des moteurs (engine condition monitoring program). L'examen des données enregistrées, y compris de celles transmises le jour de l'accident, montre un fonctionnement normal des deux moteurs.

1.6.3 Masse et centrage

L'avion a quitté le poste de stationnement à la masse calculée de 233 257 kg. La masse estimée au décollage était de 232 757 kg[11] pour une masse maximale autorisée au décollage de 233 t. Cette masse au décollage se répartissait comme suit :

- une masse à vide en ordre d'exploitation de 126 010 kg,
- une masse des passagers de 17 615 kg (126 hommes, 82 femmes, 7 enfants et un bébé[12]),
- une masse en soute (fret et bagages) de 18 732 kg,
- une masse de carburant de 70 400 kg.

La masse de carburant embarquée correspondait à une prévision de délestage de 63 900 kg, une réserve de route de 1 460 kg, une réserve finale de 2 200 kg, une réserve de dégagement de 1 900 kg et 940 kg de carburant supplémentaire. Un LMC (changement de dernière minute) a corrigé l'état de charge définitif pour tenir compte d'un passager en moins sans bagage.

Le centrage correspondant à la masse au décollage de l'avion et indiqué sur l'état de charge définitif (après LMC) était de 23,3 % de la MAC (corde aérodynamique moyenne), pour une limite avant de 22,7 % et une limite arrière de 36,2 % au décollage.

A partir du plan de vol exploitation, il est possible d'estimer un délestage de 27,8 t après un temps de vol de 3 h 41 min[13], l'avion étant alors à la masse de 205 t et à un centrage compris entre 37,3 % et 37,8 %[14], à l'intérieur des limites de l'enveloppe opérationnelle (Manuel d'exploitation TU page 12.28.10.09).

1.6.4 Etat de l'avion avant le départ

A l'arrivée du vol Paris-Rio de Janeiro, le commandant de bord avait signalé un problème au niveau de la clé de sélection de la VHF1 sur le RMP1. L'avion est équipé de trois RMP, le RMP1 côté gauche, le RMP2 côté droit et le RMP3 sur le panneau supérieur. Le mécanicien au sol avait alors permuté le RMP1 et le

[11] Une quantité de 500 kg de carburant avait été prise en compte pour le roulage entre le point de stationnement et le lâcher des freins au décollage.

[12] Air France considère une masse forfaitaire de 91 kg pour un homme, 72 kg pour une femme et 35 kg pour un enfant, ce qui est compatible avec la réglementation européenne.

[13] Ce qui correspond au milieu du segment ORARO – TASIL.

[14] Ce type d'avion est équipé d'un système de gestion du carburant (FCMS) commandant le transfert de carburant de et vers le « trim tank ». En déplaçant le centre de gravité de l'avion, ce transfert qui débute en montée permet de réduire la traînée, et donc la consommation en carburant. La cible de centre de gravité est contrôlée à 0,5 % près de MAC.

RMP3 afin de permettre à l'avion de repartir (départ sous MEL). Cet item MEL n'impliquait aucune conséquence opérationnelle.

1.6.5 Suivi des opérations de maintenance

Des visites journalières et hebdomadaires sont effectuées. Elles permettent d'assurer des tâches de maintenance préventive et de corriger les problèmes rapportés après le vol par les équipages.

Les visites de type A sur l'Airbus A330 sont effectuées toutes les 800 heures de vol, ce qui représente à Air France une visite tous les deux mois environ. Cette visite consiste à :

- vérifier les systèmes par des tests opérationnels,
- effectuer des opérations de graissage et de lubrification,
- effectuer les différents contrôles de niveaux d'huile et de fluides hydrauliques,
- contrôler visuellement les éléments de structure, sans dépose.

Les trois dernières visites de ce type avaient été effectuées les 27 décembre 2008, 21 février 2009 et 16 avril 2009 sur le F-GZCP.

Ces visites avaient été effectuées conformément au programme d'entretien de l'exploitant, élaboré à partir des recommandations du constructeur et approuvé par les autorités nationales qui en assurent par ailleurs la surveillance.

L'examen des documents de maintenance, du programme d'entretien et du dossier de navigabilité de l'avion n'a pas fait apparaître d'anomalie.

1.6.6 Informations sur la chaîne anémométrique

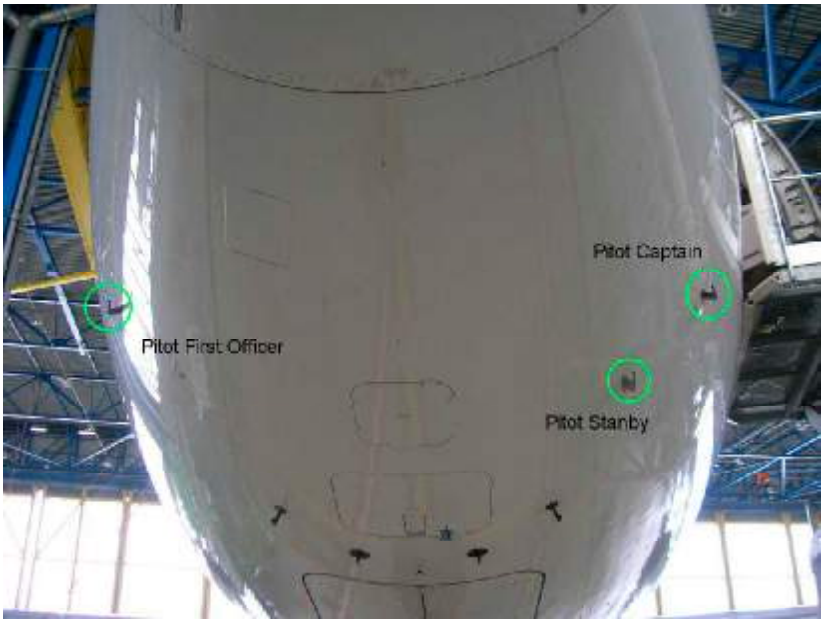
1.6.6.1 Elaboration de l'information de vitesse

La vitesse est déduite de la mesure de deux pressions :

- la pression totale (Pt), par l'intermédiaire d'un instrument appelé sonde Pitot,
- la pression statique (Ps), par l'intermédiaire d'une prise de pression statique.

Sondes

Les Airbus A330 possèdent trois sondes Pitot (voir ci-après) et six prises de pression statique. Ces sondes sont équipées de drains permettant l'évacuation d'eau et d'un système électrique de réchauffage destiné à éviter leur givrage.



Position des sondes Pitot sur l'Airbus A330

Sonde Pitot (avec caches)

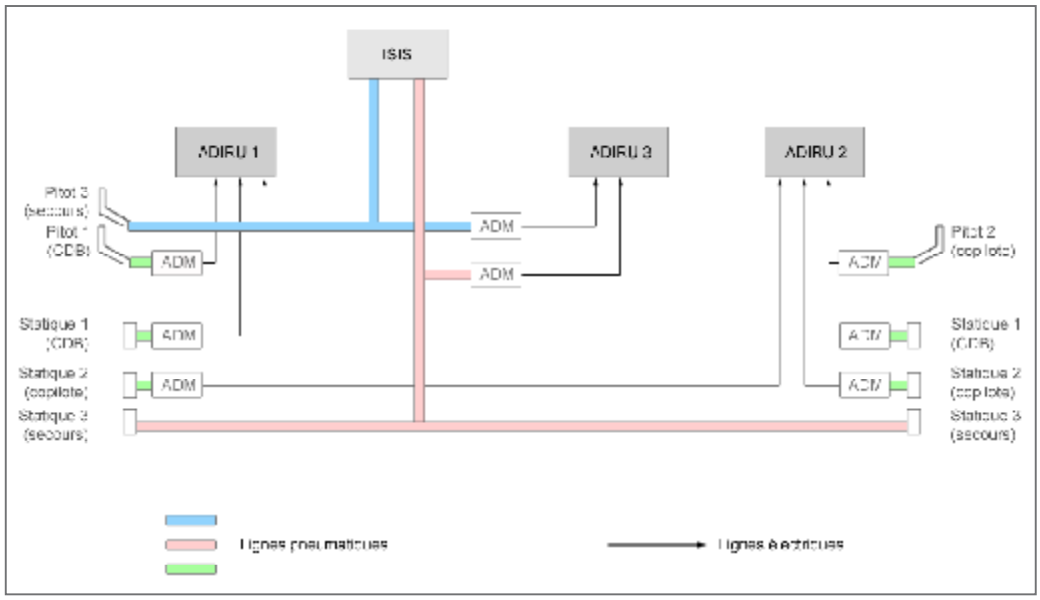
Les mesures pneumatiques sont converties en signaux électriques par huit ADM et fournies aux calculateurs sous cette forme.

Calcul de la vitesse par l'ADR

La CAS et le nombre de Mach sont les principales informations de vitesse utilisées par les pilotes et les systèmes pour piloter l'avion. L'élaboration de ces paramètres est effectuée dans trois calculateurs appelés ADIRU, chacun composé :

- d'un module ADR qui calcule les paramètres aérodynamiques, notamment la CAS et le Mach,
- d'un module IR qui fournit les paramètres issus des centrales à inertie tels que la vitesse sol ou les attitudes.

Les ADR utilisent les valeurs des pressions mesurées pour calculer la CAS et le Mach. Le schéma suivant décrit de manière simplifiée l'architecture globale de la chaîne anémométrique :



Il y a donc trois chaînes d'élaboration de l'information de vitesse qui fonctionnent indépendamment. Les sondes dites « commandant de bord » alimentent l'ADR 1, les sondes dites « copilote », l'ADR 2 et les sondes dites « de secours », l'ADR 3.

Seuls les instruments de secours comme l'ISIS élaborent leurs informations de vitesse et d'altitude directement à partir des entrées pneumatiques (les sondes « de secours ») sans qu'elles soient traitées par un ADM ou une ADR.

1.6.6.2 Systèmes utilisant les informations de vitesse

Les vitesses calculées par les ADR sont notamment utilisées par les systèmes suivants :

- le système de commandes de vol électronique,
- le système de gestion des moteurs,
- le système de gestion du vol et de guidage,
- l'avertisseur de proximité du sol,
- le transpondeur,
- le système de contrôle des becs et volets.

1.6.7 Vérification et maintenance des sondes Pitot

Les vérifications et actions de maintenance des sondes Pitot sont décrites dans le manuel de maintenance de l'exploitant.

Les sondes Pitot font l'objet d'une inspection visuelle quotidienne par un mécanicien qui en vérifie l'état général. L'équipage effectue le même type de vérification avant chaque vol.

Lors des visites de type C, les opérations effectuées sur les sondes Pitot sont les suivantes :

- nettoyage à l'aide d'air comprimé de l'ensemble de la sonde (opération de « soufflage »),
- nettoyage des drains avec un outil spécifique,

- essai et vérification de réchauffage de la sonde par le système d'alimentation électrique de secours,
- vérification de l'étanchéité des circuits.

En cas d'incohérences de vitesses rapportées par les équipages, les actions correctives prévues par le constructeur sont les mêmes que celles des visites de type C.

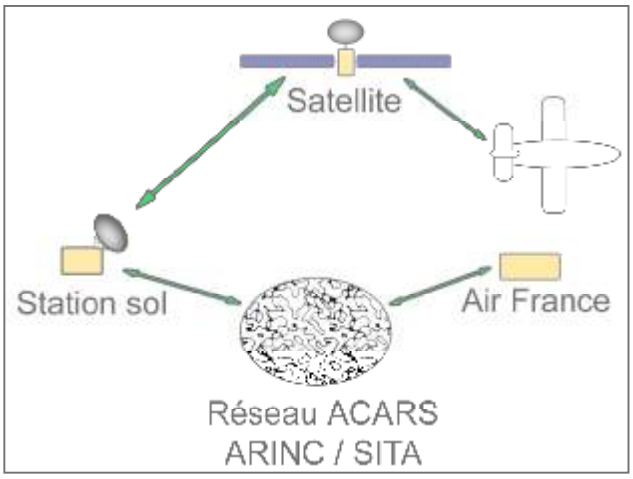
1.6.8 Système de communication ACARS

Le système ACARS, intégré dans l'ATSU sur les Airbus A330 d'Air France, permet la transmission de messages non vocaux entre un avion et le sol par communication VHF ou satellite. Il peut notamment être utilisé par les exploitants pour transmettre en temps réel des informations (données météorologiques, informations sur l'avancement du vol, etc.).

Trois grandes catégories de messages peuvent être transmis :

- les messages (ATC) de communication non vocale avec un centre de contrôle (CPDLC notamment),
- les messages opérationnels (AOC) de communication avec le centre opérationnel de l'exploitant,
- les messages de maintenance, exclusivement de l'avion vers le centre de maintenance.

Les messages ACARS sont transmis prioritairement par VHF et, si ce moyen est indisponible, par satellite. Ils transitent ensuite par un fournisseur de service ACARS (ARINC ou SITA) avant d'arriver à l'exploitant.



Au message utile sont ajoutées des informations relatives au réseau (traitement par la station sol et/ou le serveur du fournisseur de service) et des informations relatives au satellite (type de message, canal utilisé, etc.).

Les messages ATC et opérationnels sont générés par l'ATSU. Les messages de maintenance sont générés par le CMC et transférés à l'ATSU avant d'être transmis. De ces trois types de messages, les messages ATC sont ceux de plus haute priorité.

Note : l'exploitant peut configurer une partie de l'ATSU (notamment la partie AOC) de manière à filtrer les messages de maintenance émis ou à envoyer des informations particulières sur le vol.

Le F-GZCP était programmé pour envoyer automatiquement sa position toutes les dix minutes environ.

1.6.9 Système centralisé de maintenance

L'avion est équipé d'un système centralisé de maintenance (CMS) dont le rôle est de faciliter les opérations de maintenance. Il acquiert et conserve certains des messages transmis par le système d'alerte de vol (FWS) ou les fonctions de test intégrées des systèmes (BITE). Il assure la génération des rapports de maintenance, dont les CFR (quand l'avion est en vol) et les PFR (une fois l'avion au sol).

Le CMS regroupe deux calculateurs centraux de maintenance (CMC) et les fonctions de test intégrées des différents systèmes.

1.6.9.1 Rapports de vol (CFR et PFR)

L'ensemble des messages de maintenance générés à bord d'un avion en vol forment le CFR. Une fois au sol, le système génère un rapport plus élaboré, le PFR.

Un message relatif à la maintenance peut être :

- un message de type *fault* reflétant le déclenchement d'une surveillance qui peut informer sur l'état ou le fonctionnement du système concerné,
- un message de type *cockpit effect* reflétant une indication présentée au poste de pilotage (par exemple un message ECAM ou un drapeau).

Note : on entendra par anomalie, le déclenchement d'une surveillance, qui peut, dans certains cas, faire référence à une panne.

Il existe trois classes de messages *fault* :

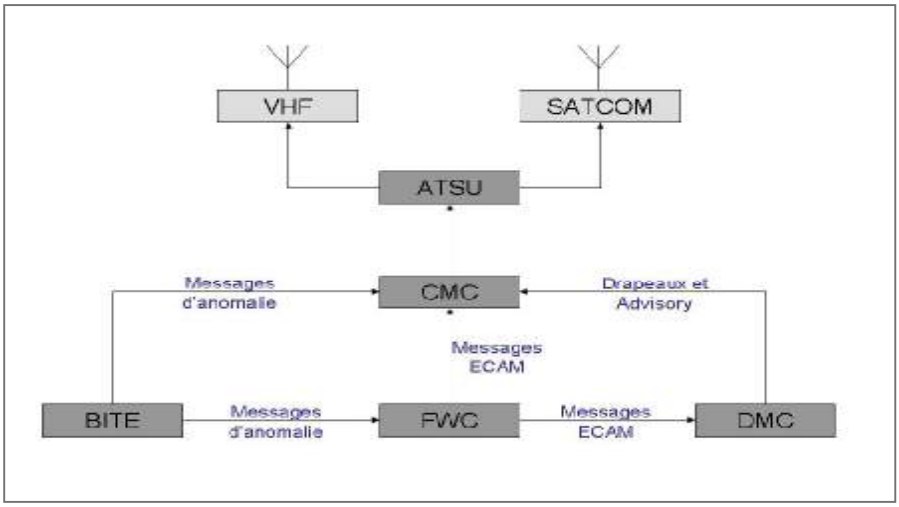
- classe 1 : ils ont des conséquences opérationnelles et sont accompagnés d'au moins un *cockpit effect* (pas nécessairement enregistré dans le CFR),
- classe 2 : ils n'ont pas de conséquence opérationnelle ; ils sont accompagnés d'un ou plusieurs messages MAINTENANCE STATUS qui ne sont portés à la connaissance de l'équipage qu'une fois au sol, via la page STATUS de l'ECAM,
- classe 3 : ils ne sont consultables qu'au sol, par l'exploitation des BITE de chaque calculateur ; ces messages ne figurent donc pas au CFR ou au PFR.

A la différence du CFR, le PFR présente des corrélations entre les messages *fault* et les *cockpit effect*. Les positions relatives des messages dans un CFR et dans le PFR correspondant sont susceptibles d'être différentes.

1.6.9.2 Acquisition des messages de maintenance par le CMC

Le CMC acquiert certains des messages ECAM du FWC, dans l'ordre où celui-ci les transmet. Il ne s'agit pas nécessairement de l'ordre dans lequel ces messages ont été affichés sur l'Engine Warning Display (E/WD). Jusqu'à cent

messages peuvent être acquis en une seconde. Les messages indiquant un drapeau ou un advisory sont reçus des DMC et doivent être confirmés entre 2,4 et 3 secondes pour être acquis. Ils sont datés une fois cette confirmation effectuée.



Les messages d'anomalie sont reçus des BITE des différents systèmes. Lorsqu'un système détecte une anomalie, il transmet au CMC un message *fault* qui contient :

- le code ATA (six chiffres) de l'équipement concerné par l'anomalie,
- le nom du système ayant détecté l'anomalie, appelé source,
- la classe du message (1 ou 2),
- un message de description de l'anomalie,
- une information sur le caractère durable (HARD) ou non (INTERMITTENT) de l'anomalie.

Lorsque le CMC reçoit un tel message, il ouvre une fenêtre de corrélation d'une minute en référence aux trois ou quatre premiers chiffres du code ATA. Durant cette période, tous les éventuels messages *fault* reçus comportant ces mêmes premiers chiffres de code ATA sont regroupés. Une fois la minute écoulée, le CMC ferme la fenêtre de corrélation et applique des règles de priorité entre les messages corrélés afin de générer un message global :

- les messages de classe 3 ne sont pas pris en compte,
- un message de classe 1 est prioritaire sur un message de classe 2,
- à classe égale, un message faisant état d'une anomalie interne (le système détecte une anomalie de son propre fonctionnement) est prioritaire sur un message faisant état d'une anomalie externe (le système constate une anomalie sur un autre système),
- en dernier ressort, le message le plus ancien est prioritaire.

Le message global généré contient alors les informations du message prioritaire (code ATA, source, etc.), auxquelles s'ajoute la liste des noms des autres systèmes, appelés identifiants, ayant généré les messages corrélés.

C'est ce message global qui apparaît dans le CFR ou le PFR. Aucune information sur les descriptions des messages rapportés par les identifiants n'est donc donnée ; seule la description du message prioritaire est conservée. Par ailleurs,

si la source ou l'un des identifiants a rapporté un message de classe 2, son nom est précédé d'un astérisque (*). La séquence théorique suivante est donnée à titre d'exemple :

Temps	Message *fault*	Evolution du message global à chaque stade
T0	« **message 1** » Classe 2 Source : SYS1	« **message 1** » Classe 2 Source : SYS1 Identifiants : -
T0+5 s	« **message 2** » Classe 1 Source : SYS2 Anomalie externe	« **message 2** » Classe 1 Source : SYS2 Identifiants : *SYS1
T0+10 s	« **message 3** » Classe 1 Source : SYS3 Anomalie interne	« **message 3** » Classe 1 Source : SYS3 Identifiants : SYS2,*SYS1
T0+59 s	« **message 4** » Classe 2 Source : SYS3	« **message 3** » Classe 1 Source : *SYS3 Identifiants : SYS2,*SYS1
T0+1 min	Fermeture de la fenêtre de corrélation. Génération du message global.	

Tous les messages sont datés à la minute près. La datation d'un message ECAM est l'heure de son acquisition par le CMC, celle d'un message *fault* est l'heure d'ouverture de la fenêtre de corrélation. Il est donc possible de trouver dans un CFR un message ECAM précédant un message *fault* pourtant daté une minute avant. Ainsi par exemple :

Temps d'occurrence	Message	CFR
hh:10:10	« **message 1** » ***fault***	Ouverture d'une fenêtre de corrélation
hh:10:15	« **message 2** » ***ECAM***	**Message ECAM daté à hh10**
hh:11:05	« **message 3** » ***ECAM***	**Message ECAM daté à hh11**
hh:11:10	Fin de la fenêtre de corrélation de « **message 1** »	**Message *fault* daté à hh10**

1.6.9.3 Transmission des messages de maintenance par le CMC

Pour leur envoi par ACARS, le CMC transmet les messages à l'ATSU. Les messages ECAM sont transmis en temps réel, dès qu'ils sont acquis. Les messages de drapeaux ou les advisory sont transmis dès qu'ils sont confirmés. Les messages *fault* sont transmis dès que la fenêtre de corrélation correspondante est fermée.

1.6.10 Le système de radiocommunications

Le système de radiocommunications de l'Airbus A330 comprend les équipements suivants :

- les émetteurs - récepteurs VHF et HF,
- les RMP,
- les systèmes d'intégration audio : ACP et AMU.

Chaque émetteur - récepteur VHF / HF peut être commandé par l'un des trois RMP.

1.6.10.1 Equipement VHF

Trois systèmes identiques de communication VHF sont installés. Chaque système inclut :

- un émetteur - récepteur dans la soute avionique,
- une antenne sur la partie supérieure du fuselage pour la VHF 1 et la VHF 3, sur la partie inférieure du fuselage pour la VHF 2.

1.6.10.2 Equipement HF

L'avion est équipé de deux systèmes de communication HF. Chaque système inclut :

- un émetteur - récepteur dans la soute avionique,
- un coupleur d'antenne situé au bas de l'emplanture du stabilisateur,
- une antenne commune intégrée dans le bord d'attaque de la dérive.

La portée HF étant de plusieurs milliers de kilomètres, les communications captées sont très nombreuses. Par ailleurs la qualité des transmissions peut être médiocre. Des ruptures de communications peuvent aussi se produire en raison de phénomènes naturels.

Un système d'appel SELCAL, émettant un signal lumineux et sonore, permet à l'équipage d'être informé qu'une station au sol veut entrer en contact avec lui.

1.7 Conditions météorologiques

1.7.1 Situation météorologique

On trouvera en annexe 1 l'étude détaillée complète fournie par Météo-France.

D'un point de vue climatologique, les conditions générales et la position de la Zone de Convergence Intertropicale sur l'Atlantique sont normales pour un mois de juin. Les amas de cumulonimbus caractéristiques de cette zone sont bien présents, avec une hétérogénéité spatiale importante et des durées de vie de quelques heures.

Les images infrarouges prises toutes les quinze minutes par le satellite géostationnaire Meteosat 9 constituent à ce stade la meilleure source d'information pour apprécier l'évolution de ces amas mais elles ne permettent pas d'observer directement les conditions rencontrées au FL350. En outre, les deux images les plus représentatives ont été prises environ sept minutes avant et après le dernier message ACARS du vol AF447.

L'analyse de l'imagerie infrarouge ne permet pas de conclure au caractère exceptionnel de l'activité orageuse sur la zone où le vol AF447 est présumé avoir disparu mais elle montre, sur la trajectoire prévue du vol, l'existence d'un amas de cumulonimbus puissants, identifiable depuis 00 h 30. Cet amas résulte de la fusion de quatre amas plus petits et son extension d'est en ouest est d'environ 400 km.

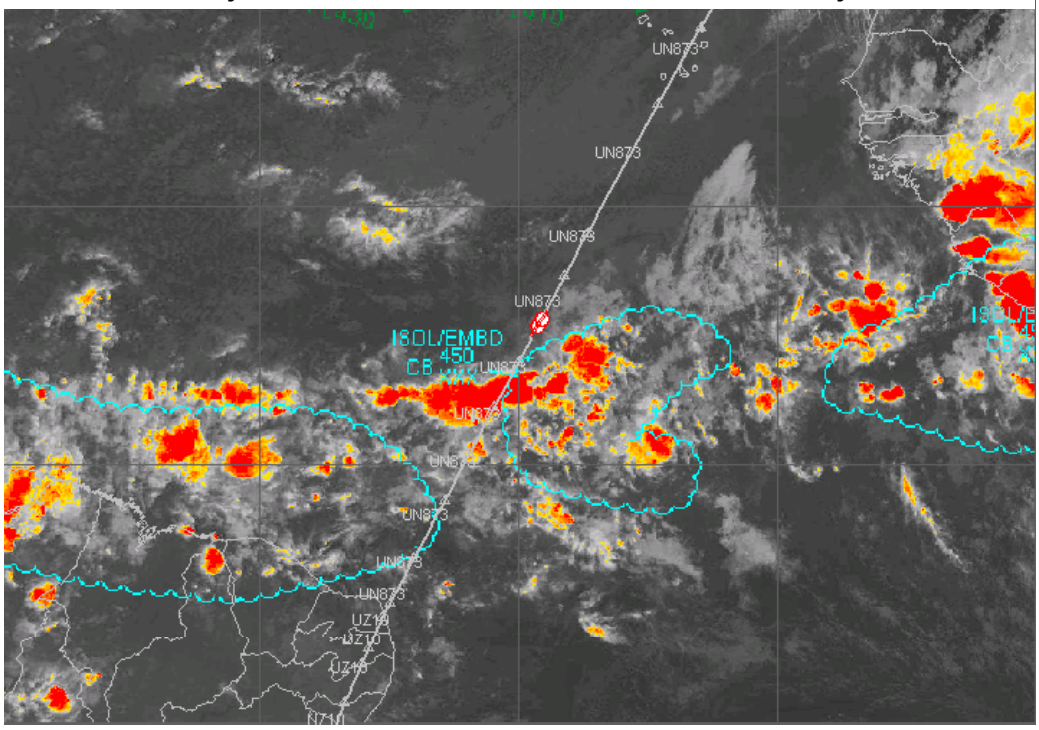
Si l'analyse de l'imagerie laisse penser que, vers 2 h 00, les cumulonimbus qui forment cet amas avaient pour la plupart déjà atteint leur stade de maturité, il est très probable que certains étaient le siège d'une turbulence marquée au FL350. La présence d'une activité électrique significative au niveau de vol est possible mais la présence d'eau surfondue est peu probable et aurait nécessairement été limitée à de faibles quantités.

1.7.2 Remarques sur l'information disponible

1.7.2.1 Cartes de prévision

La carte TEMSI de 00 h 00 (voir annexe 2) montre que la route prévue touche les deux masses nuageuses orientées est-ouest, situées de part et d'autre de l'Equateur et mentionnant : ISOL/EMBD CB entre les niveaux XXX (base située au-dessous du FL250) et le FL450. L'altitude la plus élevée de la tropopause sur la route est estimée au FL500. Un jet-stream orienté au 280°/85 kt est indiqué aux environs du parallèle 10° nord, à l'ouest de la route, aux FL410 et FL430. L'illustration qui suit montre à titre d'indication la superposition de cette TEMSI avec l'image infrarouge de 00 h 00.

IR -40° du 01 juin 00 h 00 + extrait TEMSI London 01 juin 00h 00



Note : les cartes TEMSI de vent et de température sont des prévisions sur la base de modèles numériques à l'échelle synoptique produites, pour le domaine Amérique Sud, 24 heures avant une heure de validité précise. Ces cartes présentent les grandes zones d'activité convective dans la région décrite mais n'indiquent pas la position précise des cumulonimbus et amas de cumulonimbus.

Les cartes de vent et de température montrent que le vent effectif moyen sur la route pouvait être estimé à environ dix nœuds arrière. Sur la carte du FL340, la température de l'air la plus élevée se situe aux environs de l'Equateur. Elle est estimée à – 40 °C soit Standard + 13 °C.

Les cartes de CAT ne prévoient aucune turbulence en ciel clair sur la route.

1.7.2.2 SIGMET

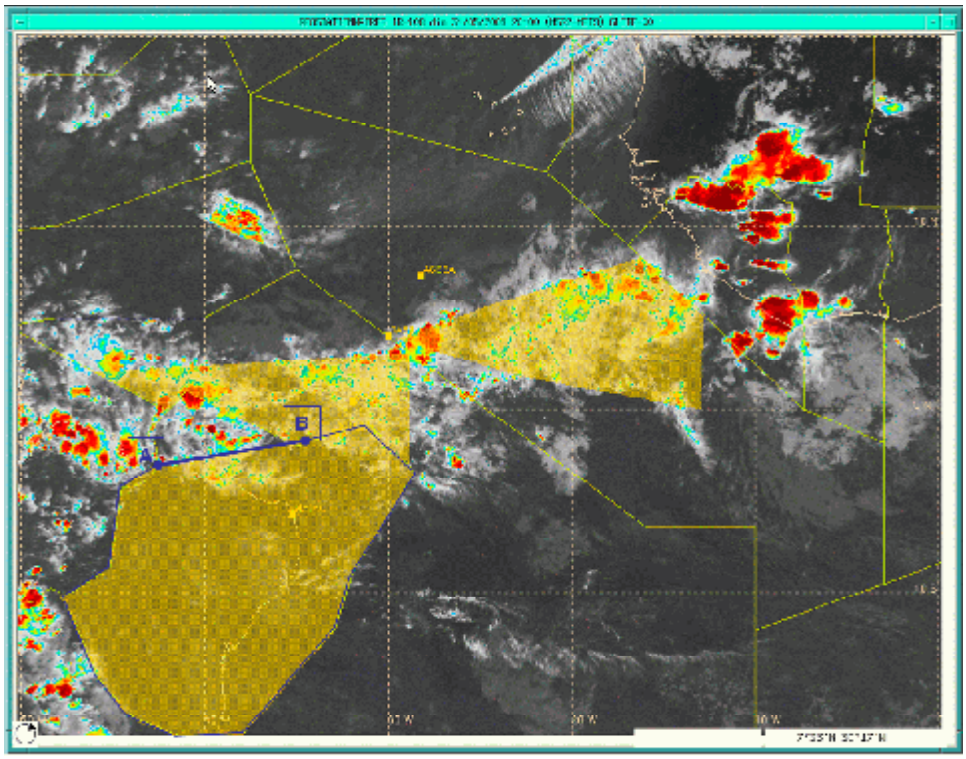
Le SIGMET 5 émis pour la FIR de RECIFE le 31 mai à 17 h 52, valide de 18 h 00 à 22 h 00, faisait état d'une prévision d'orages dans la couche avec des sommets au FL350.

Le SIGMET 7, émis pour la FIR d'ATLANTICO le 31 mai à 17 h 58, valide de 18 h 00 à 22 h 00, faisait état d'une prévision d'orages dans la couche avec des sommets au FL370.

Le SIGMET 7, émis pour la FIR de DAKAR le 31 mai à 16 h 33, valide de 16 h 35 à 20 h 35, faisait état d'observations d'orages isolés dans la couche, avec des sommets au FL450, se déplaçant vers l'ouest à 10 kt.

Les zones couvertes par ces messages sont visualisées dans l'image qui suit, superposée à l'image infrarouge Meteosat 9 de 20 h 00.

Note : les équipages ne disposent pas d'une telle visualisation.



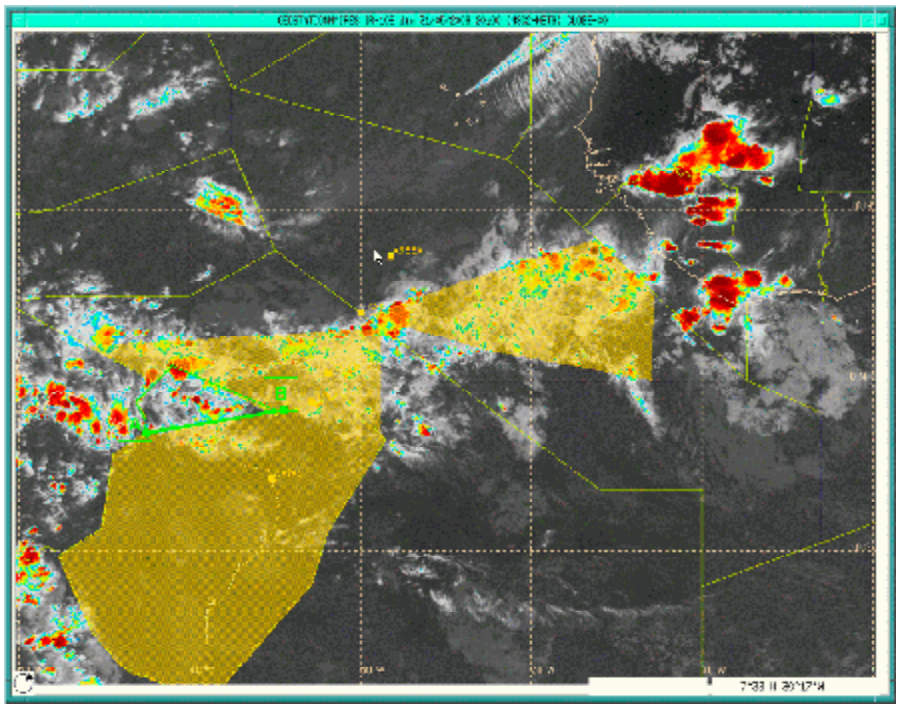
Le SIGMET 5 émis pour la FIR de RECIFE définit la zone concernée par des orages comme étant au sud-ouest de la ligne AB sur la figure ci-dessus. Ce SIGMET se lit comme suit :

WSBZ31 SBRE 311752
SBRE SIGMET 5 VALID 311800/312200 SBRE-RECIFE FIR EMBD TS FCST SW OF CLARK PSN/ PEPER PSN/ NEURA PSN AREA TOP FL350 STNR NC=

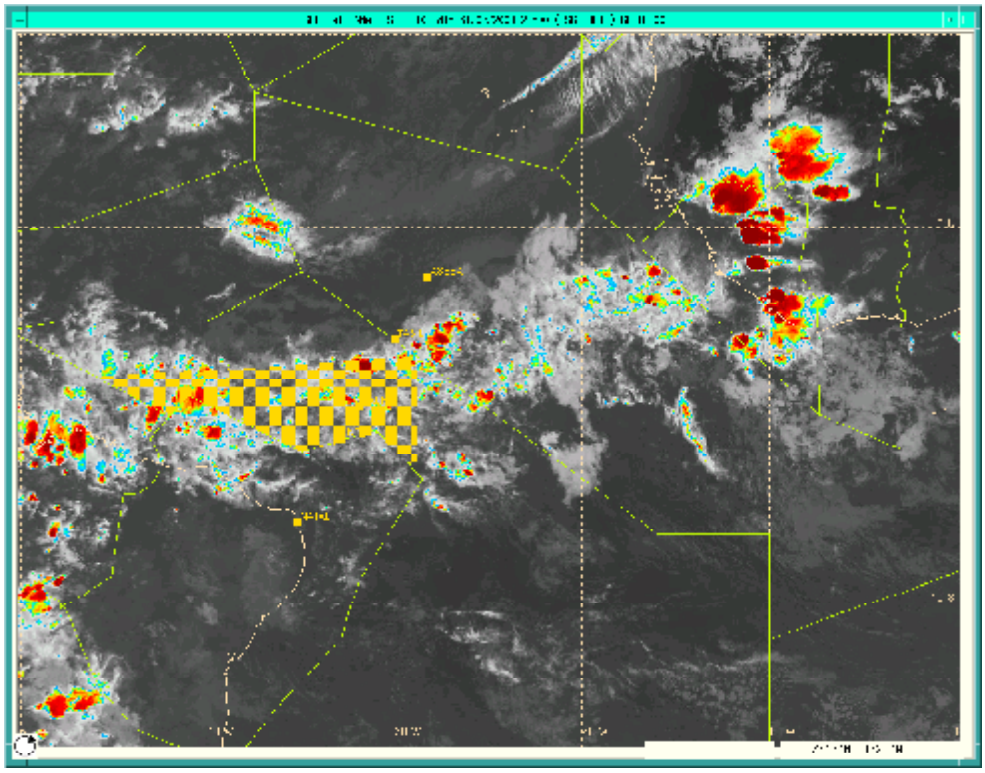
On peut s'interroger sur la validité de ce message, pour deux raisons :

- la ligne AB est orientée sud-ouest / nord-est or, en pareil cas, on attendrait une mention SE OF ou NE NW OF, et non SW OF comme c'est le cas dans le SIGMET,
- les images satellite pendant la durée de validité du SIGMET positionnent la zone de convection plutôt au nord-ouest de la ligne AB qu'au sud-est.

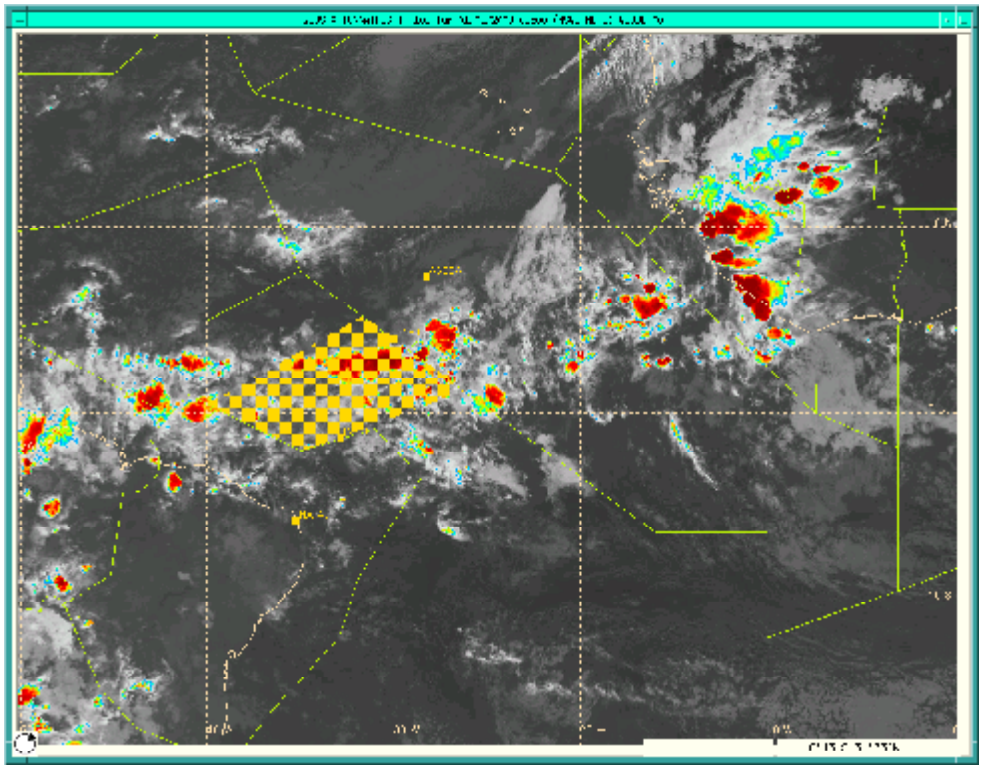
Il est donc envisageable que ce SIGMET comporte une erreur, avec une mention SW OF au lieu d'une mention NW OF. Dans cette hypothèse, le SIGMET 5 SBRE viendrait compléter la zone identifiée dans la FIR ATLANTICO, comme représenté par le tracé vert dans la figure ci-après :



Le SIGMET 10 a ensuite été émis pour la FIR d'ATLANTICO pour la période du 31 mai à 22 h 00 au 1er juin à 2 h 00, faisant état d'une prévision d'orages stationnaires dans la couche avec des sommets au FL400. La zone couverte est illustrée ci-après.



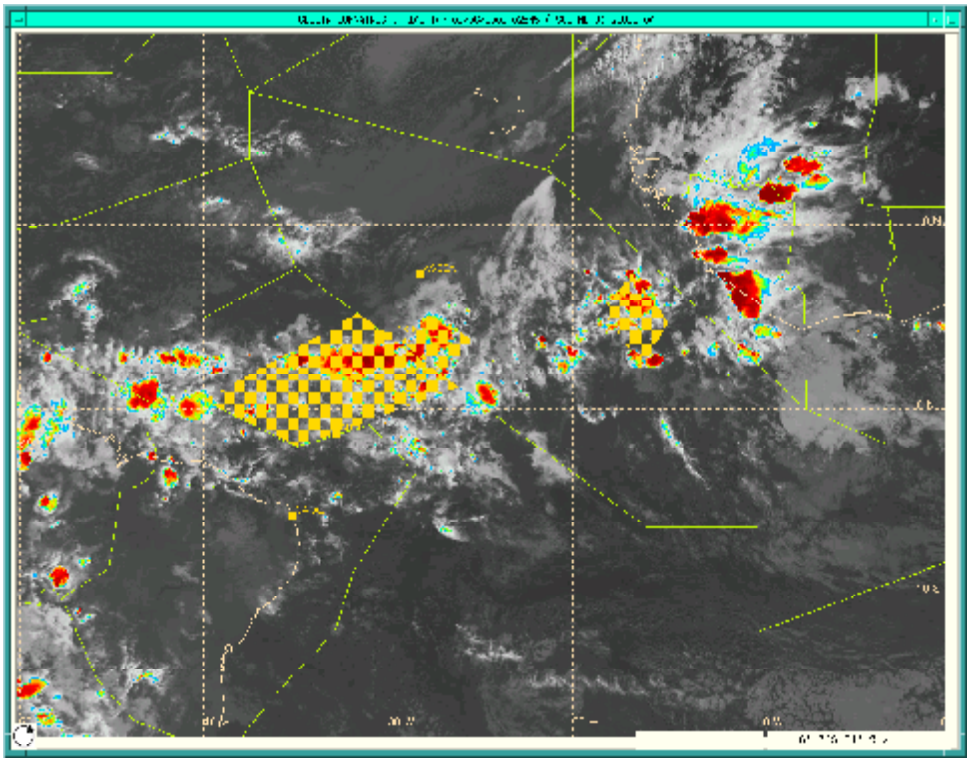
Le SIGMET 1 émis le 1er juin pour la FIR d'ATLANTICO, valide entre 2 h 00 et 6 h 00, faisait état d'orages prévus dans la couche, stationnaires, avec des sommets au FL380. La zone couverte est illustrée ci-après.



Le SIGMET 2 émis pour la FIR de DAKAR le 1er juin à 2 h 44, valide de 2 h 45 à 6 h 45, faisant état d'orages observés dans la couche à 2 h 15 dont les sommets étaient au FL450.

Remarque : dans ce SIGMET, le point référencé N 05°15' - O 072°49' est probablement N 05°15' - O 027°49'.

La zone couverte par ces deux SIGMET est illustrée ci-après.



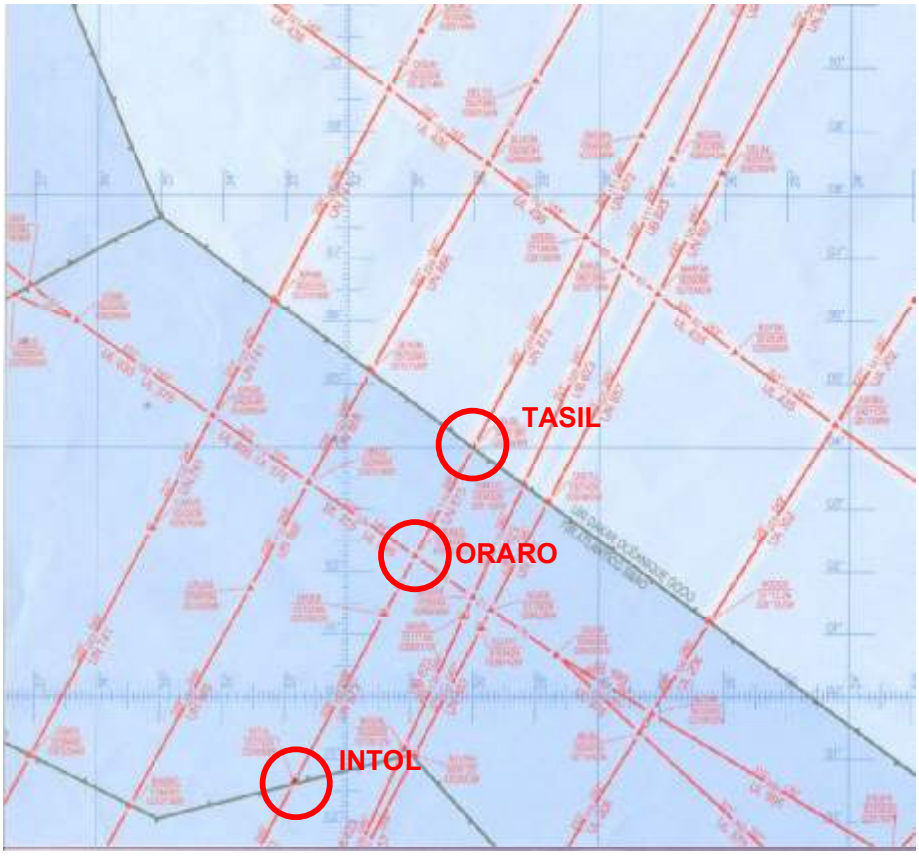
1.8 Aides à la navigation

Le GNSS est la seule aide à la navigation disponible à proximité du point TASIL.

A l'heure estimée de l'événement, la constellation GPS offrait la précision de navigation requise sur la route.

1.9 Télécommunications

Les transcriptions des télécommunications relatives au vol AF447, transmises par le Brésil, figurent en annexe 3.



1.9.1 Echanges avec les centres de contrôle

Note : les heures mentionnées sont basées de la transcription effectuée par l'autorité brésilienne. Il existe un décalage de l'ordre d'une minute entre cette référence et celle de l'ATC sénégalaise.

Entre 21 h 40 et 23 h 18, l'équipage a communiqué successivement :

- sur la fréquence « clairance » de Rio de Janeiro (121,0 MHz) à 21 h 40,
- sur les fréquences des contrôleurs sol (121,65 MHz), tour (118,2 MHz), et départ (128,9 MHz),
- sur la fréquence de la FIR CURITIBA (133,4 MHz ou 133,6 MHz). Le contrôleur de CURITIBA l'autorise à monter au FL350,
- sur la fréquence de BRASILIA (126,55 MHz, puis 125,45 MHz et 128,7 MHz).

A 23 h 18 min 37, il est transféré sur la fréquence de RECIFE (126,5 MHz).

A 0 h 36 min 40, le contrôleur de RECIFE lui demande de maintenir le FL350 et de contacter ATLANTICO en HF (6535 ou 5565 kHz) en passant le point INTOL.

A 1 h 31 min 44, le contrôleur de RECIFE lui transmet les fréquences HF d'ATLANTICO : 6649 ou 5565 kHz, puis 6535 kHz après le point TASIL. L'équipage collationne les trois fréquences.

Note : TASIL est sur la frontière entre les FIR océaniques d'ATLANTICO et de DAKAR.

A 1 h 33 min 25, l'équipage contacte le contrôleur d'ATLANTICO sur la fréquence 6649 kHz. A 1 h 35 min 15, il informe le contrôleur qu'il a passé le

point INTOL à 1 h 33, au FL350. Il annonce les estimées suivantes : SALPU à 1 h 48 puis ORARO à 2 h 00. Il transmet également son code SELCAL : CPHQ.

A 1 h 35 min 26, le contrôle d'ATLANTICO coordonne avec le contrôle de DAKAR le vol AF447. A 1 h 35 min 32, le contrôleur d'ATLANTICO transmet à celui de DAKAR les éléments suivants : estimée de TASIL à 2 h 20, FL350, Mach 0,82.

A 1 h 35 min 38, le contrôleur d'ATLANTICO envoie un appel SELCAL.

A 1 h 35 min 43, l'équipage remercie le contrôleur.

A 1 h 35 min 46, le contrôleur lui demande de maintenir le FL350 et de donner une estimée de TASIL.

Entre 1 h 35 min 53 et 1 h 36 min 14, le contrôleur d'ATLANTICO demande trois fois à l'équipage son heure estimée de passage au point TASIL. L'équipage ne répond pas.

1.9.2 Coordination entre les centres de contrôle

Note : les heures mentionnées sont basées de la transcription effectuée par l'autorité sénégalaise. Il existe un décalage de l'ordre d'une minute entre cette référence et celle de l'ATC brésilien.

A 1 h 46, le contrôleur de DAKAR demande au contrôleur d'ATLANTICO un complément d'information sur le vol AF447 car il n'a pas de plan de vol. Le contrôleur d'ATLANTICO lui fournit les éléments suivants : A332, de SBGL à LFPG, SELCAL : CPHQ.

Le CCR DAKAR OCEANIQUE crée le plan de vol et l'active. Cela a pour effet de générer un vol fictif selon la trajectoire prévue dans la FIR de DAKAR entre TASIL et POMAT. Il n'y a aucun contact radio entre l'AF447 et DAKAR, ni de connexion ADS-C. Le vol reste fictif.

A 2 h 47 min 00, le contrôleur de DAKAR coordonne par téléphone (ATS/DS) le vol AF447 avec le contrôleur de SAL (Cap Vert) avec les informations suivantes : passage au point POMAT (sortie FIR Dakar) estimé à 3 h 45, FL350, Mach 0,82.

A 2 h 48 min 07, le contrôleur de DAKAR précise au contrôleur de SAL que le vol AF447 n'a pas encore établi de contact avec lui.

A 3 h 54 min 30, le contrôleur de SAL appelle par téléphone (ATS/DS) le contrôleur de DAKAR pour lui demander de confirmer l'heure estimée de passage sur le point POMAT. Ce dernier lui confirme que POMAT est estimé à 3 h 45. Le contrôleur de DAKAR précise que l'équipage de l'AF447 ne l'a pas contacté pour corriger son estimée. Le contrôleur de SAL répond que l'estimée est probablement plus tard. Il demande au contrôleur de DAKAR s'il y a un changement. Le contrôleur de DAKAR indique alors qu'il va essayer de contacter le vol AF447.

A 4 h 07 min 04, le contrôleur de SAL demande confirmation de l'estimée du vol AF447. Le contrôleur de DAKAR lui confirme à nouveau que POMAT était estimé à 3 h 45. Le contrôleur de SAL lui fait remarquer qu'il est 4 h 08 et que l'estimée n'est pas correcte. Le contrôleur de DAKAR rappelle que le contact n'était pas établi avec le vol AF447. Le contrôleur de SAL précise qu'il

a identifié le vol AF459 sur son radar alors que son estimée est postérieure à celle du vol AF447. Le contrôleur de SAL indique qu'il pense que l'estimée de POMAT est plus tard, à 4 h 29 ou 4 h 30. Le contrôleur de DAKAR indique au contrôleur de SAL qu'il le rappelle.

A 4 h 11 min 53, le contrôleur de DAKAR demande au vol AF459 de contacter le vol AF447.

A 4 h 20 min 27, l'équipage de l'AF459 informe le contrôleur de DAKAR qu'il passe le point POMAT au FL370. Il n'a pas réussi à joindre le vol AF447 et indique qu'il a envoyé un message à Air France pour que la compagnie aérienne tente de joindre l'AF447.

A 4 h 20 min 36, le contrôleur de DAKAR demande à l'équipage de l'AF459 de contacter SAL sur la fréquence 128,3 MHz.

A 4 h 21 min 52, le contrôleur de DAKAR demande au contrôleur d'ATLANTICO de lui confirmer que l'AF447 a passé TASIL à 2 h 20 au FL350. Le contrôleur d'ATLANTICO confirme que TASIL était estimé à 2 h 20 mais qu'il n'y a pas eu de contact.

Le contrôleur de DAKAR confirme au contrôleur de SAL, qui n'a toujours pas de contact radio avec l'avion et que les estimées sont correctes.

A 4 h 37 min 07, le contrôleur de DAKAR demande au contrôleur de SAL s'il n'a toujours pas de contact avec le vol AF447 et lui indique que selon le contrôleur d'ATLANTICO le vol devrait avoir quitté la FIR à 2 h 20 et par conséquent l'estimée de POMAT devrait être 3 h 45.

A 4 h 39 min 42, le contrôleur de DAKAR demande confirmation au contrôleur d'ATLANTICO qu'il n'a pas eu de contact avec le vol AF447. Ce dernier répond qu'il n'a pas eu de contact à TASIL mais que le premier contact était à INTOL à 1 h 33. Le contrôleur de DAKAR précise au contrôleur d'ATLANTICO que SAL n'a pas établi le contact non plus. Le contrôleur d'ATLANTICO indique qu'il rappellera plus tard.

A 4 h 52 min 36, le contrôleur de DAKAR rappelle le contrôleur de SAL pour lui demander s'il a établi le contact. Il confirme les estimées aux limites de FIR et demande au contrôleur de SAL de le rappeler s'il établit un contact.

A 4 h 53 min 50, le contrôleur d'ATLANTICO rappelle le contrôleur de DAKAR. Il lui indique qu'il vérifie à nouveau les estimées et qu'il le rappelle.

A 5 h 01 min 34, le contrôleur de DAKAR demande au contrôleur de CANARIAS s'il est en contact avec l'AF447. Ce dernier répond qu'il n'a pas d'informations.

A 5 h 06 min 17, le contrôleur de SAL demande au contrôleur de DAKAR s'il a un report de position de l'AF447 à la frontière avec la FIR ATLANTICO. Ce dernier répond par la négative.

A 5 h 09 min 15, le contrôleur d'ATLANTICO demande au contrôleur de DAKAR s'il a des nouvelles de l'AF447. Le contrôleur de DAKAR répond par la négative puis le contrôleur d'ATLANTICO demande confirmation que le vol est désormais dans la FIR de SAL. Le contrôleur de DAKAR lui répond « yes, no worry ». Il confirme également que SAL n'a pas établi de contact avec l'AF447.

La suite des échanges entre les centres de contrôle est décrite au paragraphe 1.15.

1.10 Renseignements sur l'aérodrome

Les aérodromes d'appui retenus pour ce vol ETOPS 120 minutes étaient : Natal (Brésil) et Sal Amilcar (Cap Vert).

1.11 Enregistreurs de bord

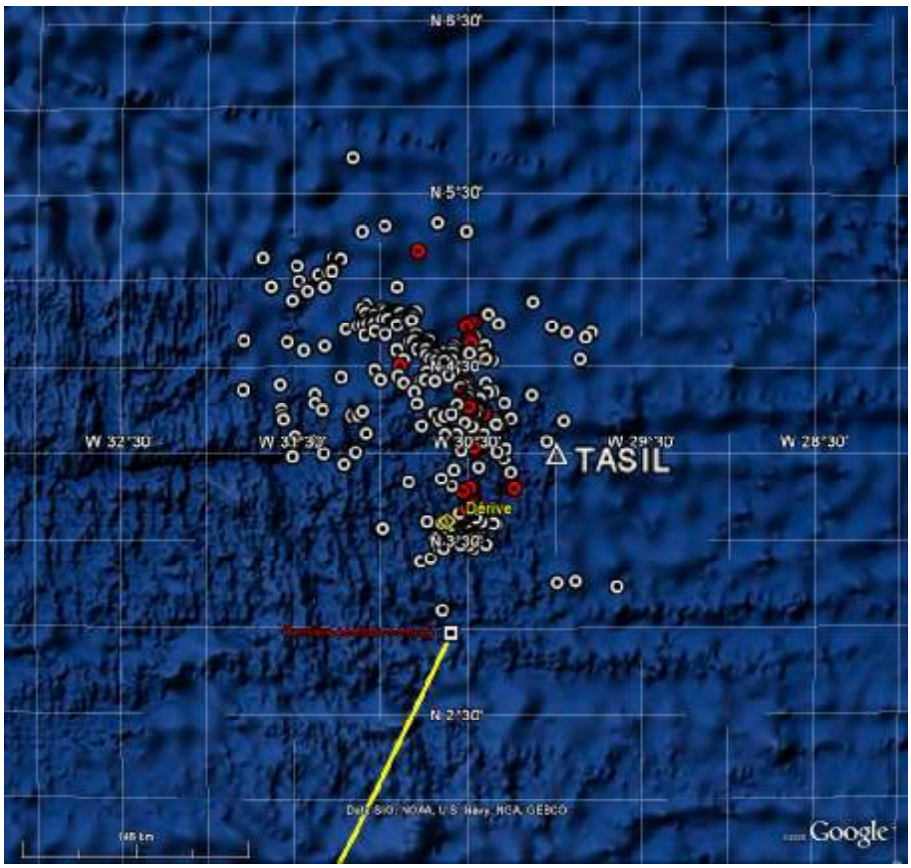
Au moment de la rédaction du rapport, les opérations de recherche étaient en cours pour tenter de localiser et de récupérer les enregistreurs de paramètres et phonique.

1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact

1.12.1 Localisation des corps et des éléments de l'avion

Les marines française et brésilienne ont retrouvé des débris appartenant à l'avion à partir du 6 juin. Tous ceux connus du BEA ont été référencés dans une base de données. A la date du 26 juin, cette base de données comportait 640 éléments.

Lorsque l'information est disponible, la position, la date et l'heure de leur récupération sont renseignées. La carte ci-dessous montre l'ensemble des corps et débris ainsi géo-référencés. Les corps sont représentés par un rond rouge et les débris par un rond blanc. La dérive (empennage vertical), retrouvée le 7 juin, est représentée par un losange jaune.



On trouve en annexe 4 la chronologie de la récupération des corps et débris de l'avion trouvés entre le 6 juin et le 18 juin 2009 et connus du BEA au 26 juin 2009.

1.12.2 Identification des éléments récupérés

L'identification des débris montre qu'il s'agit essentiellement d'éléments légers appartenant à l'aménagement de la cabine et des soutes (cloisons, office, revêtement de plafond ou de plancher, sièges, coffres à bagages, habillage cabine et soute).

Environ trente pièces sont des éléments extérieurs de l'avion (dérive, morceaux du radôme, de capotage moteur, de carénage de « ventre mou », de carénage de vérin de volet, du plan horizontal réglable et de gouvernes secondaires).

Les débris identifiés proviennent de l'ensemble des zones de l'avion.

Une balise de détresse ELT à déclenchement manuel a également été repêchée. Celle-ci n'a pas été actionnée. Son interrupteur a été retrouvé sur la position « OFF ».

1.12.3 Examen visuel

Un premier examen visuel a permis de faire apparaître les éléments suivants.

La dérive a été endommagée pendant sa récupération et son transport mais les photos disponibles permettent d'identifier les dommages qui ne résultent pas de l'accident. Les attaches du milieu et de l'arrière avec les fragments de cadres de fuselage associés sont présentes en pied de dérive. Les déformations des cadres montrent qu'ils se sont rompus dans un mouvement vers l'avant avec une légère composante en torsion vers la gauche.

Une partie de radôme, représentant environ un cinquième de sa circonférence dans sa partie supérieure, a été retrouvée.

L'office, identifié G2 situé au niveau de la porte 2 droite, est peu déformé. Des paniers et clayettes sont comprimés dans la partie inférieure des deux caissons à roulettes.

Les déformations observées sur les renforts verticaux métalliques d'une porte de toilettes témoignent d'efforts de compression importants.

Les fragments de parois du module de repos PNC sont froissés et ceux du plafond sont déformés vers le bas. Le plancher est bombé sous l'effet d'une forte pression du bas vers le haut. Les équerres de liaison entre le plancher et les parois sont fléchies vers l'arrière.

1.12.4 Synthèse de l'examen visuel

Les observations effectuées sur la dérive et sur les éléments de la cabine passagers (office, porte de toilettes, module de repos PNC) font apparaître que l'avion a vraisemblablement heurté la surface de l'eau en ligne de vol, une forte accélération verticale.

1.13 Renseignements médicaux et pathologiques

Les marins de la Frégate Ventôse ont repêché une trentaine de corps. L'examen visuel des corps montre qu'ils étaient vêtus et relativement bien préservés. Toutes les dépouilles ont été transférées à la Marine brésilienne pour être acheminées à l'institut médico-légal de Recife.

A ce stade de l'enquête, le BEA n'a pas encore eu accès aux données des autopsies.

1.14 Incendie

A partir des éléments retrouvés à ce jour, aucun indice d'incendie ou d'explosion n'a été mis en évidence.

1.15 Questions relatives à la survie des occupants

En l'absence actuelle d'informations sur la fin du vol, ce chapitre ne traite que du déclenchement et de l'organisation des opérations de recherche et de sauvetage.

La chronologie des événements est basée sur les enregistrements des centres de Dakar, de Brest et du CCO d'Air France. A ce stade de l'enquête, le BEA n'a pas encore eu accès aux données des centres de Recife (ATLANTICO) et de Sal (SAL OCEANIQUE).

En conséquence, la synchronisation des échanges est rendue difficile et demeure incertaine. Dans ce chapitre, les temps ont été arrondis à la minute qui est l'ordre de grandeur de l'incertitude.

Les échanges entre les différents centres de contrôle concernant l'absence de contact avec le vol AF447 sont détaillés au chapitre 1.9 Télécommunications.

Le tableau suivant mentionne à titre indicatif les heures d'entrée prévues dans les FIR du vol AF447, estimées à partir des données IFPS, compte tenu de la dernière communication avec le centre d'ATLANTICO au cours de laquelle l'équipage annonce qu'il passe le point INTOL à 1 h 33.

ACC ET CODE FIR	HEURE	POINT DE REPORT	PAYS
ATLANTICO (SBAO)	1 h 33	INTOL	BRESIL
DAKAR OCEANIQUE (GOOO)	2 h 20	TASIL	SENEGAL
SAL OCEANIQUE (GVSC)	3 h 43	POMAT	CAP VERT
CANARIAS (GCCC)	4 h 37	IPERA	ESPAGNE
CASABLANCA (GMMM)	6 h 02	SAMAR	MAROC
LISBOA (LPCC)	6 h 47	BAROK	PORTUGAL
MADRID (LECM)	7 h 22	BABOV	ESPAGNE

BREST (LFRR)	8 h 01	DELOG	FRANCE
PARIS (LFFF)	8 h 35	NORMI	FRANCE

Représentation de certaines FIR concernées par la trajectoire du vol AF447

Le déroulement qui suit a été élaboré à partir des informations, encore parcellaires, collectées à ce stade et qui seront complétées au cours de l'enquête. Toute interprétation au-delà des données factuelles mentionnées pourrait conduire à une analyse erronée.

A 4 h 11, le contrôleur de DAKAR demande au vol AF459 de contacter le vol AF447. L'équipage du vol AF459 envoie à 4 h 18 un message à Air France pour que la compagnie aérienne tente de joindre l'AF447. Air France demande à 4 h 24 par ACARS au vol AF447 de contacter DAKAR OCEANIQUE.

A 5 h 50, après plusieurs tentatives infructueuses pour obtenir des informations sur l'AF447, Air France contacte le centre SARSAT. Ce dernier n'a pas détecté d'émission de balise. Sur les conseils de SARSAT, Air France contacte le RCC Cinq Mars La Pile.

A 6 h 00, le RCC Cinq Mars La Pile appelle le centre de BREST (CRNA ouest) et lui demande de joindre les centres concernés par le vol AF447. Le centre de BREST contacte le centre adjacent de SHANWICK pour qu'il contacte le centre de SANTA MARIA (Açores). Ce dernier indique ne pas avoir d'informations sur le vol.

Entre 6 h 04 et 6 h12, le CCO d'Air France contacte successivement les centres de SANTA MARIA, SHANWICK et CANARIAS pour savoir s'ils ont ou peuvent

avoir un contact avec l'AF447 qui pourrait être à cette heure dans l'espace marocain. Parallèlement, le CCO d'Air France informe également le CNOA de l'impossibilité de joindre l'AF447 et demande s'il existe un moyen alternatif de détection. Dans le même temps, le centre de SHANWICK indique au centre de BREST que l'avion semblerait être dans l'espace marocain.

A 6 h 05, le contrôleur de DAKAR confirme au contrôleur d'ATLANTICO que le contrôleur de SAL n'a toujours pas de contact avec l'AF447. Dans le même temps, le centre de CANARIAS (Espagne) envoie un message à celui de DAKAR pour demander des informations sur ce vol.

A 6 h 13, le centre de BREST indique au RCC Cinq Mars La Pile que, selon une source indirecte et non vérifiée, l'AF447 serait en contact avec le contrôle marocain.

A 6 h 17, le centre de BREST demande au centre adjacent de MADRID de contacter le centre de LISBOA (Portugal) pour savoir s'il a des informations sur le vol et s'il peut demander à l'équipage de contacter sa compagnie aérienne.

Peu après, le centre de BREST envoie un message prioritaire aux centres de LISBOA, MADRID et SANTA MARIA pour demander des informations sur le vol AF447 qui n'est pas en contact avec les opérations de sa compagnie. Il renouvelle ce message à 6 h 24.

A 6 h 32, le centre de BREST confirme au RCC Cinq Mars la Pile que SANTA MARIA n'a pas d'information sur le vol.

A 6 h 35, le centre de MADRID indique au centre de BREST que le vol est en ce moment même dans la FIR de CASABLANCA et pénétrera dans la FIR de LISBOA dans le quart d'heure. Le centre de BREST transmet cette information au CCO d'Air France et au RCC Cinq Mars La Pile.

A 6 h 44, après avoir contacté le centre de CASABLANCA, le CCO d'Air France appelle le centre de BREST et lui indique que le centre de CASABLANCA n'a pas de contact (radio ou radar) avec le vol. Le CCO précise que le centre de CASABLANCA est en contact avec le vol AF459.

A 6 h 45, le centre de BREST transmet ces informations au centre de MADRID.

A 6 h 51, le centre de MADRID confirme que LISBOA n'a pas de contact radar et que CASABLANCA n'a ni contact radio ni radar avec le vol AF447. Il indique que le vol devrait pénétrer dans dix minutes dans l'espace de LISBOA et établir alors un contact radar.

A 7 h 08, le centre de MADRID informe le centre de BREST que LISBOA n'a aucun contact radio ou radar avec l'AF447.

A 7 h 17, le centre de BREST, qui cherche alors à localiser le vol AF447 dans l'espace océanique, contacte directement le centre de SANTA MARIA. Ce dernier indique que DAKAR n'a pas eu de contact avec l'AF447 et que celui-ci est supposé être maintenant avec le centre de CASABLANCA. Le centre de BREST confirme à SANTA MARIA que le centre de CASABLANCA n'a pas de contact avec l'AFR447. Le centre de SANTA MARIA se renseigne alors auprès du centre de CANARIAS.

A 7 h 29, le CCO d'Air France rappelle le centre de BREST et s'enquiert du vol AF447. Il précise que l'avion n'est ni en contact avec le Brésil ni avec le Sénégal et que les tentatives de communication avec le système ACARS, SATCOM et Stockholm radio sont infructueuses.

Note : Stockholm radio est un opérateur privé basé en Suède qui propose des services de communication radio HF. Air France est un client de Stockholm radio.

A 7 h 37, BREST appelle de nouveau SANTA MARIA qui l'informe ne pas avoir eu de contact radar avec l'AF447. SANTA MARIA ajoute que DAKAR a coordonné l'AF447 avec SAL mais que ce dernier n'a pas eu de contact radio ou radar avec le vol.

A 7 h 41, le chef de quart de DAKAR informe le CCS de Dakar que le vol AF447 devait passer le point TASIL à 2 h 20 mais qu'il n'a pas eu de contact avec l'avion.

Peu après, le CCO d'Air France puis le centre de BREST informent le BEA. Le centre de BREST envisage de déclencher une phase d'alerte à l'heure prévue d'entrée de l'avion dans l'UIR de BREST.

A 8 h 01, le centre de BREST informe le RCC Cinq Mars La Pile qu'il n'y a toujours pas de nouvelles de l'AF447 et s'interroge sur la pertinence de déclencher une phase d'alerte. Le RCC Cinq Mars La Pile indique qu'il n'est pas compétent pour intervenir puisque l'avion est en dehors de sa zone de responsabilité SAR.

A 8 h 07, les centres de LISBOA et SANTA MARIA répondent au centre de BREST qu'ils n'ont aucune nouvelle du vol AF447.

A 8 h 15, le centre de MADRID déclenche une phase INCERFA-ALERFA.

A 8 h 34, le centre de BREST déclenche une phase DETRESFA et appelle le RCC Cinq Mars La Pile.

A 8 h 37, les services de la navigation aérienne de l'aérodrome Paris Charles de Gaulle demandent à leurs homologues de Dakar des informations sur le vol AF447.

A 9 h 09, le centre de BREST envoie un message DETRESFA à certains centres en route concernés par le vol AF447. Le message indique une position estimée entre les points de report ORARO et TASIL.

A 9 h 31, le centre de SAL, qui n'était pas destinataire du message de BREST, envoie un message d'ALERFA-INCERFA au centre de DAKAR.

A 9 h 40, le CCS de Dakar informe le détachement Breguet Atlantique que le centre de contrôle n'a pas eu de contact avec un avion qui aurait traversé la FIR DAKAR OCEANIQUE. Le chef du détachement de l'aéronavale contacte les autorités militaires en France : le Centre Opérations Maritimes de Brest, le CNOA et le CROSS Gris Nez[15].

A 9 h 50, le chef du détachement de l'aéronavale déclenche une alerte renforcée (préavis d'une heure et complément d'avitaillement effectué).

A 10 h 45, le CCS de Dakar donne l'ordre de décollage au Dassault Atlantique 2 pour se positionner au Cap Vert. Cela correspond à un choix de

[15]Gris-Nez est le correspondant français auprès des centres de recherche et de sauvetage étrangers. Il centralise et traite les alertes émises par les navires français naviguant sur toutes les mers du monde. Il coopère avec les maritime rescue coordination centers (MRCC), homologues dans le cadre du système mondial de détresse et de sécurité en mer.

pré-positionnement compte tenu de l'incertitude qui demeure quant à la localisation de l'accident.

Le CNOA indique ensuite au chef de détachement une zone probable de recherche entre le Cap Vert et le Brésil indiquée par Air France et confirmée par le BEA à 11 h 07.

A 12 h 14, le Dassault Atlantique 2 décolle à destination du Cap Vert[16].

[16]Le décollage a été retardé d'environ trente minutes à la suite d'un problème technique.

Vers 13 h 00, l'équipage du Dassault Atlantique 2, en route pour se positionner au Cap Vert, reçoit l'instruction de se diriger vers TASIL en descendant la voie aérienne UN 873.

Le Dassault Atlantique 2 arrive sur la zone de recherche à 15 h 28. Il retourne à Dakar à 22 h 20 sans avoir détecté de débris.

Les recherches basses altitudes sont coordonnées par le MRCC de Recife, l'avion ayant disparu dans sa zone de responsabilité SAR.

1.16 Essais et recherches

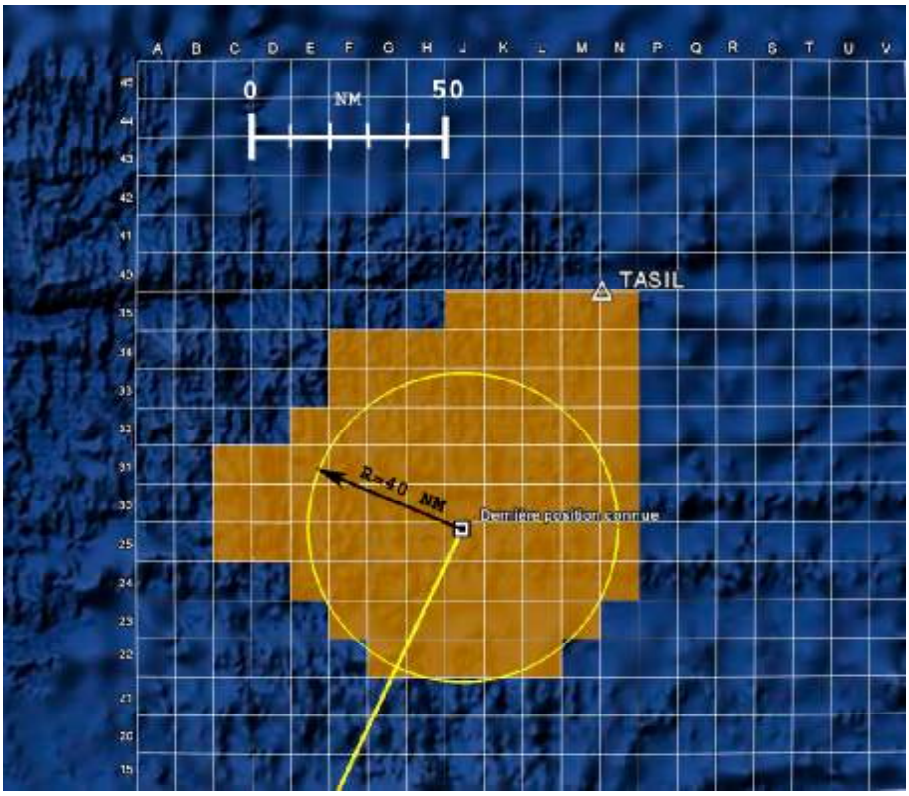
1.16.1 Recherches des enregistreurs

1.16.1.1 Contexte des recherches

La zone estimée de l'accident se trouve au-dessus de la dorsale atlantique. Les recherches s'y déroulent dans un environnement défavorable en raison de la profondeur et de la topographie des fonds sous-marins. Ces fonds sont peu connus et présentent sur de faibles distances des variations de profondeur allant de 900 mètres à 4 600 mètres environ. L'éloignement de la terre ferme implique une absence de couverture radar et des difficultés de communication radiophonique.

La zone de recherche a été initialement définie à partir de la route de l'avion et de la dernière position contenue dans les messages ACARS. Il s'agit d'une surface d'un rayon de 40 NM, correspondant à plus de 17 000 km^2 et située à plus de 500 NM des côtes.

Les recherches en surface ont permis de localiser des corps et des éléments de l'avion à partir du 6 juin 2009. La position des éléments flottants a permis de préciser la zone de recherche à partir de travaux sur les courants et les vents. La figure ci-après représente la zone de recherche sous-marine.



Zone de recherche sous-marine

1.16.1.2 Principe des recherches sous-marines

Les enregistreurs de l'avion étant chacun équipé d'une balise de localisation sous-marine, il convient dans un premier temps de privilégier une recherche acoustique en tenant néanmoins compte de la portée limitée des balises qui est de l'ordre de deux kilomètres maximum. Il est également nécessaire de prendre en compte la propagation des ondes acoustiques en milieu liquide, qui dépend de nombreux paramètres liés entre eux comme la salinité et la température de l'eau. Lorsqu'une onde acoustique se propage dans la mer, elle est soumise à des réfractions, ce qui génère des trajets multiples. Il peut aussi arriver que les ondes acoustiques soient déviées de telle sorte qu'il existe une zone d'ombre jamais atteinte par ces ondes.

Les recherches acoustiques en utilisant les balises qui émettent sur 37,5 KHz (± 1 KHz) sont en général plus efficaces que des recherches à partir de Sonar, de magnétomètres et de caméras vidéo. Néanmoins, la durée d'émission des balises est limitée ; elles sont certifiées pour une émission minimale durant trente jours à compter de l'immersion.

Compte tenu de la portée des balises, il faut rapprocher les hydrophones de la source d'émission, en remorquant des engins spécialisés à proximité des fonds sous-marins.

Les moyens d'intervention sous-marins qui interviennent après la localisation de l'épave doivent aussi tenir compte de la profondeur et de l'incertitude sur la zone. Dans le cas de l'accident du vol AF447, des moyens spécialisés pouvant descendre jusqu'à six mille mètres de profondeur ont été prévus.

1.16.1.3 Moyens déployés par la France

Par le Ministère de la Défense

La Marine nationale a déployé la Frégate Ventôse et le BPC (Bâtiment de Projection et de Commandement) Mistral pour participer aux recherches en surface et à la récupération des corps et débris flottants. Ils sont aidés de leurs hélicoptères embarqués et des avions de l'aéronavale et de l'armée de l'air.

Le SNA (sous-marin nucléaire d'attaque) Emeraude a été envoyé sur la zone pour compléter le dispositif de recherches acoustiques sous-marines.

Frégate Ventôse	*SNA Emeraude*	*BPC Mistral*

Par le BEA

En ce qui concerne les moyens acoustiques remorqués, le BEA s'est rapproché de l'US Navy. Celle-ci possède en effet deux hydrophones remorqués TPL et les utilise régulièrement pour rechercher des aéronefs civils ou militaires abimés en mer.

Les TPL de l'US Navy peuvent opérer jusqu'à six mille mètres de profondeur. Ils fonctionnent sur une bande de fréquence comprise entre 5 et 60 KHz, ce qui comprend la fréquence émise par la balise de localisation sous-marine. La portée moyenne de détection des TPL est estimée à au moins deux kilomètres.

Pour permettre l'exploitation de ce matériel, le BEA a affrété deux navires d'opportunité auprès de la filiale néerlandaise de Louis-Dreyfus Armateurs. Ces deux bâtiments sont le « Fairmount Expedition » et le « Fairmount Glacier ».

Le BEA a également affrété auprès de l'IFREMER le navire océanographique « Pourquoi Pas ? » et ses moyens spécialisés d'exploration et d'intervention, le sous-marin « Nautile » et le robot « ROV Victor 6000 », pouvant intervenir jusqu'à six mille mètres de profondeur. Ces véhicules peuvent aussi réaliser une cartographie du site de l'accident.

Le « Pourquoi Pas ? » possède à son bord du matériel de détection acoustique :

- un Répéteur acoustique,
- un SMF (Sonar Multi Faisceaux) qui a été modifié pour fonctionner en mode passif,
- des hydrophones directionnels « ROV homer » adaptables sur les moyens d'intervention sous la mer.

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 1er 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 1er 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 1er 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 1er juin à partir de 2 h 10

Les messages reçus le 1er 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 :

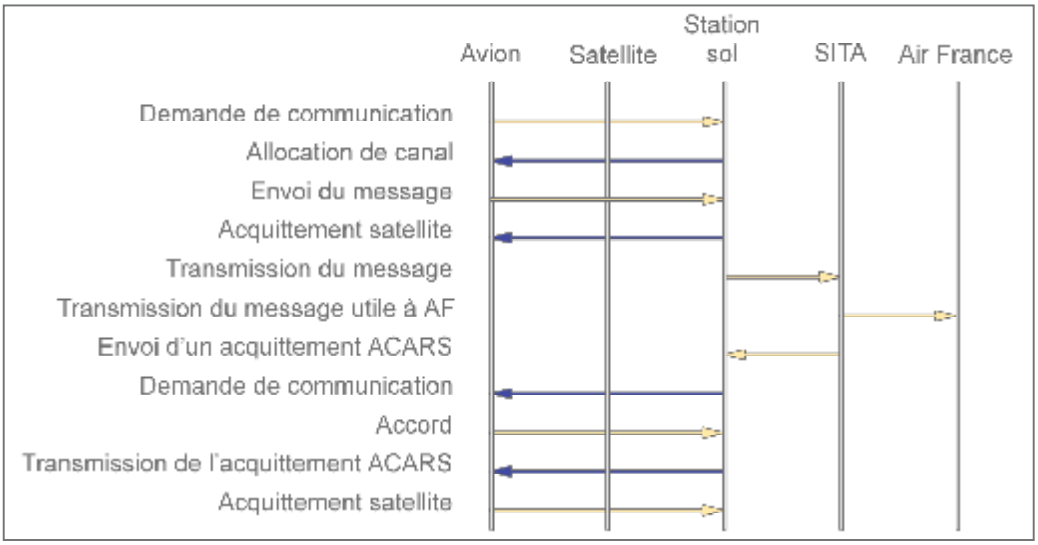
Heure de réception[17]	Message
02:10:10	- .1/WRN/WN0906010210 221002006AUTO FLT AP OFF
02:10:16	- .1/WRN/WN0906010210 226201006AUTO FLT REAC W/S DET FAULT
02:10:23	- .1/WRN/WN0906010210 279100506F/CTL ALTN LAW
02:10:29	- .1/WRN/WN0906010210 228300206FLAG ON CAPT PFD SPD LIMIT
02:10:41	- .1/WRN/WN0906010210 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 :

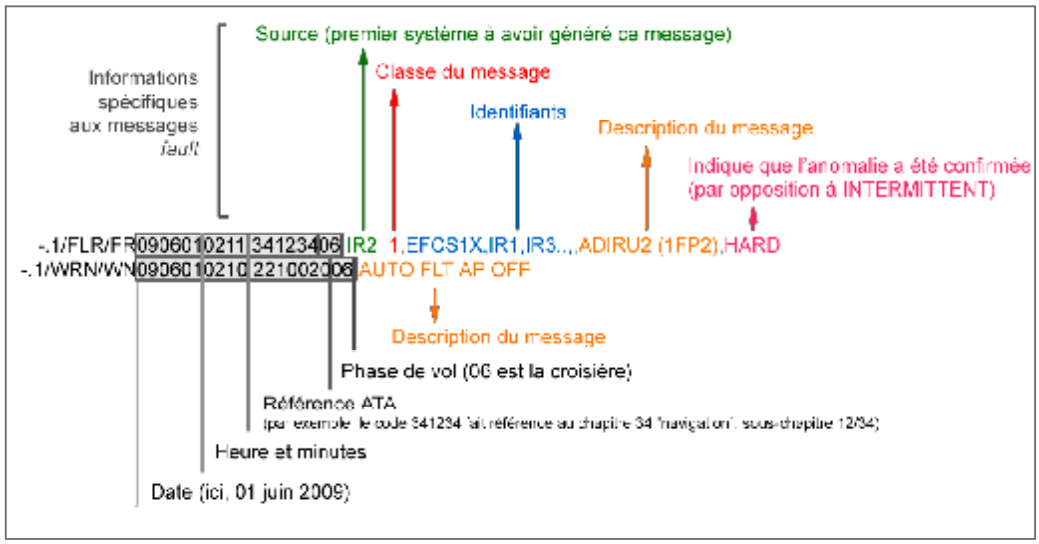
- un tel message n'est émis qu'une fois, à la première occurrence. Il ne peut indiquer que l'apparition d'une anomalie. Si l'anomalie disparaît, aucun message n'en fait état,
- certaines alarmes ayant trait à la configuration de l'avion telles que les alarmes de décrochage ou de survitesse ne sont pas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

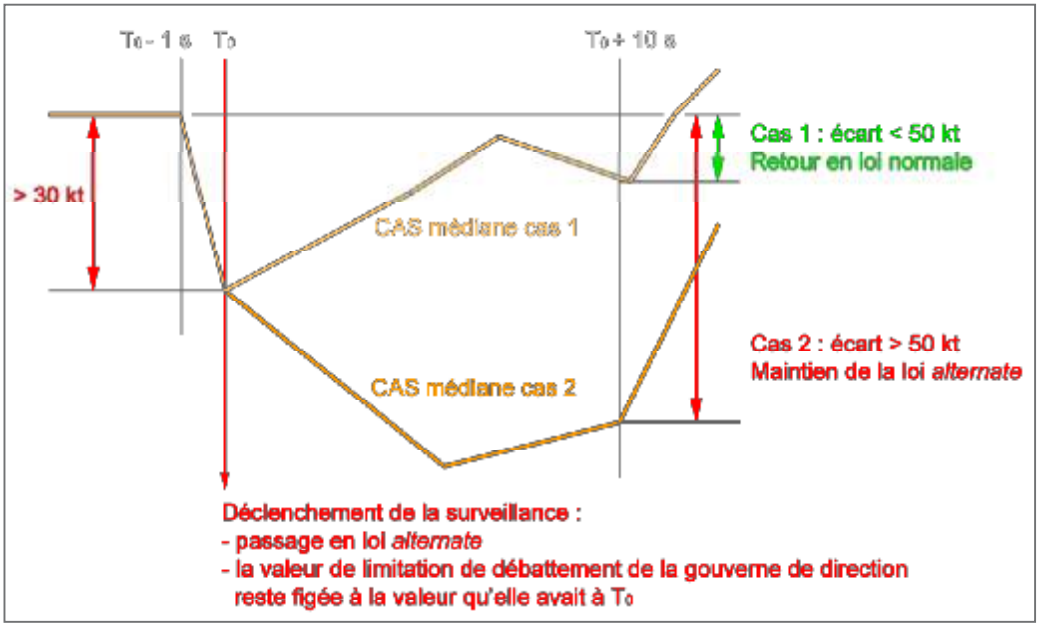
PROBE PITOT 1+2 / 2+3 / 1+3 (9DA) (02 h 10)

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 alternate 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 alternate 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 effect*s 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 (TEMSI, 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.

Préparation des dossiers de vol

La partie A du dossier de vol long-courrier est préparée à l'aide d'outils informatiques (MISTRAL, SAILOR, OCTAVE). Les données utilisées sont celles disponibles au moment de la préparation du dossier, entre sept et trois heures avant le départ programmé.

Les données suivantes sont prises en compte pour l'élaboration de la partie A :

- les charges estimées (fret et passagers),
- les données de masses et de consommation spécifiques à l'avion,
- les NOTAM (pour les restrictions en route et les zones dangereuses),
- les paramètres météorologiques utilisés dans l'outil de calcul du plan de vol exploitation (OCTAVE), mis à jour à 04 h et 16 h,
- les informations fournies par l'escale de départ pour le calcul de la limitation au décollage (piste en service, température, QNH, état de la piste) ainsi que les NOTAM de l'aérodrome de départ,
- les items MEL / CDL déclarés par les services de maintenance et pertinents pour cette partie,
- les TAF et les NOTAM pris en compte pour la détermination automatique de l'accessibilité des aérodromes de destination, de dégagement(s) et d'appui ETOPS,
- la ou les TEMSI utilisées pour la prise en compte éventuelle de phénomènes météorologiques significatifs.

L'envoi du plan de vol ATC vient clore cette préparation. Cet envoi déclenche l'élaboration automatisée des informations de la partie B du dossier. Le dossier de vol constitué par les parties A et B peut alors être imprimé, en particulier par l'escale. Pour certaines escales, en fonction des règlementations nationales, l'envoi du plan de vol par la compagnie n'entraîne pas son dépôt automatique, celui-ci devant être effectué localement. C'est le cas à Rio de Janeiro. Pour cette escale, le service central d'étude des vols envoie le plan de vol ATC aux services de la navigation aérienne brésilienne (à l'adresse SBGLYOYX) avec l'ensemble des adresses des centres de contrôle des FIR traversées renseignées en case 18 du plan de vol ATC. Ce dernier service dépose ensuite le plan de vol auprès de toutes les FIR concernées.

Cellule ATC

La cellule ATC suit les recalages horaires de l'ensemble de la flotte ainsi que la gestion des créneaux de décollage pour la zone Eurocontrol.

Dispatch

Les « dispatchers » assurent la fonction de suivi des vols à partir de trois heures avant le départ et jusqu'à l'arrivée de l'avion. Ils assurent le contact réglementaire avant l'entrée de l'avion en zone ETOPS. Ils répondent aux demandes formulées par les équipages au sol ou en vol. Ils suivent les évolutions de la météorologie et des NOTAM.

1.17.1.2 Départ des vols

L'agent qui assure la fonction « départ des vols » à l'escale constitue physiquement le dossier de vol qu'il remet à l'équipage. Il imprime les parties A et B environ trois heures avant le départ du vol et la partie C peu avant l'arrivée de l'équipage. Il constitue les liasses du dossier de vol et trace les routiers ETOPS pour les vols concernés.

Une fois le dossier de vol étudié par l'équipage, le commandant de bord signe la feuille « exemplaire PPV » en précisant la quantité de carburant et l'aérodrome de dégagement au décollage qu'il retient. Cet exemplaire est archivé à l'escale de départ. Pour les vols ETOPS, les prévisions météorologiques utilisées pour l'accessibilité des aérodromes d'appui retenus sont reportées sur ce même document.

1.17.1.3 Préparation du vol AF447 du 31 mai 2009

Préparation du vol par l'étude centrale des vols

Le vol a été préparé entre 15 h 28 et 18 h 59. Paris Orly figurait comme aéroport de dégagement à destination. Compte tenu de la charge prévisionnelle de 37,8 t, le dossier comportait un plan de vol principal au Mach standard de M 0,82 avec une ETF à Bordeaux Mérignac avec dégagement à Toulouse Blagnac ainsi que deux plans de vol complémentaires directs, l'un à Mach 0,82 et l'autre à « Mach ralenti », soit M 0,81. Un tableau récapitulatif des charges offertes permettait à l'équipage d'effectuer le choix du plan de vol définitif parmi ces trois options.

L'agent de préparation a envoyé le plan de vol ATC à 18 h 57. Il précise qu'il n'a noté aucune particularité durant la préparation de ce vol. Il n'y a pas eu d'intervention de la cellule ATC, le vol étant prévu à l'horaire programmé.

Préparation du vol à Rio

L'impression du dossier par l'agent du départ des vols a commencé à 19 h 02.

Le plan de vol ATC a été déposé à 19 h 12 par le service de la navigation aérienne brésilienne, auprès des organismes de contrôle de la circulation aérienne des régions survolées. On note que l'adresse du centre de contrôle de DAKAR (GOOO) ne fait pas partie du plan de vol ATC qui a été déposé par ce service. En revanche, cette adresse figure dans le plan de vol envoyé par Air France (voir annexe 6).

L'avion F-GZCP en provenance de Paris Charles de Gaulle est arrivé au poste de stationnement à 20 h 05, pour une arrivée prévue à 20 h. Le temps de transit minimum pour cette escale est de 115 minutes.

L'équipage de conduite du vol AF447 est arrivé dans le local de préparation des vols de l'escale vers 20 h.

L'agent du départ des vols lui a remis le dossier. L'équipage ne semblait pas préoccupé selon lui, aucun événement particulier n'a gêné la préparation du vol. Le « dispatch » n'a pas non plus souvenir d'un appel provenant de cet équipage lors de sa préparation du vol. Il n'y a pas eu de modification du dossier.

L'exemplaire PPV signé par le commandant de bord confirme un délestage prévu de 63,9 t pour un carburant embarqué de 70,9 t au bloc et un roulage prévu de 0,5 t (soit 70,4 t au décollage). L'étude des routes du dossier et des carburants associés figure en annexe 7. La politique d'emport carburant figure en annexe 8.

L'équipage a informé l'escale de Rio de son choix du vol direct à M 0,82.

L'autorisation de mise en route a été obtenue à 22 h 10.

Données météorologiques du dossier de vol

Les cartes météorologiques de la partie B sont imprimées en noir et blanc, avec la route tracée informatiquement. Les cartes suivantes ont été remises à l'équipage :

- la carte TEMSI valable le 1er juin à 00 h 00 entre les FL 250 et 630,
- les cartes de vent et de température valables le 1er juin à 00 h 00 aux FL100, FL180, FL300, FL340 et FL390,
- les cartes CAT valables le 1er juin à 00 h 00 aux FL340 et FL390 (aucune turbulence en ciel clair n'était prévue).

La partie C du dossier de vol contient les TAF et METAR des aérodromes de départ, de destination, des dégagements et des aérodromes pertinents sur la route, dont les aérodromes d'appui ETOPS ainsi que des SIGMET.

Un dossier ainsi constitué répond aux exigences réglementaires.

Les critères de sélection d'un SIGMET dans un dossier de vol via une application informatique (EOLE) sont :

1. la FIR concernée en regard de la route prévue,

2. la validité au moment de l'impression du chaînage.

Note : l'Annexe 3 à la Convention de l'Aviation Civile internationale ne pose aucune exigence relative à la sélection des SIGMET.

Selon les témoignages, la demande d'impression de la partie C du dossier de vol a été effectuée après l'impression des parties A et B du dossier et peu avant l'arrivée de l'équipage, c'est-à-dire entre 19 h et 20 h. L'heure de cette transaction n'est pas enregistrée. Dans cet intervalle de temps, les SIGMET qui satisfont les critères de sélection sont :

- SIGMET 5 SBRE (RECIFE) du 31 mai de 18 h 00 à 22 h 00
- SIGMET 7 SBAO (ATLANTICO) du 31 mai de 18 h 00 à 22 h 00
- SIGMET 7 GOOO (DAKAR Oceanic) du 31 mai de 16 h 35 à 20 h 35. La route du vol AF447 n'entre pas dans la zone de ce SIGMET.

Remarque : la réglementation EU-OPS stipule que l'exploitant doit s'assurer que les informations relatives au vol sont conservées au sol jusqu'à ce qu'elles aient été copiées et archivées. On entend par « informations relatives au vol » :

- la copie du plan de vol exploitation,
- la copie des parties pertinentes du compte rendu matériel de l'avion,
- les NOTAM concernant la route s'ils sont spécifiquement édités par l'exploitant,

- la documentation relative à la masse et au centrage,
- les notifications concernant les chargements spéciaux.

Les documents relatifs aux informations météorologiques fournies aux équipages ne sont pas soumis à cette exigence.

L'équipage avait également la possibilité, via EOLE, de consulter sur un écran couleurs et d'imprimer en noir et blanc d'autres cartes météorologiques (notamment la carte de tropopause et de givrage) et des photos satellites.

Note : sur le plan de vol OCTAVE de l'équipage figure une information supplémentaire de turbulence (SHEAR RATE) calculée en fonction du gradient de vent estimé, comprise entre 0/1/2, faible et 7/8/9, forte. Entre les points de report NTL et CVS la valeur la plus élevée est 2, aux environs du point INTOL. Cette valeur ne prend pas en compte les turbulences d'origine convective.

1.17.1.4 Suivi du vol

Les informations opérationnalles suivantes ont été échangées par ACARS :

- à 22 h 51 l'équipage demande et reçoit les METAR des aérodromes brésiliens de Belo Horizonte, Salvador de Bahia et Recife,
- à 0 h 31 le dispatch envoie le message suivant :
  « BONJOUR AF447
  METEO EN ROUTE SAILOR :
  - PHOTO SAT DE 0000Z : CONVECTION ZCIT SALPU/TASIL
  - PREVI CAT : NIL

  SLTS DISPATCH »,
- à 0 h 33 l'équipage demande et reçoit les METAR et TAF des aérodromes de Paris Charles de Gaulle, San Salvador et Sal, Amilcar.
- à 0 h 57 l'équipage se renseigne sur l'utilisation du deuxième aérodrome d'appui ETOPS et le dispatch répond à 1 h 02,
- à 1 h 13 l'équipage demande et reçoit les METAR et TAF de Dakar, Nouakchott et Natal,
- le contact bilatéral réglementaire avant de pénétrer en zone ETOPS (SALPU, estimé par l'équipage à 1 h 48) a lieu entre 1 h 17 et 1 h 19.

Note : l'équipage a la possibilité de demander des SIGMET par ACARS. Il n'a pas utilisé cette fonctionnalité.

1.17.2 Cycles de travail et de repos des personnels navigants

1.17.2.1 Références réglementaires

Les limitations de temps de vol et les exigences en matière de repos des équipages ont été harmonisées au niveau européen par l'EU-OPS (sous-partie Q de l'Annexe III). A la date du 1er juin 2009, la version applicable de l'EU-OPS est celle du Règlement 859/2008 de la Commission, en date du 20 août 2008 et modifiant le Règlement 3922/91.

Au plan national, ces dispositions ont été complétées par l'arrêté du 25 mars 2008, pris en application de l'EU-OPS, modifié par les arrêtés du 13 juin 2008 et du 9 juillet 2008.

L'objectif de la sous partie Q, garantir un repos suffisant à l'équipage pour assurer la sécurité des vols, est présenté à l'EU-OPS 1.1090. Pour satisfaire cet objectif, la sous partie Q introduit deux principes : le temps de service de vol et le repos minimum avant un service de vol (EU-OPS 1.1110). L'EU-OPS ne traite donc que des repos précédant une série de vols ; les repos suivant une série de vols sont considérés comme faisant partie du domaine social et sont, à ce titre, pris en compte, en France, par le Code de l'Aviation Civile et notamment ses articles D422-1 à 13.

1.17.2.2 Eléments de réglementation applicables au vol AF447

Pour un vol sans escale, le TSV quotidien[18], comprenant les tâches de préparation des vols, est limité à 13 heures. Dans le cas d'un vol de nuit (dans la phase supposée basse du rythme circadien) ce temps est réduit de deux heures au maximum en fonction de la période de la nuit considérée. Ce temps peut être prolongé jusqu'à 18 heures en renforçant l'équipage (trois PNT pour un avion certifié à deux pilotes) lorsque les membres de l'équipage de conduite disposent d'une facilité de repos séparée du poste de pilotage et isolée des passagers, constituée d'une couchette (ce qui était le cas à bord du F-GZCP).

Chaque membre de l'équipage de conduite doit pouvoir se reposer pendant au moins une heure et demie en continu au cours du TSV.

[18]Ce temps est compté depuis le moment où le membre d'équipage doit se présenter, à la demande d'un exploitant, pour un vol ou une série de vols et se termine à la fin du dernier vol au cours duquel le membre d'équipage est en fonction (cf. EU-OPS 1.1095 § 1.6)

1.17.2.3 Procédures d'Air France

Composition de l'équipage de conduite

Les accords d'entreprise organisent les limitations de temps de vol et de repos au sein de la compagnie Air France selon des exigences plus contraignantes que la réglementation en vigueur.

Dans ce cadre, le TSV maximum a été fixé à dix heures. Ce TSV peut être prolongé jusqu'à 16 h 30 en renforçant l'équipage. Le temps de vol peut être porté à 13 h 30.

Le TSV programmé du vol AF447 étant de 12 h 45, l'équipage de conduite avait été renforcé et porté à trois pilotes (un commandant de bord et deux copilotes).

Repos des membres d'équipage de conduite à bord

Sur les avions de type Airbus A330-203 exploités par Air France, un poste de repos destiné à l'équipage de conduite est installé derrière le poste de pilotage. Il comporte deux couchettes.

Les membres d'équipage en renfort sont présents au poste de pilotage et assurent une surveillance active du vol depuis le briefing départ jusqu'au FL200 et depuis le briefing arrivée jusqu'au poste de stationnement.

En dehors de ces phases de vol, chaque pilote doit pouvoir se reposer pendant au moins une heure et demie en continu au cours du temps de service de vol.

Les modalités de prise de repos des membres de l'équipage sont fixées par le commandant de bord.

Les procédures d'Air France prévoient qu'avant toute absence prolongée du poste de pilotage, le commandant de bord indique la nouvelle répartition des tâches. Il désigne le pilote qui le remplace. Il précise les conditions qui nécessiteraient son retour au poste de pilotage.

Note : les qualifications des membres de l'équipage de conduite du vol AF447 imposaient que lors du repos du commandant de bord, le copilote suppléant soit celui des deux qui était détenteur d'un ATPL. Les licences et qualifications des équipages n'apparaissent pas sur les dossiers de vol.

1.17.3 Consignes d'utilisation du radar météorologique de bord

Consignes opérationnelles (Manuel Généralités Opérations, Procédures en vol, Consignes générales – Préambule, § 6 Utilisation du radar de bord).

Les consignes générales d'Air France indiquent que la veille radar est obligatoire pendant tout le vol, sauf de jour, par bonne visibilité et sans nuage apparent. L'image radar doit être normalement affichée sur les deux ND. Le bon fonctionnement du radar est vérifié pendant le roulage.

Procédures normales d'Air France - Systèmes (TU 02.02.34.11-15)

Les Airbus A330 d'Air France sont équipés du radar Collins WXR700X. L'image radar est présentée sur les ND, superposée aux autres informations. Elle permet de détecter les précipitations sous forme liquide supérieures à 1 mm/h ainsi que la grêle humide. Ainsi, il est possible d'observer les systèmes nuageux composés de gouttes d'eau à partir d'une certaine dimension mais le radar ne permet pas la détection de particules sèches de glace, de grêle ou de neige dont le diamètre est inférieur à trois centimètres.

En utilisation, le faisceau radar a un angle d'ouverture étroit de 3,4° ce qui entraîne la nécessité de régler précisément le TILT (angle entre l'horizontale et le milieu du faisceau), notamment en fonction de la portée maximale sélectionnée au ND (RANGE) : 160 NM pour l'anticipation, 80 NM pour l'évitement.

Le réglage du gain (amplification du signal de retour) est normalement « calibré » (en position CAL) pour éviter la saturation. Cependant une sélection manuelle peut être effectuée.

Une fonction de détection de turbulence (pour les zones de précipitations sous forme liquide) est disponible (en position WX+T ou TURB) dans un rayon de 40 NM, quel que soit le RANGE choisi au ND.

En croisière au-dessus de 20 000 ft, un réglage du TILT légèrement vers le bas est recommandé pour que les échos sols n'apparaissent sur le ND qu'en limite des cercles de distance les plus éloignés.

Manuel Aéronautique Complémentaire (MAC) d'Air France

Le MAC n'est pas imposé par la réglementation. Il ne fait pas partie du Manuel d'exploitation. Il contient des informations permettant aux PNT d'actualiser et de maintenir leurs connaissances. Il contient un chapitre détaillé sur le radar météo, son utilisation et des illustrations d'échos caractéristiques de phénomènes dangereux.

1.17.4 Lettres d'accord entre organismes de la circulation aérienne

1.17.4.1 Lettre d'accord entre les centres de contrôle de DAKAR et d'ATLANTICO

Un protocole d'accord a été signé le 16 septembre 2008 entre les autorités brésiliennes et sénégalaises concernant les procédures de coordination entre les centres de contrôle de DAKAR et d'ATLANTICO. Il était en vigueur le jour de l'accident. Les points suivants, extraits de ce protocole, peuvent être notés :

Le secteur sortant doit transmettre au secteur recevant les heures estimées de passage de l'avion vingt minutes au moins avant l'heure du passage prévu au-dessus du point de transfert.

Toute révision de l'heure estimée de passage de l'avion au-dessus du point de transfert de l'avion supérieure à trois minutes doit faire l'objet d'une nouvelle coordination entre les secteurs sortant et recevant.

L'équipage de l'avion devra établir un contact avec le contrôleur du secteur recevant cinq minutes avant de passer au-dessus du point de transfert de contrôle. Ce contact ne constitue pas un transfert du contrôle de l'avion.

Lorsque le secteur recevant ne peut pas établir de contact avec l'équipage de l'avion dans les trois minutes suivant l'heure estimée de passage au-dessus du point de transfert, il doit informer le secteur sortant afin de prendre les mesures adéquates.

Sauf consignes particulières, les avions présents sur la voie aérienne UN 873 sont transférés entre DAKAR et ATLANTICO au point TASIL.

1.17.4.2 Lettre d'accord entre les centres de contrôle de DAKAR et de SAL

Des dispositions similaires à celles mentionnées en 1.17.4.1 concernant ATLANTICO et DAKAR sont décrites dans le protocole entre les centres de contrôle de DAKAR et de SAL. Toutefois il est à noter les différences suivantes :

L'équipage de l'avion doit établir un contact avec le contrôleur du secteur recevant (SAL) cinq minutes avant de passer au-dessus du point de transfert de contrôle. Cependant, pour les avions volant vers le nord et vers l'ouest, les équipages doivent contacter le secteur recevant dix minutes avant le point de transfert de contrôle pour obtenir un code transpondeur. Ce contact ne constitue pas un transfert du contrôle de l'avion.

Sauf consignes particulières, les avions présents sur la voie aérienne UN 873 sont transférés entre DAKAR et SAL au point POMAT.

1.17.4.3 Protocole d'accord sur les conditions de mise à la disposition du gouvernement sénégalais d'un avion français spécialisé SAR à Dakar

Les paragraphes qui suivent présentent certaines dispositions du protocole d'accord signé en 1966 entre les gouvernements français et sénégalais, toujours en vigueur.

Un avion spécialisé SAR est mis à la disposition du gouvernement sénégalais sur l'aérodrome de Dakar-Yoff. L'équipage français est complété avec des observateurs sénégalais.

L'avion mis à disposition est de type Breguet Atlantique[19], Falcon 200 Gardian, ou Falcon 50 SURMAR.

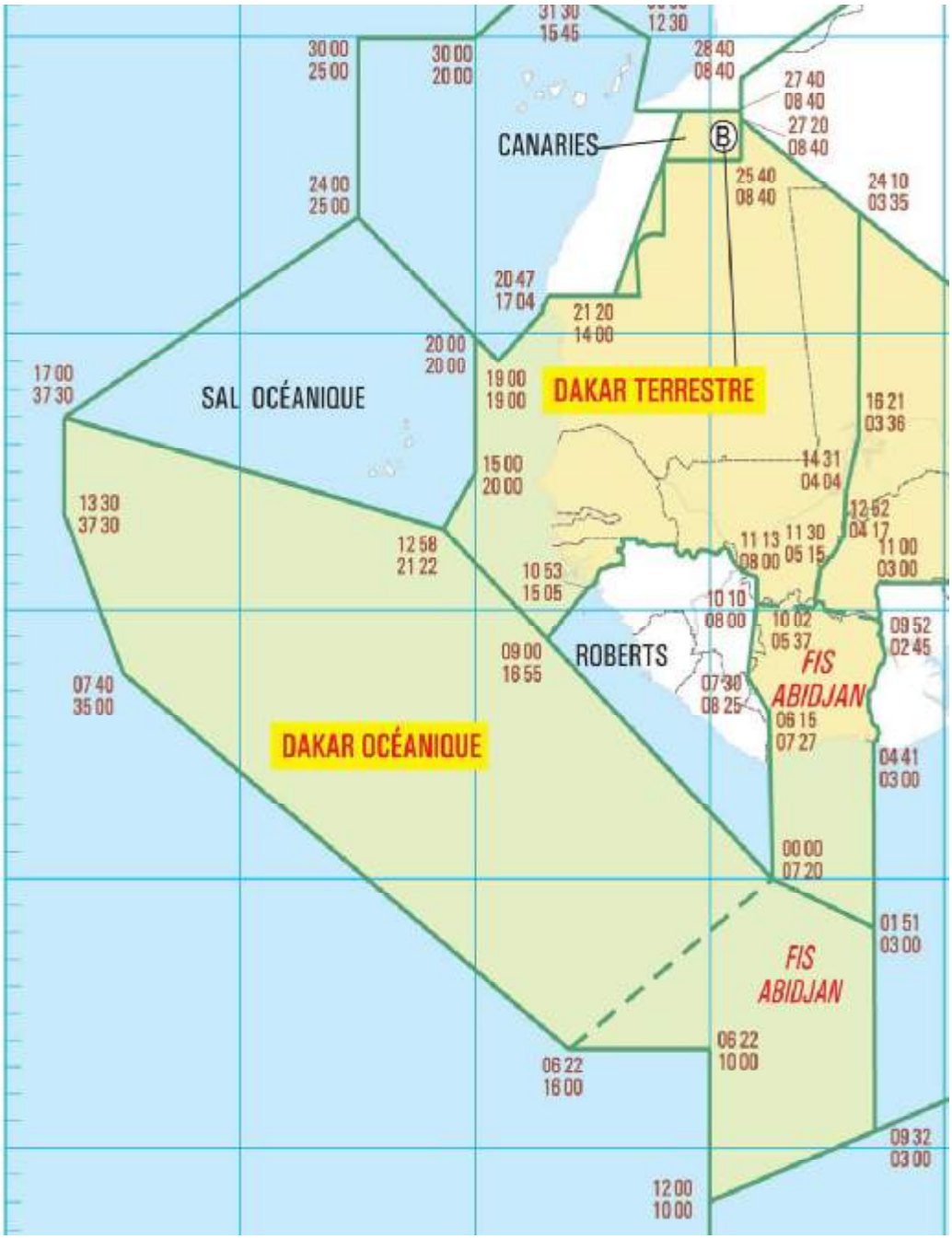
L'équipage est en alerte jour et nuit avec un préavis de trois heures. Si la mission prévue avec le Breguet Atlantique est supérieure à sept ou huit heures, un complément de plein de carburant doit être effectué et il doit être tenu compte d'un délai supplémentaire pour le décollage.

La mise en œuvre de l'avion pour une mission SAR se fait sur demande du Centre de Coordination SAR de l'Etat-major Général de Dakar.

La zone d'action de l'avion SAR comprend notamment les deux régions de recherches et de sauvetage de Dakar terrestre et de Dakar océanique.

La carte des FIR ci-dessous est extraite du Manuel d'exploitation du centre de contrôle de DAKAR.

[19] L'avion en réalité est un Dassault Atlantique 2, version modernisée du Breguet Atlantique.



1.17.5 Expérimentation de la mise en œuvre du système ADS-C à Dakar

Les paragraphes qui suivent présentent certaines dispositions de l'AIC NR 13/A/08GO du 30 octobre 2008 émise par le Sénégal.

Expérimentation

Dans le cadre de l'amélioration des services de contrôle rendus aux usagers, l'ASECNA a installé dans les centres de contrôle en route de Dakar et Niamey, un système de traitement automatique des données de vol (FPDS). La mise en œuvre opérationnelle des fonctionnalités du système doit s'effectuer en deux phases :

- la première phase, objet de la circulaire d'information aéronautique, consiste en une mise en œuvre pré-opérationnelle au moyen d'une utilisation opérationnelle à titre d'essai des fonctionnalités,
- la deuxième phase concerne la mise en œuvre opérationnelle définitive dont les dates doivent être publiées par NOTAM.

Le système est essentiellement composé des fonctionnalités suivantes :

- le traitement automatisé des plans de vol,
- l'affichage de la situation aérienne sur la base des données des plans de vol,
- la surveillance dépendante automatique,
- les communications sol-bord par liaison de données.

Le système inclut également des outils d'aide à la décision à l'usage du contrôleur, tels que la gestion automatisée des strips et la gestion des alertes systèmes.

Procédure de connexion dans la FIR de DAKAR (DAKAR terrestre et DAKAR océanique)

La première connexion avec le système est faite par l'équipage. Pour les vols entrant dans la Région de contrôle de DAKAR à partir d'une FIR non dotée de CPDLC le centre de contrôle de DAKAR demande la connexion vingt minutes au moins avant l'entrée dans la FIR de Dakar. Pour les vols entrant à partir d'une FIR dotée de CPDLC, la première connexion doit intervenir cinq minutes avant l'entrée dans la FIR de DAKAR.

La mise en service pré-opérationnelle du système est effective depuis le 1er novembre 2008 à 00 h 01. Le NOTAM A0 115-09 a prolongé la période pré-opérationnelle jusqu'au 29 juillet 2009.

1.18 Renseignements supplémentaires

1.18.1 Evénements associés à des indications erronées de vitesse air

Le BEA a demandé à Airbus, au NTSB, à l'IATA, à la DGAC et aux différents exploitants français les informations relatives aux incidents en croisière au cours desquels une perte ou une incohérence des indications de vitesse ont été observés. La collecte se poursuit et l'exploitation des données déjà reçues est en cours. Toutefois, cette exploitation est délicate en raison des différences de nature entre les données des enregistreurs de vol et les messages PFR.

1.18.2 Bref historique des sondes Pitot sur les Airbus A330 / A340

Les conditions d'évolution des sondes qui équipent les Airbus A330/A340 sont en cours d'examen par les enquêteurs.

En 2001, à la suite de problèmes d'incohérence de vitesse, il avait été décidé de remplacer, avant le 31 décembre 2003, les sondes Rosemount qui équipaient alors les Airbus A330 par des sondes BF Goodrich 0851 HL ou des sondes Thalès C16195AA[20].

[20] C'est ce type de sondes, alors produites par Sextant, qui équipait les avions d'Air France à la date de l'événement.

Des bulletins de service, émis en 2007 puis révisés en 2008, avaient recommandé le remplacement sur Airbus A330/A340 des sondes C16195AA par des sondes C16195BA.

A la date de l'accident, la flotte des Airbus A330/A340 étaient ainsi équipée de trois standards de sondes Pitot :

- des sondes BF Goodrich Aerospace de type 0851 HL,
- des sondes Thales Avionics de types C16195AA et C16195BA.

Il convient de noter que l'amélioration que pouvait apporter le changement de standard sur les cas d'incohérence de vitesse rencontrées en croisière n'avait pas été formellement établie.

En février 2009, Thales réalisait à la demande d'Airbus une étude comparative du comportement dans des conditions givrantes à haute altitude des deux standards C16195AA et C16195BA. Cette étude concluait à un meilleur comportement du standard C16195BA, sans qu'il soit toutefois possible de reproduire, au sol, l'ensemble des conditions pouvant être rencontrées en croisière.

Fin avril 2009, Air France décidait de lancer, sur proposition d'Airbus, une évaluation en service du standard C16195BA sur la flotte Airbus A330. Le premier lot de sondes C16195BA avait été reçu une semaine avant l'accident du F-GZCP.

1.18.3 Témoignages d'équipages en vol à proximité de la zone de l'accident

Pour préciser l'environnement du vol AF447, le BEA a établi la liste des vols à proximité de la voie aérienne UN 873 dans la nuit du 31 mai au 1er juin 2009 et a demandé le témoignage des équipages ; les éléments demandés n'ont pas encore tous été reçus. Les témoignages résumés ci-après sont représentatifs de l'information déjà traitée.

VOL IB6024

Le vol IB6024 (Airbus A340) passe au niveau du point ORARO au FL370 environ douze minutes après l'AF447.

L'équipage avait vu décoller l'AF447 lors du roulage à Rio de Janeiro. En passant le point INTOL, il rencontre des conditions typiques de la zone de convergence intertropicale. Ces conditions sont particulièrement fortes de 70 NM à 30 NM avant le point TASIL. Il s'écarte de sa route d'environ 30 NM vers l'est afin d'éviter des formations de cumulonimbus à fort développement vertical puis la rejoint, en ciel clair, à proximité du point TASIL. L'équipage a eu des difficultés à communiquer avec le contrôle de Dakar.

VOL AF459

Le vol AF459 (Airbus A330-203) passe au niveau du point ORARO environ 37 minutes après l'AF447. Le ciel est clair mais la demi-lune, visible vers l'arrière gauche de l'avion, ne permet pas de voir distinctement le contour des masses nuageuses. Après avoir traversé une zone de turbulences dans une tête de

cumulus congestus au niveau de NATAL, sans avoir détecté cette zone au radar, le commandant de bord sélectionne le gain sur MAX. Vers 2 h 00, il observe un premier écho, significativement différent selon que le gain du radar est réglé en mode CAL ou MAX. Le TILT est réglé entre -1° et -1,5°. Il décide un évitement par l'ouest, ce qui entraîne une déviation de 20 NM à gauche de la route. Au cours de cet évitement, apparaît sur l'écran, réglé sur une échelle de 160 NM, une vaste ligne de grains d'environ 150 NM. Les échos sont de couleurs jaune et rouge lorsque le radar est réglé avec le gain sur la position MAX et de couleurs verte et jaune lorsque le gain est sur la position CAL. Aucun éclair n'est observé.

Le contrôle d'ATLANTICO, informé par l'équipage de sa décision d'évitement de cette ligne de grain par l'est, lui demande de revenir sur la route aérienne quand il le peut. Cet évitement amène l'avion à passer entre 70 et 80 NM à droite de la route prévue. L'équipage est par ailleurs autorisé à monter du FL350 au FL370.

En quittant la FIR ATLANTICO, au travers du point TASIL, l'équipage essaie en vain de contacter le contrôle de Dakar en HF sur les fréquences 5565 KHz et 6535 KHz, ainsi que sur les autres fréquences HF indiquées dans la documentation de bord. De même, la tentative de connexion ADS-C s'avère infructueuse.

L'équipage rejoint la route aérienne vers le point ASEBA, soit plus de 28 minutes après le premier contact théorique avec le contrôle de Dakar. Il rencontre des faibles turbulences en bordure de zone convective.

Le contact radio est établi avec le contrôle de Dakar vers 3 h 45, à proximité du point SAGMA. L'essai SELCAL est effectué et le contrôleur demande à l'équipage d'essayer de contacter l'AF447. Plusieurs tentatives sont effectuées sur différentes fréquences HF, puis sur 121,5 MHz et 123,45 MHz, sans succès.

VOL LH507

Le vol LH507 (B747-400) précède d'environ vingt minutes le vol AF447 au FL350.

L'équipage évolue à la limite supérieure de la couche nuageuse puis dans les nuages dans la région d'ORARO. Dans cette zone, il visualise des échos verts au radar sur la trajectoire, qu'il évite par une altération de route d'une dizaine de milles marins par l'ouest. Lors de la traversée de cette zone, qui dure environ quinze minutes, il ressent des turbulences modérées et n'observe pas d'éclair. Il réduit la vitesse jusqu'à la vitesse recommandée en zone de turbulence. Il aperçoit de forts feux de Saint-Elme sur le pare brise côté gauche. L'équipage a veillé la fréquence 121,5 MHz durant tout le vol ; il n'a pas entendu de message de l'AF447.

1.18.4 Procédures en cas de détection d'une indication douteuse de vitesse

A la date de l'événement, les procédures de l'exploitant mentionnent que les actions suivantes doivent être accomplies de mémoire par l'équipage lorsqu'il doute d'une indication de vitesse et si la conduite du vol est « affectée dangereusement » :

IAS DOUTEUSE

SI CONDUITE DU VOL AFFECTEE DANGEREUSEMENT,
le CDB annonce "IAS DOUTEUSE", effectuer les actions immédiates suivantes :

PF AP. . . . . OFF
C/P FD 1 et 2 . . . . . OFF
PF A/THR. . . . . OFF
PF POUSSEE / ASSIETTE . . . . . AFFICHEES

➤ Avant la réduction de poussée :
- POUSSEE / ASSIETTE. . . . . TOGA / 15°

➤ Après la réduction de poussée :
. . . . . .

o Au dessous du FL 100
- POUSSEE / ASSIETTE . . . . . CLB / 10°

o Au dessus du FL 100
- POUSSEE / ASSIETTE . . . . . CLB / 5°

PNF VOLETS . . . . . CONFIG MAINTENUE
PNF SPEED BRAKES . . . . . VERIFIES RENTRES
PNF TRAIN. . . . . RENTRE

Respecter les alarmes décrochage.
LORSQUE LA TRAJECTOIRE EST STABILISEE,
Se référer à la procédure URGENCE / SECOURS non ECAM "VOL AVEC IAS DOUTEUSE / ADR CHECK PROC" (QRH 1.34.xx ou TU 03.02.34.1XX).

Si la conduite du vol ne semble pas dangereusement affectée ou lorsque la trajectoire est stabilisée, l'équipage doit effectuer la procédure VOL AVEC IAS DOUTEUSE / ADR CHECK (voir annexe 9).

A titre d'information, ci-après figure le « Memory Item » du QRH Airbus pour la même anomalie, dans sa version en vigueur à la date de l'événement.

UNRELIABLE SPEED INDICATION/ADR CHECK PROC

● **If the safe conduct of the flight is impacted :**

MEMORY ITEMS
– AP/FD . . . . . OFF
– A/THR . . . . . OFF
– PITCH/THRUST :
  • Below THRUST RED ALT . . . . . 15°/TOGA
  • Above THRUST RED ALT and Below FL 100 . . . . . 10°/CLB
  • Above THRUST RED ALT and Above FL 100 . . . . . 5°/CLB
– FLAPS . . . . . Maintain current CONFIG
– SPEEDBRAKES . . . . . Check retracted
– L/G . . . . . UP

● **When at, or above MSA or Circuit Altitude :**
– Level off for troubleshooting

2 - PREMIERS FAITS ÉTABLIS

Sur la base des premiers éléments rassemblés au cours de l'enquête, les faits suivants ont été établis :

- l'équipage détenait les licences et qualifications nécessaires pour effectuer le vol,
- l'avion avait un certificat de navigabilité en état de validité ; il était entretenu conformément à la réglementation,
- l'avion avait décollé de Rio de Janeiro sans problème technique connu, sauf sur un des trois panneaux de gestion de la radio,
- aucun problème n'a été signalé par l'équipage à Air France ou lors de ses contacts avec les contrôleurs brésiliens,
- aucun message de détresse n'a été reçu par les centres de contrôle ou par d'autres avions,
- il n'y a pas eu de communications téléphoniques par satellite entre l'avion et le sol,
- le dernier échange radio entre l'équipage et le contrôle brésilien a eu lieu à 1 h 35 min 15. L'avion arrivait en limite de portée radar des centres de contrôle brésiliens,
- à 2 h 01, l'équipage a essayé, sans succès pour la troisième fois, de se connecter au système ADS-C du contrôle de Dakar,
- jusqu'au dernier point de position automatique, reçu à 2 h 10 min 34, le vol s'est déroulé sur la route prévue dans le plan de vol,
- la situation météorologique était conforme à celle que l'on rencontre au mois de juin dans la zone de convergence intertropicale,
- il existait un amas de cumulonimbus puissants sur la route de l'AF 447. Certains d'entre eux pouvaient être le siège d'une turbulence marquée,
- plusieurs avions qui ont évolué avant et après le vol AF 447, sensiblement à la même altitude, ont altéré leur route pour éviter des masses nuageuses,
- vingt-quatre messages automatiques de maintenance ont été reçus entre 2 h 10 et 2 h 15 via le système ACARS. Il ressort de ces messages une incohérence des vitesses mesurées ainsi que les conséquences associées,
- avant 2 h 10, aucun message de maintenance n'a été reçu du vol AF 447, à l'exception de deux messages relatifs à la configuration des toilettes,
- les procédures de l'exploitant et du constructeur mentionnent les actions à accomplir par l'équipage lorsqu'il doute des indications de vitesse,
- le dernier message ACARS a été reçu vers 2 h 14 min 28,
- il n'y a pas eu de transfert du vol entre les centres de contrôle brésilien et sénégalais,

- entre 8 h et 8 h 30, les premiers messages de déclenchement d'alerte ont été émis par les centres de contrôle de Madrid et de Brest,
- les premiers corps et éléments de l'avion ont été retrouvés le 6 juin,
- les éléments identifiés proviennent de l'ensemble des zones de l'avion,
- leur examen visuel montre que l'avion n'a pas été détruit en vol ; il paraît avoir heurté la surface de l'eau en ligne de vol, avec une forte accélération verticale.

LISTE DES ANNEXES

annexe 1
Etude météorologique réalisée par Météo France

annexe 2
Carte TEMSI AMERIQUE SUD du 1er juin à 00 h 00 entre les FL 250 et 630

annexe 3
Transcription de radiocommunications relatives au vol AF447

annexe 4
Chronologie de la récupération des corps et éléments de l'avion

annexe 5
Référence des procédures associées à certains messages ECAM

annexe 6
Plan de vol ATC fourni par Air France

annexe 7
Etude des routes du dossier et des carburants associés

annexe 8
Extrait du manuel d'Air France relatif à la politique d'emport carburant

annexe 9
Procédure VOL AVEC IAS DOUTEUSE / ADR CHECK

annexe 1
Etude météorologique réalisée par Météo France

Situation météorologique dans l'Atlantique Tropical le 1er juin 2009

1. Situation générale

1.1. A la surface de l'océan

1.2. Champ de vent de basses couches et à moyenne altitude

1.3. Champ de vent en altitude

1.4. Evaluation de la tropopause

2. Description de la Zone de Convergence InterTropicale le 1er juin 2009

2.1. Position de la Zone de Convergence Intertropicale

2.2. Activité orageuse dans la ZCIT caractérisée par l'imagerie infrarouge Météosat 9

2.2.1. Phénoménologie : cumulonimbus et phénomènes associés, amas orageux
2.2.2. Apports et limites de l'imagerie infrarouge géostationnaire
2.2.3. Analyse de l'activité orageuse dans la ZCIT sur quatre jours (du 30 mai au 3 juin 2009)

2.3. Analyse de l'amas situé sur la trajectoire prévue

2.3.1. Evolution observée entre 00 h 00 et 3 h 00
2.3.2. Analyse détaillée de l'image prise à 2 h 07
2.3.3. Analyse basée sur le traitement "Rapid Developing Thunderstorm"
2.3.4. Synthèse

2.4. Observations d'un appareil équipé du système AMDAR

3. Conclusions sur l'analyse de la situation météorologique

1. Situation Générale

L'analyse de la situation à grande échelle dans l'Atlantique Tropical s'appuie sur les cartes de pression et de vent produites par les modèles globaux de prévision numérique du temps, à partir de l'ensemble des observations disponibles en temps réel.

1.1 A la surface de l'océan

L'analyse du champ de pression établie pour le 1er juin 2009 à 00 h00 à l'aide du modèle global ARPEGE de Météo-France, montre la présence d'un marais barométrique au niveau de la mer, caractérisé par des gradients de pression de l'ordre de 1 hPa pour 1 000 km, ce qui est conforme aux valeurs habituelles du point de vue climatologique dans la Zone de Convergence Intertropicale (ZCIT). Le champ de vent superposé aux pressions au niveau de la mer (voir figure 1) confirme l'absence de dynamisme synoptique pour toute la zone comprise entre 0 et 10 degrés Nord.

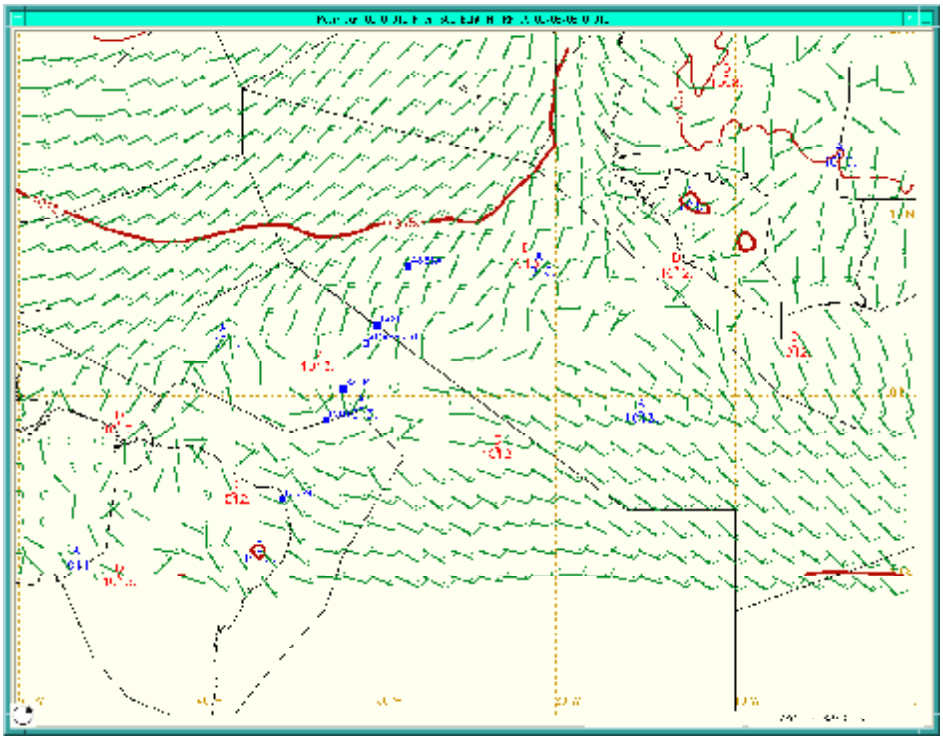


Figure 1: analyse du vent à 10m et de la pression
au niveau de la mer le 01/06/2009 à 00h (modèle ARPEGE)

Cependant, même en présence de vents relativement faibles, la ZCIT, qui correspond à l'« équateur météorologique », est le lieu d'une convergence, qui se produit dans les 1 000 premiers mètres de l'atmosphère, entre les alizés de l'hémisphère nord soufflant du nord-est et les alizés de l'hémisphère sud soufflant du sud est. Cette convergence entraîne des ascendances qui, en atmosphère instable, favorisent le développement de cumulonimbus puissants alimentés en vapeur d'eau par les échanges avec la surface de l'océan.

Les modèles globaux ne permettent pas d'appréhender directement ces phénomènes orageux et les structures de petites échelles associées, dont le cycle de vie est de quelques heures.

1.2 Champ de vent de basses couches et à moyenne altitude

L'analyse des champs de vent du modèle ARPEGE (voir figure 2) jusqu'à la surface isobare 500 hPa (correspondant environ au FL180) montre que les vents rencontrés dans la zone sont faibles - inférieurs à 20 nœuds - et de secteur est à sud-est.

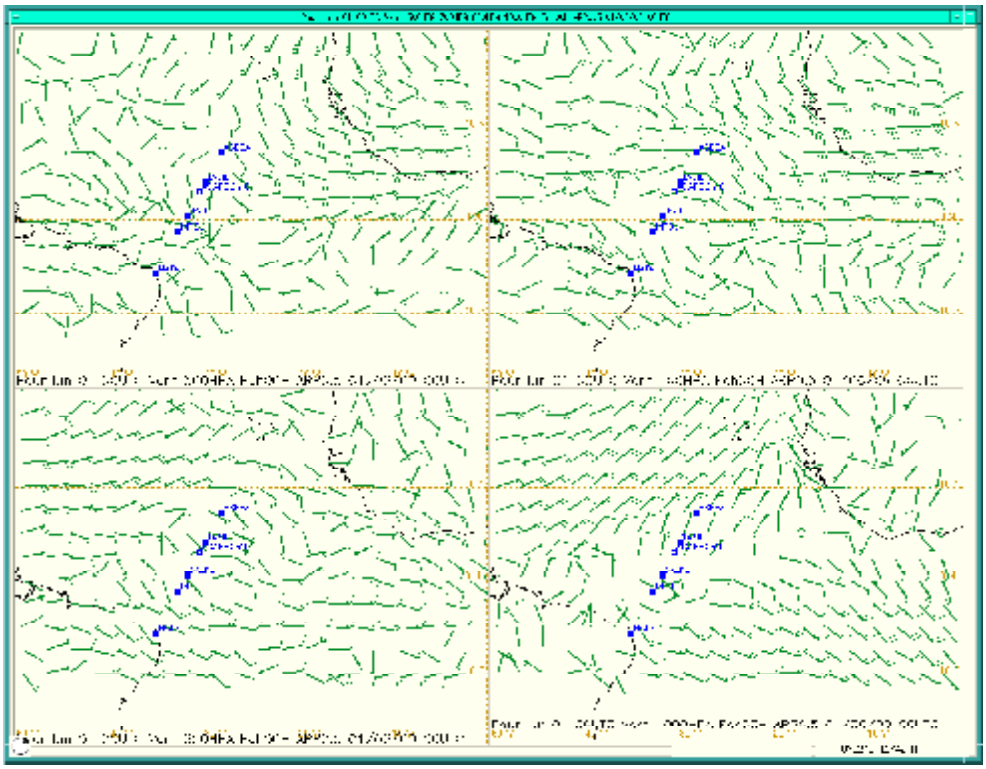


Figure 2 : analyses du champ de vent
à 1 000, 850, 700 et 500 hPa le 01/06/2009 à 00 h 00 (modèle ARPEGE)

1.3 Champ de vent en altitude

Au dessus du FL180, les vents sont de secteur nord et demeurent faibles, inférieurs à 20 nœuds entre 10° sud et 10° nord (voir les cartes ci-dessous pour les FL300, 340 et 390).

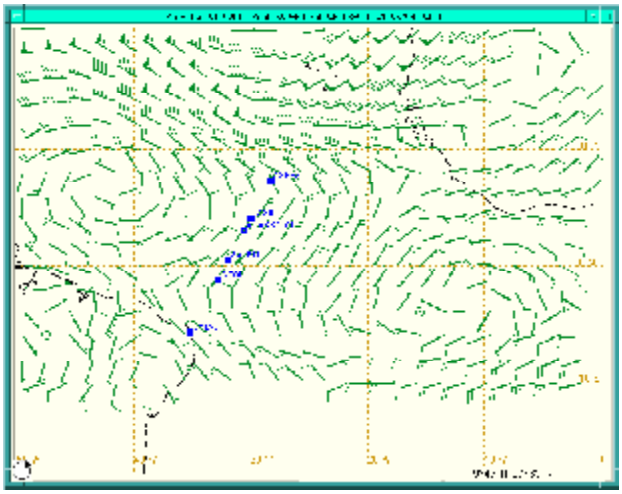


Figure 3: analyse du champ de vent
à 300 hPa (FL300) le 01/06/2009 00 h 00 par (modèle ARPEGE)

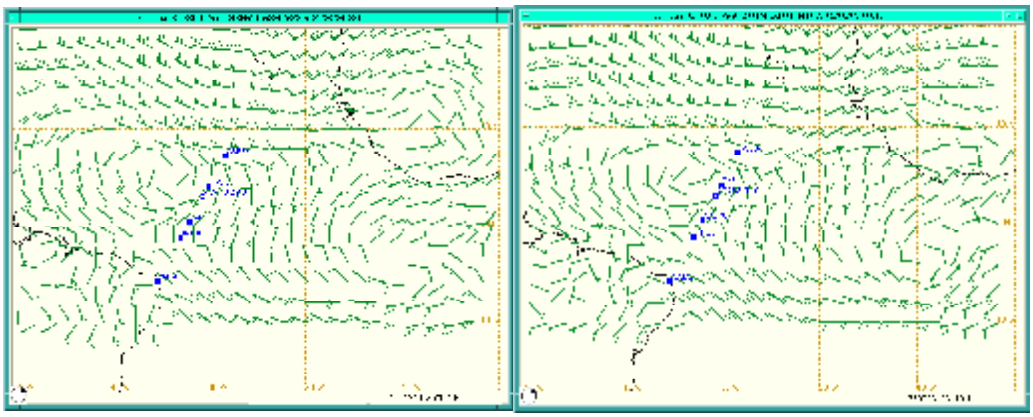


Figure 4 : analyse du champ vent
à 250 hPa (FL340) et 200 hPa (FL390) le 01/06/09 à 00h (modèle ARPEGE)

1.4 Evaluation de la tropopause

Les champs de température et de hauteur (exprimée en niveau de vol) de la tropopause analysés par le modèle ARPEGE montrent que, dans la zone ouest de l'Atlantique équatorial, la température de la tropopause est de l'ordre de -80 °C et que son altitude est voisine du FL520 (figure 5).

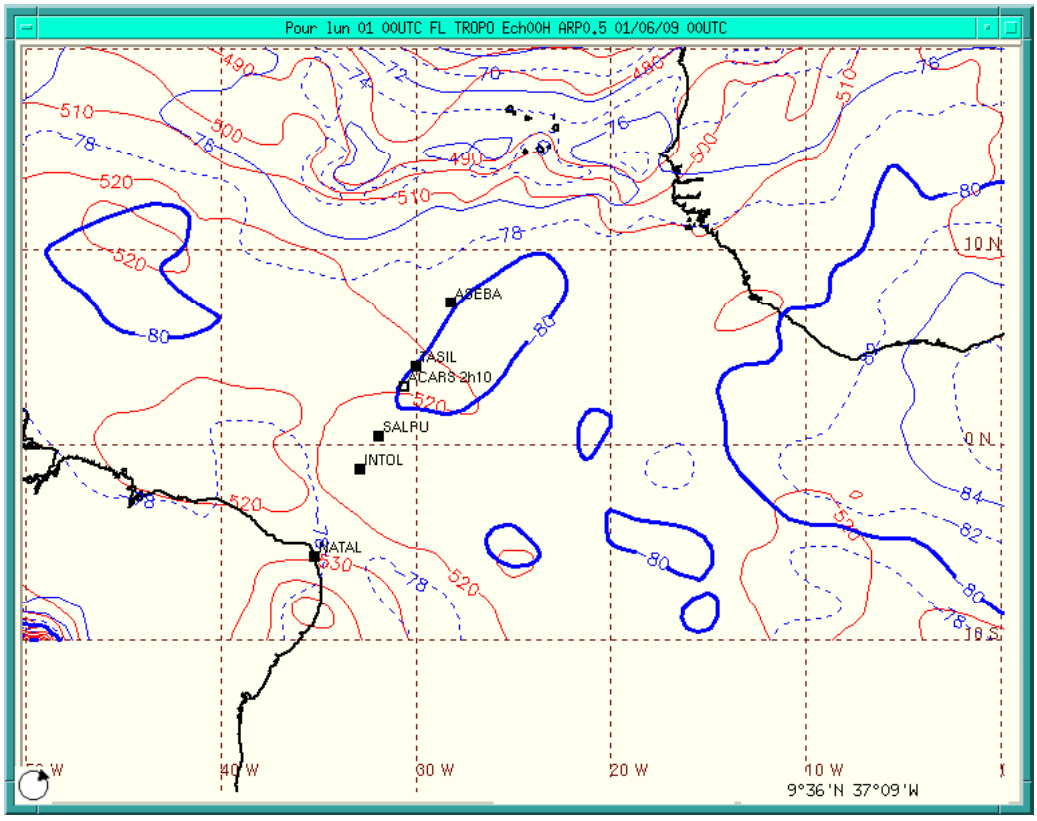


Figure 5 : analyse des champs de température et de hauteur
(exprimée en niveau de vol) de la tropopause le 01/06:09 à 00 h 00 (modèle ARPEGE)

2.Description de la Zone de Convergence InterTropicale le 1er juin 2009

2.1 Position de la Zone de Convergence Intertropicale

La Figure 6 montre la superposition de l'image infrarouge Météosat 9 datée du 1er juin 2009 à 2 h 15 et des positions climatologiques de la ZCIT. Les lignes colorées correspondent aux positions moyennes de la ZCIT en hiver et en été boréals, celle-ci s'étendant de part et d'autre de ces lignes, de façon plus ou moins régulière.

Cette figure montre que la partie de la ZCIT entre le Brésil et l'Atlantique ouest correspond à une position d'intersaison.

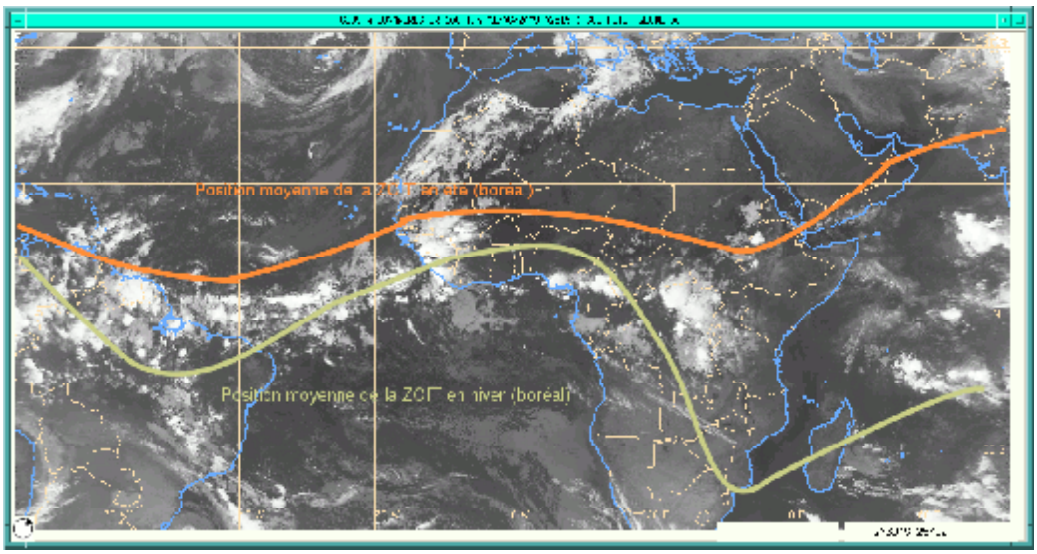


Figure 6 : image infrarouge Météosat 9 datée du 01/06/2009 à 2 h 15
et positions climatologiques moyennes de la Zone de Convergence Inter Tropicale

2.2 Activité orageuse dans la ZCIT caractérisée par l'imagerie infrarouge Météosat 9

2.2.1 Phénoménologie : cumulonimbus et phénomènes associés, amas orageux

Le développement vertical des cumulonimbus est généralement limité par la tropopause, dont l'altitude se situe entre 15 et 18 km dans la ZCIT. Lorsque le sommet d'un cumulonimbus atteint l'altitude de la tropopause, dans sa phase de maturité, la partie supérieure du nuage s'étale horizontalement au niveau de la tropopause pour former des « enclumes » qui surplombent alors la « tour » du nuage.

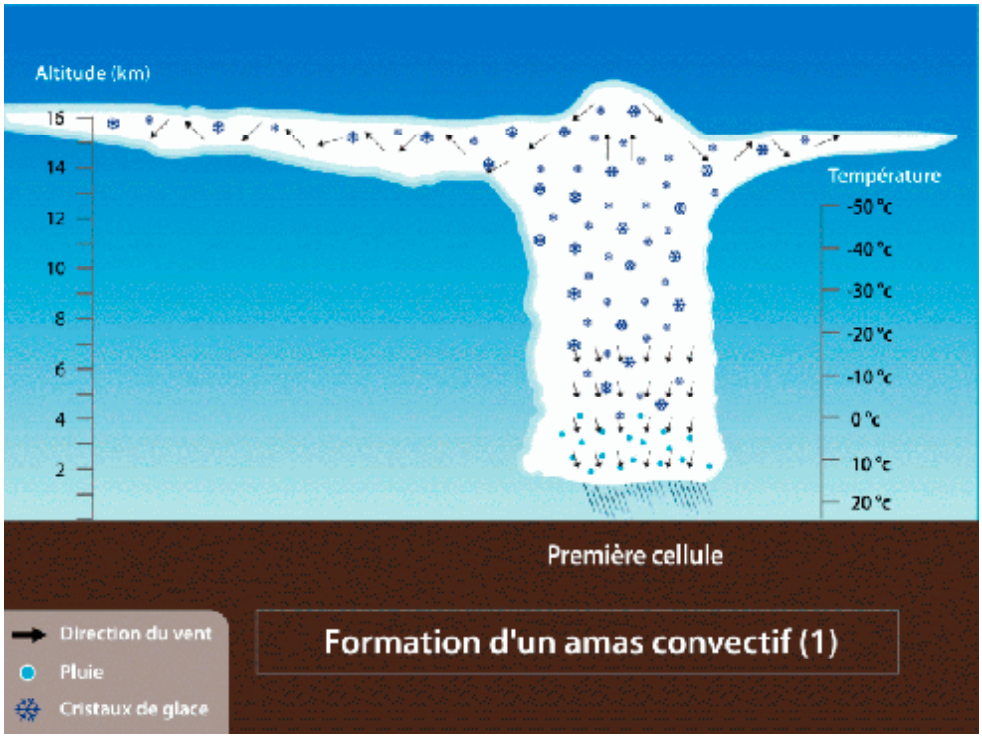
L'air qui alimente un cumulonimbus se détend et se refroidit en montant, et à un certain niveau d'altitude, lorsque le sommet du nuage se rapproche de la tropopause, il devient plus froid que son environnement, et subit une poussée d'Archimède vers le bas qui ralentit puis stoppe son développement vertical. Par effet d'inertie, les nuages les plus puissants pénètrent temporairement au-delà de la tropopause et leurs sommets sont alors beaucoup plus froids que leur environnement : c'est ce phénomène dit « d'overshoot », visible sur les images infrarouges, qui permet de caractériser les nuages les plus puissants.

Les mouvements verticaux les plus puissants sont observés dans la « tour » du cumulonimbus et dans sa phase de croissance rapide, c'est-à-dire avant que le sommet atteigne la tropopause et que l'enclume se forme. Les vitesses ascendantes peuvent alors atteindre 110 km/h et les vitesses descendantes 50 km/h. La vitesse verticale peut ainsi varier très rapidement à l'intérieur du cumulonimbus lors de la traversée de sa « tour » : des variations de plus de 70 km/h en l'espace de 2 km ont parfois été observées. Cette turbulence intense peut intervenir au niveau de vol des avions de ligne et constitue un danger pour eux.

Les conditions les plus favorables au givrage (présence d'eau surfondue) se situent généralement dans la partie médiane inférieure de la « tour » du cumulonimbus, dans une tranche d'altitude où les températures sont comprises entre 0 et -25 °C. Toutefois, des conditions de givrage peuvent subsister jusqu'à -40 °C voire moins, c'est-à-dire environ jusqu'au niveau de vol FL350, mais on rencontre plutôt des cristaux de glace de petite taille à cette altitude.

L'activité électrique peut être forte, avec la possibilité d'apparition de foudre dans les phases de croissance ou de maturité d'un cumulonimbus, à n'importe quelle altitude. La foudre peut apparaître entre le nuage et le sol, au sein d'un même nuage ou entre deux nuages, mais l'observation de satellites scientifiques montre qu'elle est beaucoup moins fréquente sur la mer que sur la terre.

Les cumulonimbus peuvent s'agréger pour former des amas orageux ou amas convectifs. Le schéma conceptuel ci-après illustre ce type de situation.



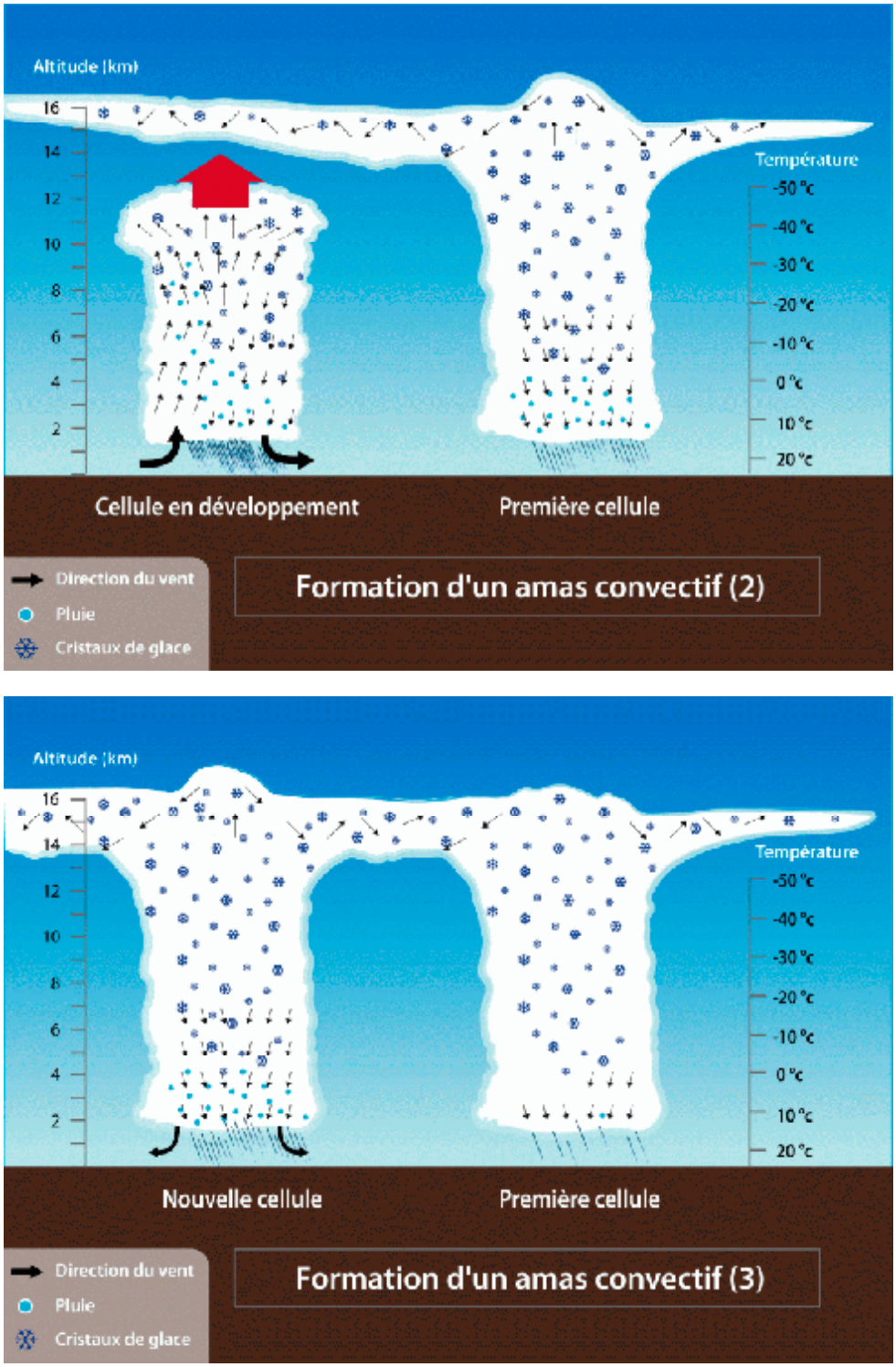


Figure 7 : schéma conceptuel de la formation d'un amas orageux (convectif)

Dans la ZCIT, le niveau de vol de croisière des avions de ligne se situe en dessous de l'altitude des « enclumes » des cumulonimbus.

2.2.2 Apports et limites de l'imagerie infrarouge géostationnaire

Les images infrarouges prises par des satellites géostationnaires constituent, sur l'Atlantique tropical, la principale source d'information pour apprécier l'évolution des systèmes orageux dans le temps et dans l'espace.

En effet, les images prises toutes les quinze minutes par Météosat 9 dans le spectre de rayonnement infrarouge, à 10,8 µm, avec une résolution de l'ordre de 3 km sur la zone, permettent d'évaluer[1] la température du sommet des nuages dont on peut déduire l'altitude de sommet. Parce que plus un cumulonimbus est puissant, plus l'altitude de son sommet est élevée et plus sa température de sommet est froide, l'imagerie infrarouge permet dans une certaine mesure d'apprécier la puissance des cumulonimbus, et de caractériser l'extension spatiale, la structure et l'évolution des amas qu'ils forment. L'imagerie peut également permettre d'identifier les cumulonimbus les plus remarquables, par la signature thermique des phénomènes d' « overshoot » qui leur sont associés.

[1]Voir le site de Météo-France http://comprendre.meteofrance.com/pedagogique/dossiers/science_et_techniques/les_satellites_meteorologiques?page_id=2802 pour des précisions sur l'exploitation des images satellites.

Toutefois, l'imagerie infrarouge à des limitations importantes : le satellite n'observe que « par le haut » une masse nuageuse dense qui peut résulter de la juxtaposition des « enclumes » de plusieurs cumulonimbus organisés en amas. *Par conséquent, ces images ne permettent pas d'observer directement les conditions météorologiques au niveau de vol situé sous les enclumes des cumulonimbus, dans la ZCIT*. En particulier, les « tours » de cumulonimbus en phase de croissance rapide qui pourraient produire les turbulences les plus dangereuses peuvent être masquées par les enclumes de nuages plus anciens. Toutefois, à l'issue de leur phase de croissance rapide, les sommets des cumulonimbus les plus puissants atteignent l'altitude de la tropopause et la dépassent temporairement, si bien qu'ils peuvent généralement être identifiés, a posteriori, par l'imagerie infrarouge grâce à la signature locale très froide de leurs sommets.

Les images Météosat 9 complètes sont datées tous les quarts d'heures à h, h+15, h+30 et h+45. La datation précise d'un point de chacune des images doit tenir compte du temps nécessaire au satellite (12,5 minutes) pour balayer le disque terrestre du Sud au Nord et produire ainsi une image complète. Ainsi, la partie équatoriale de l'image est observée au milieu de la séquence de balayage, soit environ 8 minutes plus tôt que la datation retenue pour l'image complète, à h+7, h+22 et h+37, h+52.

2.2.3 Analyse de l'activité orageuse dans la ZCIT sur quatre jours (du 30 mai au 3 juin 2009)

Au niveau de l'Atlantique équatorial, on identifie les sommets des cumulonimbus pleinement développés (jusqu'à la tropopause) par des températures proches de celle de la tropopause de l'ordre de -80° (cf. figure 5).

Sur la période de quatre jours du 30 mai au 3 juin 2009, l'évolution des zones nuageuses observées est typique de ce qui est fréquemment observé dans la ZCIT, qui s'étend sur une largeur moyenne de l'ordre de 500 km (cf. l'animation des images satellites sur quatre jours disponibles sur le complément numérique

au rapport préliminaire) : plusieurs amas de cumulonimbus puissants sont visibles, dont certains produisent des signatures infrarouges comparables ou plus froides que celles de l'amas que traverse la trajectoire prévue du vol AF447, le 1er juin 2009 vers 2 h 00.

Dans la nuit du 31 mai au 1er juin 2009, au-dessus de l'océan, la ZCIT est le siège d'une activité orageuse marquée mais discontinue : on distingue plusieurs amas convectifs (multicellulaires) séparés par des zones de Cumulus, Stratocumulus et Altocumulus.

2.2 Analyse de l'amas situé sur la trajectoire PREVUE

2.2.1 Evolution observée entre 00 h 00 et 3 h 00

Entre 0 h 30 et 3 h 00, l'imagerie infrarouge montre une région de développement de nuages d'orages dans la ZCIT, au nord de Fernando de Noronha. Des cumulonimbus forment rapidement un amas étendu et organisé selon une ligne orientée ouest-est. Sans être exceptionnelle, l'extension ouest-est de cet amas, que traverse la trajectoire prévue du vol 447, est assez remarquable, de l'ordre de 400 km (cf. l'animation des images satellites sur trois heures disponibles sur le complément numérique au rapport préliminaire).

Vers 2 h 00, cet amas comporte certainement des cumulonimbus puissants associés à des zones de forts mouvements verticaux, mais l'analyse des images infrarouges ne montre pas, en son sein, de températures des sommets de nuages significativement plus froides que celle de la tropopause. L'analyse de l'imagerie infrarouge ne permet donc pas de conclure à la présence de mouvements verticaux extrêmement puissants, associés à des phénomènes « d'overshoot ».

2.2.2 Analyse détaillée de l'image prise à 2 h 07

Sur les images infrarouges présentées ci-après, les températures de sommet de nuage inférieures à - 40 °C sont coloriées. Ce premier « seuillage » de -40 °C permet de délimiter les zones pour lesquelles les nuages ont des sommets élevés, qu'il s'agisse des cirrus de divergence associés aux enclumes des cumulonimbus ou de leurs « tours » lorsqu'elles ne sont pas masquées ou qu'elles ont temporairement traversé la tropopause.

L'amas convectif situé sur la trajectoire prévue du vol AF447 est signalé par un ovale sur la figure 8. Compte tenu du système de datation des images Météosat, cette observation intervient à 02h07, soit environ trois minutes avant la dernière position FMS communiquée par ACARS par le vol AF447 à 2 h 10 et environ sept minutes avant le dernier message ACARS. Aucune image Météosat 9 ne coïncide avec l'heure de ce dernier message : les observations infrarouges Météosat les plus proches ont eu lieu environ 7 minutes avant et après le dernier message du vol AF447.

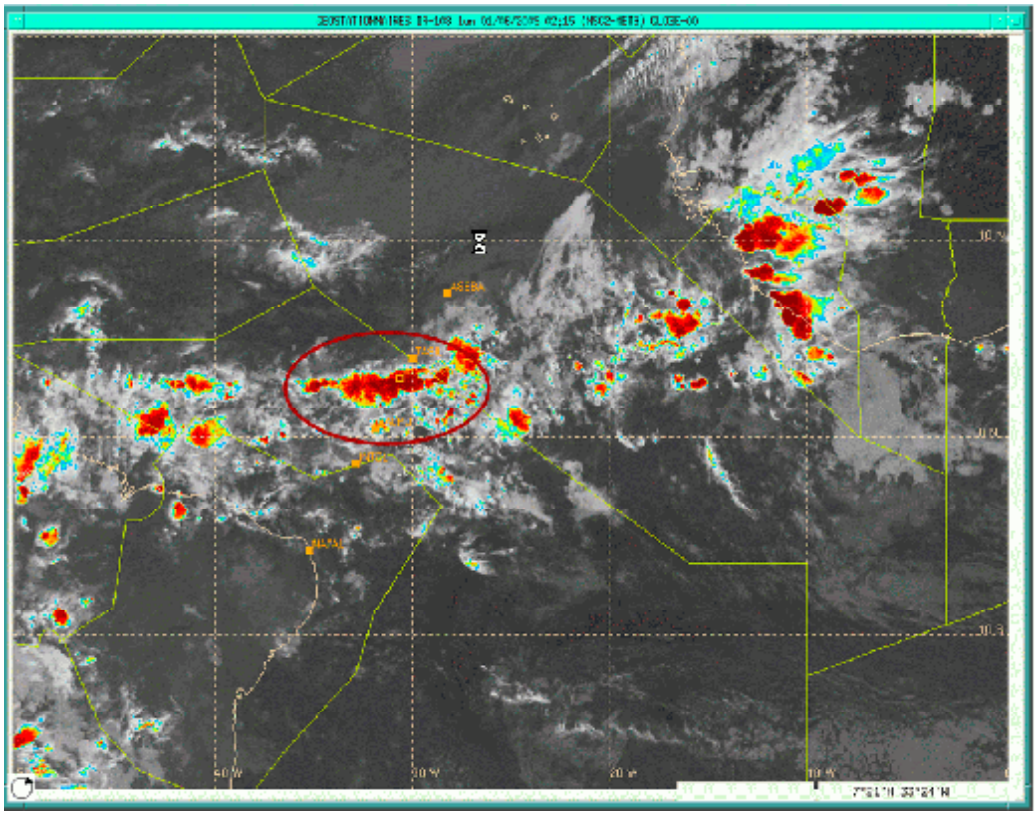


Figure 8 : image Météosat 9, canal infrarouge 10,8 µ, réalisée le 1er juin à 2 h 07, avec, en couleur, les températures de sommet de nuage plus froides que -40°C. Ce seuillage permet une première caractérisation des amas convectifs.

On poursuit ensuite l'analyse en adoptant des seuils de plus en plus froids, pour caractériser les zones, de taille de plus en plus réduites, où les sommets des nuages sont de plus en plus hauts. Les figures 9, 10, 11 et 12 qui suivent ont été obtenues pour des seuils respectifs de -50 °C, -60 °C, -70 °C et -75 °C. La dernière information de position communiquée par l'avion à 2 h 10 (point nommé « ACARS 2 h 10 ») est pointée sur ces images satellite[2].

[2]Les pixels de l'image satellite ont une résolution de 3 km et sont positionnés avec une précision de l'ordre du km, très inférieure à celle du GPS.

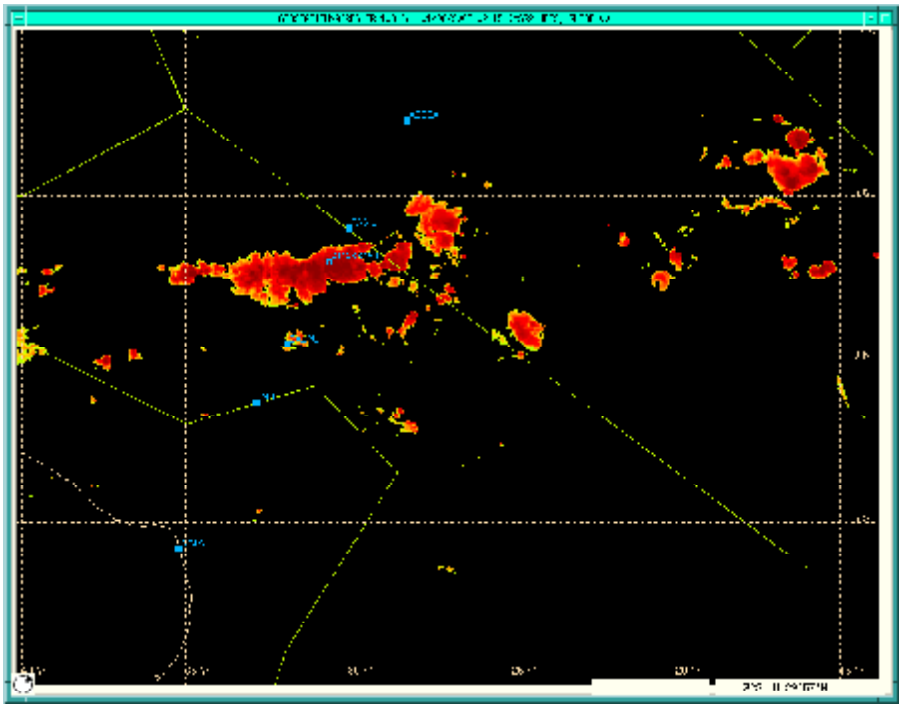


Figure 9 : image infrarouge Météosat 9 prise le 1er juin vers 2 h 07
« seuillée », avec masquage des températures supérieures à -50 °C

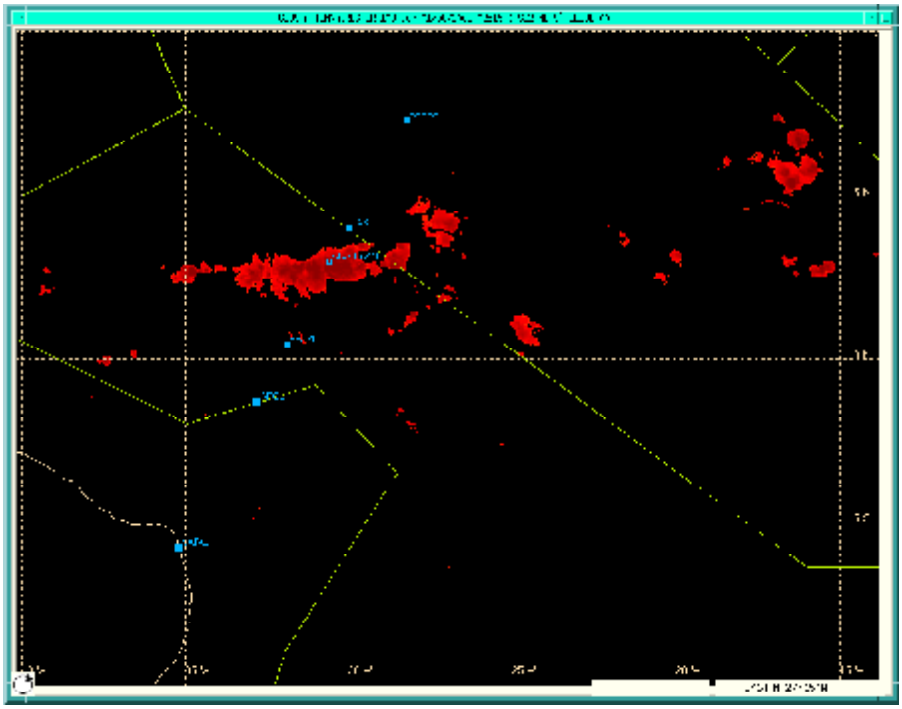


Figure 10 : image infrarouge Météosat 9 prise le 1er juin vers 2 h 07,
« seuillée », avec masquage des températures supérieures à -60 °C

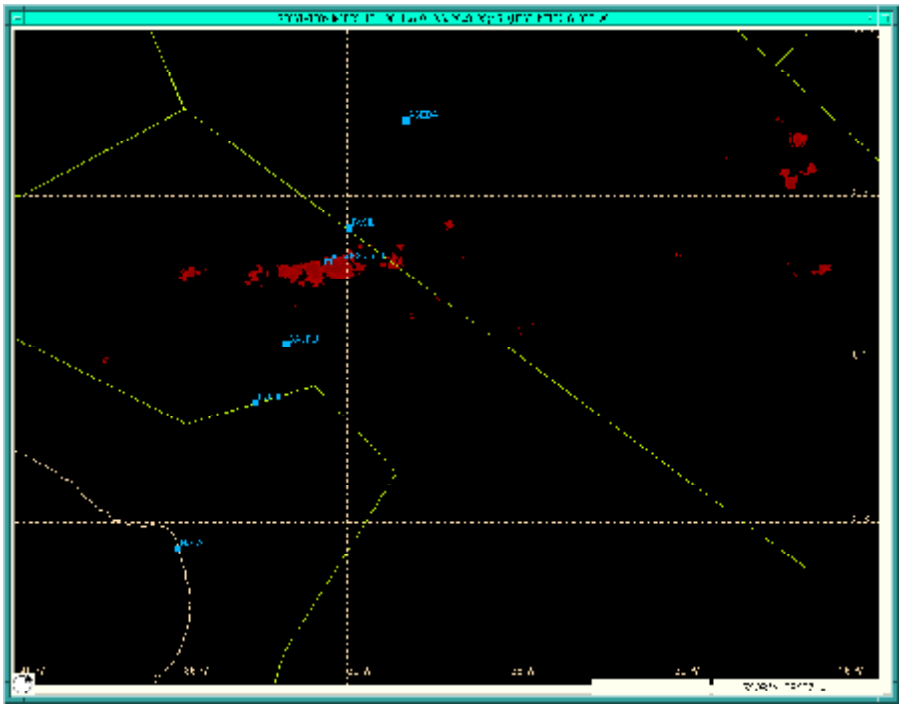


Figure 11 : image infrarouge Météosat 9 prise le 1er juin à 2 h 07,
« seuillée », avec masquage des températures supérieures à -70 °C

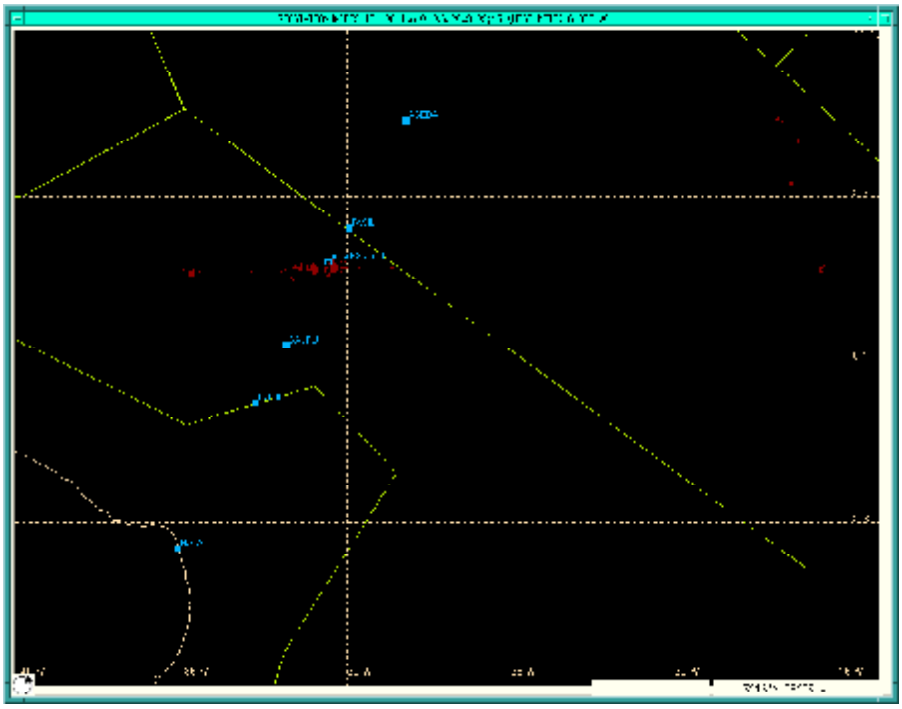


Figure 12 : image infrarouge Météosat 9 prise le 1er juin à 2 h 07,
« seuillée », avec masquage des températures supérieures à -75 °C

On constate qu'à 2 h 07 les températures les plus froides sont de l'ordre de -75 °C à -80 °C, alors que la tropopause se situe entre les FL500 et FL520, avec une température voisine de - 80°C : certains des cumulonimbus de l'amas ont atteint l'altitude de la tropopause et leur stade de maturité, mais l'imagerie ne révèle aucun développement vertical exceptionnel du point de vue climatologique, qui serait caractérisé par un « overshoot ».

2.3.3 Analyse basée sur le traitement "Rapid Developing Thunderstorm"

Le traitement « Rapid Developing Thunderstorm » (RDT) de l'imagerie Météosat 9, dont les résultats sont présentés ci-après, permet de suivre la formation et le développement de l'amas de cumulonimbus identifié figure 8, à travers les variations temporelles des températures de sommet et de l'extension horizontale de la surface qu'ils occupent.

Le traitement permet d'abord de délimiter les zones relativement homogènes de température de sommet, délimitées par des lignes de contour noires, sur la figure 13. Ces zones font ensuite l'objet d'un traitement pour préciser l'évolution de leur morphologie et des températures de sommet des cumulonimbus présents: chaque zone est caractérisée par un ensemble de paramètres dont l'évolution est suivie au cours du temps par pas de quinze minutes. L'interprétation de l'évolution des paramètres tient compte de la possibilité pour ces zones homogènes de fusionner ou de se scinder au cours du temps.

Caractérisation de l'amas à 2 h 07

La figure 13 illustre les résultats du traitement de l'image prise à 2h07. Le traitement a délimité plusieurs zones homogènes, dont la plus froide, au centre de l'image est la plus étendue, et constitue bien l'essentiel de l'amas : dans ce qui suit, on identifiera donc cette zone à l' « amas ». Ses paramètres caractéristiques sont précisés par l'encadré.

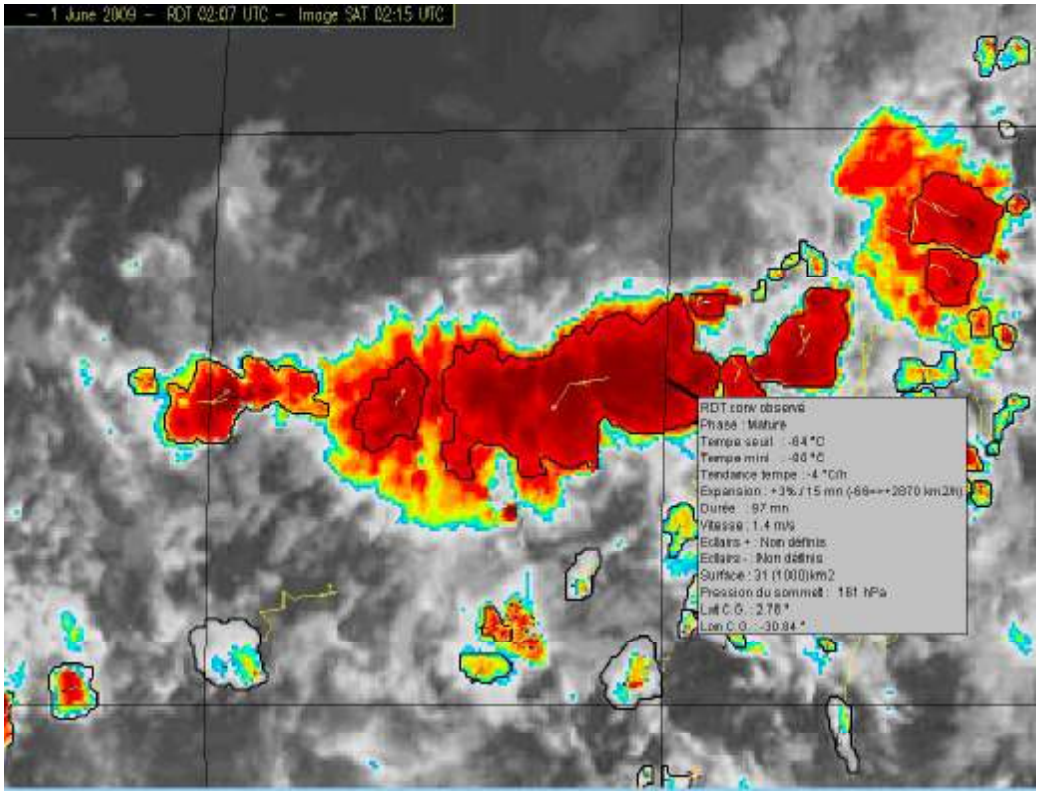


Figure 13 : Image Météosat prise le 1er juin 2009 à 2 h 07, traitée par la méthode RDT. Les zones orageuses sont identifiées et délimitées par des contours noirs, et leurs paramètres (encadré) peuvent être suivis dans le temps, d'une image à l'autre, par pas de 15 minutes.

Les deux graphiques de la figure 14 analysent l'évolution dans le temps, de 00 h 07 à 2 h 07, des principaux paramètres observables caractéristiques de l'amas :

- en haut, l'évolution temporelle de la morphologie de l'amas, estimée par l'évolution de la surface (en milliers de kilomètres carrés) occupée par ceux des cumulonimbus dont les températures de sommet sont inférieures à différents seuils ;
- en bas, l'évolution temporelle de la température de sommet la plus basse observée au sein de l'amas, correspondant aux signatures des cumulonimbus les plus développés.

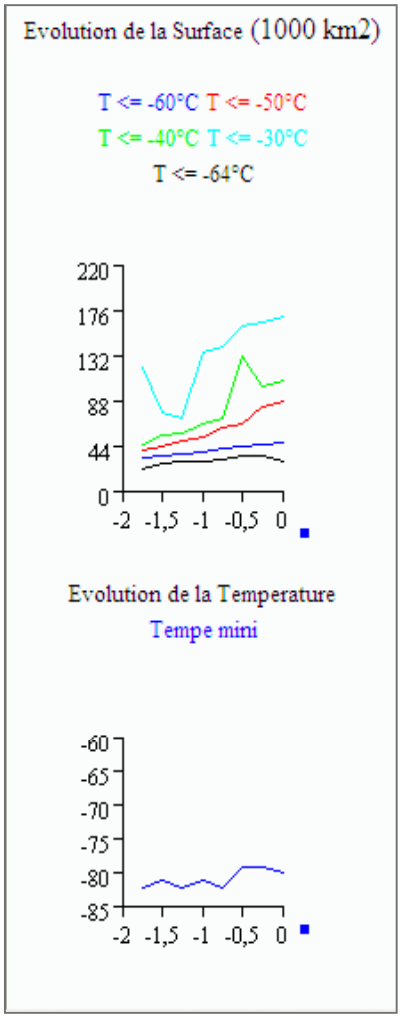


Figure 14 : Evolution des paramètres caractéristiques de la zone identifiée par le pointeur et l'encadré de la figure 13, qui constitue l'essentiel de l'amas.
Le temps, en abscisse, est défini par rapport à 2 h 07, avec une échelle en heure.

Les courbes du premier diagramme de la figure 14 montrent que l'amas est toujours en cours d'expansion horizontale à 2 h 07, les surfaces des zones de températures de sommet inférieures à chacun des seuils augmentant encore, sauf pour le seuil le plus froid (< - 64 °C), pour lequel on constate une stagnation de la surface voire une légère régressi

Sur le diagramme inférieur, la courbe bleue indique que des cumulonimbus présents au sein de l'amas ont atteint le niveau de la tropopause depuis au moins 1 h 30, soit avant 0 h 37.

L'ensemble de ces caractéristiques sont cohérentes avec l'évolution d'un amas qui s'étend par étalement des enclumes des cumulonimbus au voisinage de la tropopause, mais dont les cumulonimbus les plus puissants achèvent leur développement.

Formation de l'amas

L'analyse des observations antérieures à 2 h 07 montre que cet amas est le résultat de la fusion de quatre amas préexistants, intervenue environ 1 h 30 avant l'heure de passage prévue du vol AF447, comme l'illustre la Figure 15.

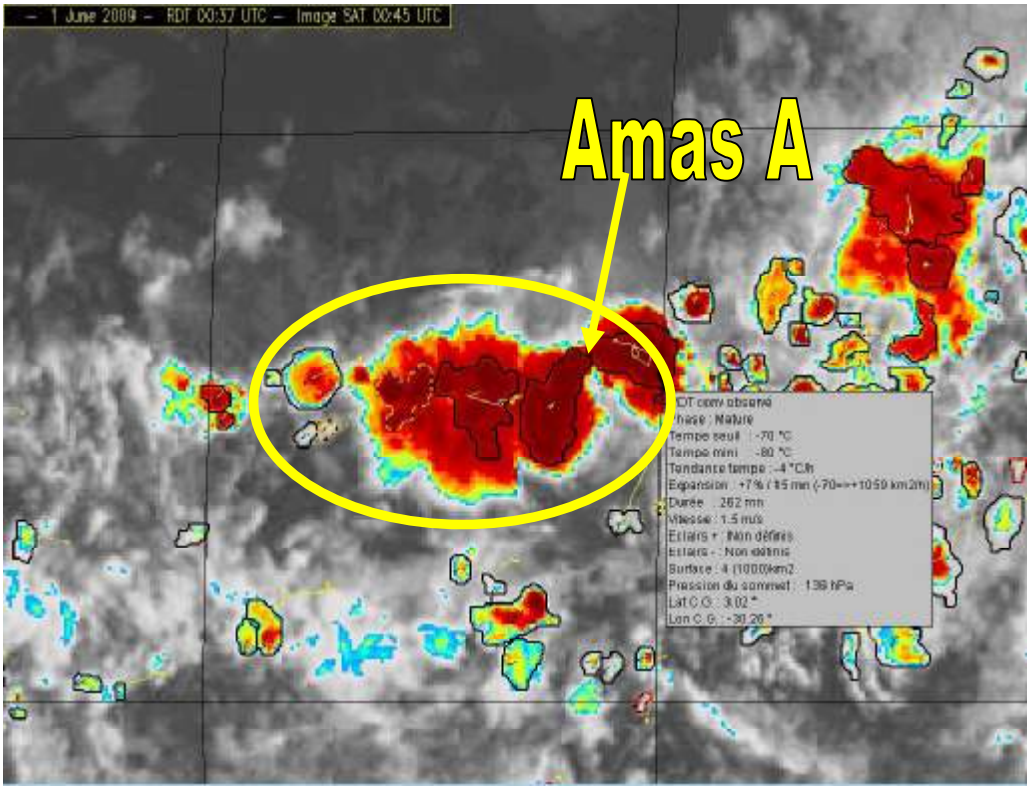


Figure 15 : présence de quatre amas à 0 h 37 dont la fusion a conduit à l'amas identifié Figure 13

Le développement de l'amas marqué A, situé le plus à l'Est, est le plus remarquable dans cette période, comme le montre la Figure 16 qui présente l'évolution de ses caractéristiques. Ses températures de sommet se sont refroidies brutalement, ce qui indique qu'il a été le siège d'un développement vertical très rapide, plus de 3 heures 30 avant l'arrivée du vol AF447. Puis, son activité globale s'est maintenue avec des cumulonimbus développés jusqu'à la tropopause.

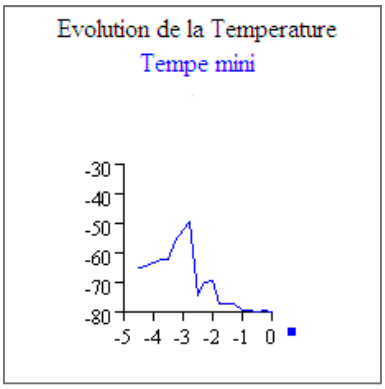


Figure 16 : évolution de la température de sommet de l'amas repéré A sur la figure 15. Le temps en abscisse est compté par rapport à 0 h 37

2.3.4 Synthèse

L'analyse de l'imagerie infrarouge Météosat 9 indique que l'amas que traverse la trajectoire prévue de l'avion vers 2 h 10, s'est constitué 1 h 30 auparavant par fusion de quatre amas préexistants qui contiennent des cumulonimbus pleinement développés. Le plus actif de ces quatre amas, situé le plus à l'Est, a connu un développement brutal 3h30 auparavant.

Vers 2 h 10, l'amas résultant de cette fusion est toujours en phase d'extension horizontale, probablement par étalement des enclumes de cumulonimbus déjà arrivés à maturité. L'imagerie suggère que les cumulonimbus les plus puissants qui le constituent achèvent leur développement, mais la présence de « tours » convectives sous leurs enclumes est très probable, même si l'imagerie ne permet pas de le confirmer, en l'absence de signature thermique de phénomènes d' «overshoot ».

2.4 Observations d'un appareil équipé du système AMDAR

Certains avions de ligne sont équipés de systèmes AMDAR (Aircraft Meteorological Data Relay) leur permettant de réaliser des observations de vent, de température et, dans certains cas, de turbulence, puis de les transmettre en temps réel vers les centres météorologiques, sous la forme d'un message AMDAR codé. Le message n'identifie l'appareil émetteur que par un code qui ne permet d'identifier ni la compagnie, ni le vol.

Ces messages sont transmis en temps quasi-réel aux services météorologiques (97 % des messages sont acheminés dans les 90 minutes). Les observations de vent et température sont utilisées pour alimenter les modèles de prévision numérique du temps.

En croisière, la fréquence des mesures est de l'ordre de 7 à 8 minutes. Les observations sont réalisées le long de la trajectoire portent directement sur les conditions au niveau de vol, mais ne permettent pas, contrairement à l'imagerie infrarouge, d'apprécier les conditions en dehors de la trajectoire, ni l'extension tridimensionnelle des phénomènes rencontrés.

Dans la nuit du 31 mai au 1er juin, un avion équipé du système AMDAR a suivi une route semble-t-il similaire à celle du vol AF447, passant au voisinage du même amas orageux, environ 30 minutes plus tôt, au niveau de vol FL325. Cet appareil a transmis uniquement des mesures de vent et température.

La figure 17 ci-dessous indique les positions de cet avion jusqu'à 2 H 06 TU (position la plus au nord de la trajectoire au milieu de l'image), superposée avec l'image infrarouge Météosat 9 prise vers 1 h 52 TU, seuillée pour identifier les amas et les cumulonimbus, en utilisant les mêmes classes de couleur que pour la figure 8. La position de l'observation la plus représentative de l'amas est celle de 1 h 44 TU matérialisée par un carré.

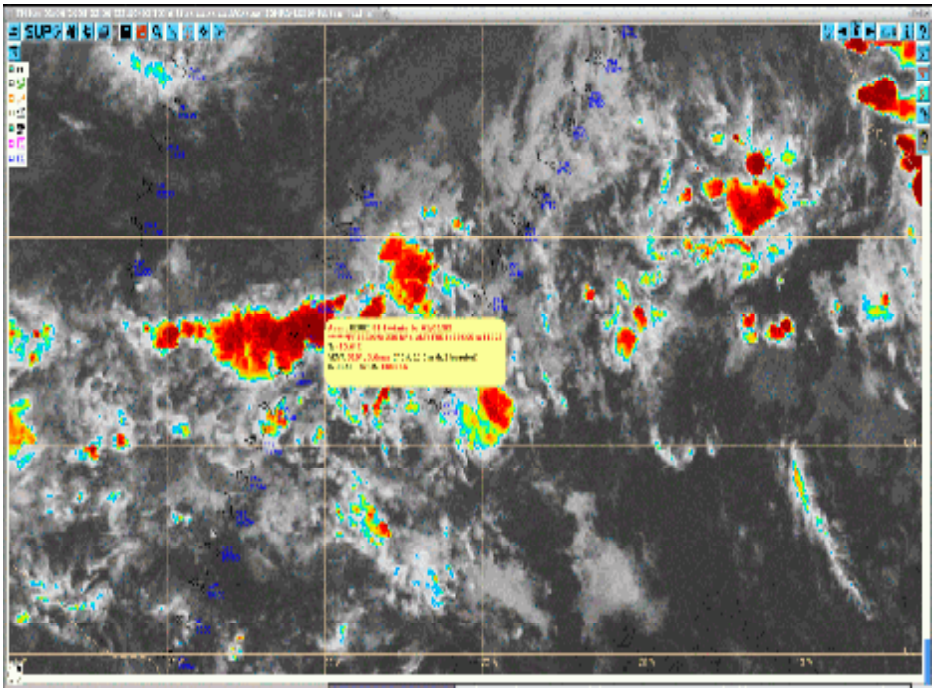


Figure 17 : trajectoire d'un avion équipé du système AMDAR jusqu'à 2 h 06 TU superposée avec l'observation infrarouge Météosat 9, seuillée, à 1 h 52 TU

On observe une variation de la température et du vent mesurés avant et après la traversée de l'amas. Les différences de température sont les seules significatives, mais peuvent s'expliquer par le changement de niveau de vol de l'avion, du niveau FL330 au sud de l'amas au niveau FL350 après sa traversée.

Ces observations AMDAR n'apportent rien de notable à l'analyse réalisée à partir de l'imagerie infrarouge, beaucoup plus représentative des phénomènes orageux rencontrés sur la trajectoire du vol AF 447.

En revanche, la superposition de la trajectoire de l'avion et des images infrarouges Météosat 9 montre que l'appareil a traversé l'amas convectif dans une zone où les températures de sommet de cumulonimbus étaient froides, comparables à celles observées quelques minutes plus tard.

3. Conclusions sur l'analyse de la situation météorologique

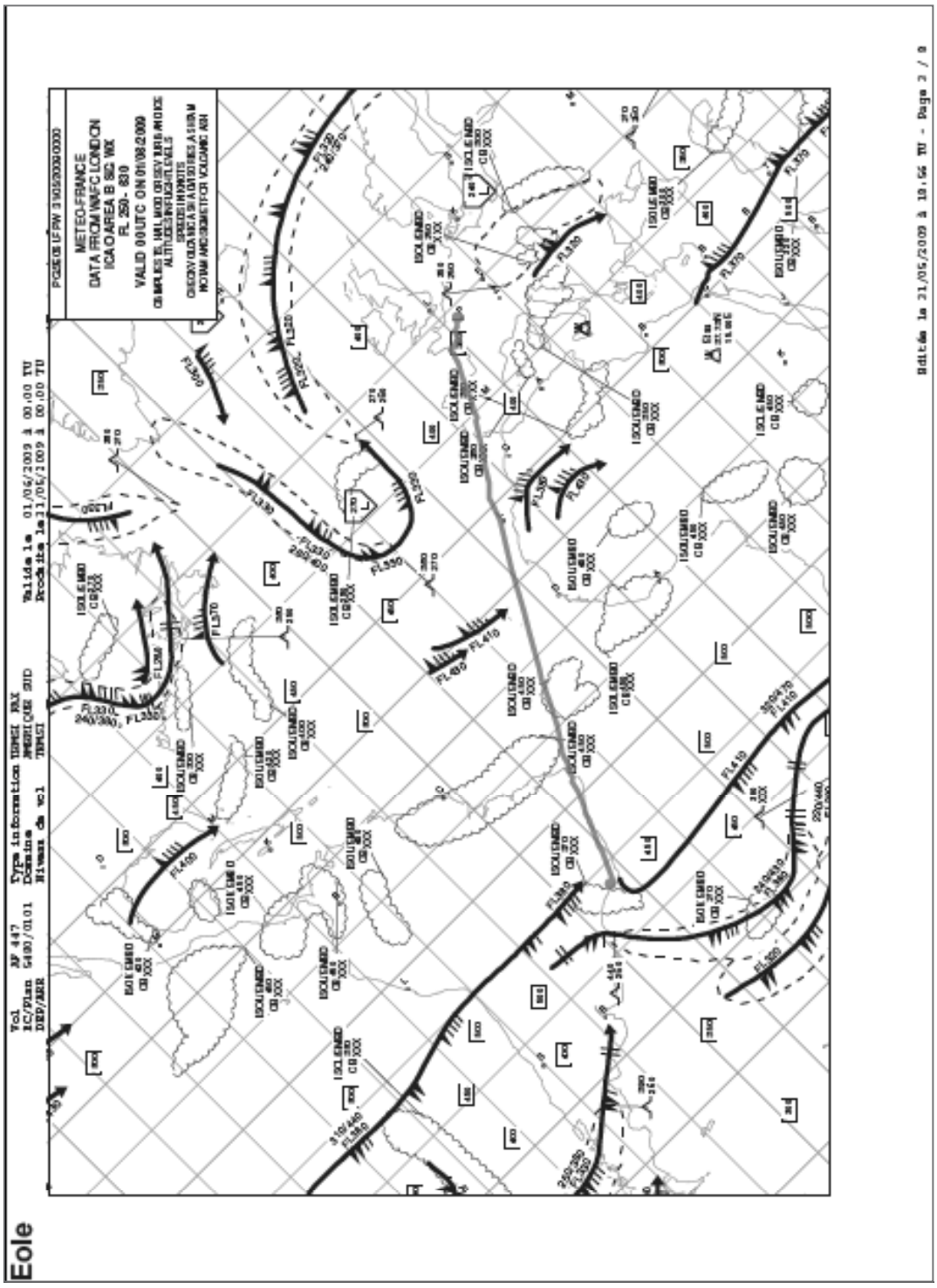
D'un point de vue climatologique, les conditions générales et la position de la Zone de Convergence Intertropicale sur l'Atlantique sont normales pour un mois de juin. Les amas de cumulonimbus caractéristiques de cette zone sont bien présents, avec une hétérogénéité spatiale importante et des durées de vie de quelques heures.

Les images infrarouges prises toutes les 15 minutes par le satellite géostationnaire Météosat 9 constituent la meilleure source d'information pour apprécier l'évolution de ces amas, mais elles ne permettent pas d'observer directement les conditions rencontrées au niveau de vol. En outre, les deux images les plus représentatives ont été prises environ 7 minutes avant et après le dernier message ACARS du vol AF 447.

L'analyse de l'imagerie infrarouge ne permet pas de conclure au caractère exceptionnel de l'activité orageuse sur la zone où le vol AF447 a disparu, mais elle montre, sur la trajectoire prévue du vol, l'existence d'un amas de cumulonimbus puissants, identifiable depuis 01H30 TU. Cet amas résulte de la fusion de quatre amas plus petits et son extension d'ouest en est sur environ 400 kilomètres est assez remarquable.

Si l'analyse de l'imagerie laisse penser que, vers 2 h 00 TU, les cumulonimbus qui forment cet amas ont pour la plupart déjà atteint leur stade de maturité, il est très probable que certains étaient le siège d'une turbulence marquée au niveau de vol. La présence d'une activité électrique significative au niveau de vol est possible, mais la présence d'eau surfondue au FL350 est peu probable et aurait nécessairement été limitée à de faibles quantités.

annexe 2
Carte TEMSI AMERIQUE SUD du 1er juin à 00 h 00 entre les FL 250 et 630



annexe 3

Transcription de radiocommunications relatives au vol AF447

Les transcriptions qui suivent des radiocommunications ont été transmises par le Brésil.

Les abréviations suivantes sont utilisées :

- ACC-BS : centre de contrôle de BRASILIA
- ACC-RE : centre de contrôle de RECIFE
- ACC-AO : centre de contrôle d'ATLANTICO

Echanges entre RECIFE et le vol AF447

11 HORA	12 OPR QRG	13 ANV. ÓRGÃO	14 TEXTO
23:19:27	126,5	AFR 447	-Recife Center good evening, AIR FRANCE FOUR FOUR SEVEN level three five zero.
23:19:34	"	ACC-RE	-FOUR FOUR SEVEN good evening squawk ident maintain three five zero under radar surveilance.
23:19:43	"	AFR 447	-Three five zero squawk icent AIR FRANCE FOUR FOUR SEVEN.
23:28:41	"	ACC-RE	-AIR FRANCE FOUR FOUR SEVEN, AIR FRANCE FOUR FOUR SEVEN say me your mach number speed and selcal code.
23:28:52	"	AFR 447	-Mach number will be eight two and selcal Charlie Papa Hotel Quebec.
00:00:35	"	ACC-RE	-AIR FRANCE FOUR FOUR SEVEN, AIR FRANCE FOUR FOUR SEVEN cal now frequency one two five decimal four five.
00:00:41	"	AFR 447	-One two five four five, bye bye AIR FRANCE FOUR FOUR SEVEN.
00:00:57	125,45	AFR 447	-Good evening AIR FRANCE FOUR FOUR SEVEN level three five zero.
00:01:04	"	ACC-RE	-FOUR FOUR SEVEN three five zero squawk ident under radar control.
00:01:09	"	AFR 447	-Roger AIR FRANCE FOUR FOUR SEVEN.
00:32:31	"	AFR 447	-Recife AIR FRANCE FOUR FOUR SEVEN.
00:32:36	"	ACC-RE	-AIR FRANCE FOUR FOUR SEVEN go ahead.
00:32:43	"	AFR 447	-AIR FRANCE FOUR FOUR SEVEN squawk ident.
00:32:47	"	ACC-RE	-Ok AIR FRANCE FOUR FOUR SEVEN but squawk ident for AIR FRANCE FOUR FIVE NINE, maintain three five zero radar control.
00:35:15	"	ACC-RE	-FOUR FOUR SEVEN Recife Center.

00:35:56	"	ACC-RE	-FOUR FOUR SEVEN call me frequency one two eight decimal seven and secundary, correction, secundary one three four decimal eight.
00:36:12	"	AFR 447	-Two eight seven, one three four eight.
00:36:15	128,7	AFR 447	-Recife, AIR FRANCE FOUR FOUR SEVEN level three five zero.
00:36:40	128,7	ACC-RE	-AIR FRANCE FOUR FOUR SEVEN good evening radar control, maintain flight level three five zero, over INTOL intersection contact Atlantico eitchef (HF) six five three five or five five six five, until there maintain this frequency.
00:36:55	"	AFR 447	-Six five three five and five five six five for eitchef (HF) frequency, AIR FRANCE FOUR FOUR SEVEN.
01:14:23	"	AFR 447	-...(Ininteligível)...FOUR FOUR SEVEN.
01:14:31	"	AFR 447	-AIR FRANCE FOUR FOUR SEVEN, we cheking FEMUR at zero one one three, level three five zero, we contact Atlantico eitchef....
01:14:44	"	ACC-RE	-Negative, after...over INTOL...(Ininteligí-vel)...
01:14:54	"	AFR 447	-After INTOL, AIR FRANCE FOUR FOUR SEVEN.
01:31:36	"	ACC-RE	-AIR FRANCE FOUR FOUR SEVEN Recife Center.
01:31:42	"	AFR 447	-AIR FRANCE FOUR FOUR SEVEN.
01:31:44	"	ACC-RE	-AIR FRANCE FOUR FOUR SEVEN Atlantico six six four nine back up five five six five, after TASIL six five three five.
01:32:01	"	AFR 447	-I undestood six six four nine and five five six five, six five three five.
01:32:10	"	ACC-RE	-Six five three five only after TASIL with FIR DAKAR.
XXXXXXX	XXXXXX	XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Echanges entre ATLANTICO et le vol AF447

11	HORA	12	OPR QRG	13	ANV.	14	TEXTO
01:33:25		TASA-LP		AFR 447			-Atlântico, Atlântico, AIR FRANCE FOUR FOUR SEVEN calling Atlântico on six six.
01:35:06		"		AFR 447			- Atlântico, Atlântico, AIR FRANCE FOUR FOUR SEVEN calling Atlântico on six six.
01:35:12		"		ACC-AO			-AIR FRANCE FOUR FOUR SEVEN, Atlântico go ahead.

01:35:15	"	AFR 447	-AIR FRANCE FOUR FOUR SEVEN, by checking INTOL zero one three three, level three five zero, SALPU zero one four eight, next ORARO zero two zero zero, selcall check Charlie Papa Hotel Quebec.
01:35:38	"	ACC-AO	Acionamento do código SELCALL
01:35:43	"	AFR 447	-AIR FRANCE FOUR FOUR SEVEN, thank you.
01:35:46	"	ACC-AO	-Welcome, maintaing flight level three five zero, say your estimate TASIL?
01:35:53	"	ACC-AO	-Say your estimate TASIL?
01:35:59	"	ACC-AO	-AIR FRANCE FOUR FOUR SEVEN estimate TASIL?
01:36:14	"	ACC-AO	-AIR FRANCE FOUR FOUR SEVEN say your estimate TASIL?
XXXXXX	XXXXXX	XXXXXXX	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Echanges entre RECIFE et BRASILIA pour la coordination du vol AF447

11 HORA	12 OPR QRG	13 ANV. ÓRGÃO	14 **TEXTO**
23:07:15	CTA-07 ASS	ACC-BS	-...o AIR FRANCE QUATRO QUATRO SETE por FLIRT.
23:07:17	"	ACC-RE	-QUATRO QUATRO SETE nível três cinco zero, deixa eu ver o limite aqui...INTOL.
23:07:22	"	ACC-BS	-INTOL.
XXXXXX	XXXXXXXX	XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXX
01:04:37	CTA-11 ASS	ACC-RE	-...já tem o AIR FRANCE QUATRO QUATRO SETE em INTOL?
01:04:42	"	ACC-AO	-Não, ainda não.
01:04:44	"	ACC-RE	-Ah, tá ok.
XXXXXX	XXXXXXXX	XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXX
01:12:53	CTA-11 ASS	ACC-RE	-....você tem o AIR FRANCE QUATRO QUATRO SETE?
01:12:56	"	ACC-AO	-Não, QUATRO QUATRO SETE ainda não.
01:12:58	"	ACC-RE	-INTOL. Não NÉ?
01:13:00	"	ACC-AO	-Tá bom.
XXXXXX	XXXXXXXX	XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXX
01:14:58	CTA-11 ASS	ACC-RE	-Região de INTOL.
01:15:00	"	ACC-AO	-AIR FRANCE QUATRO QUATRO SETE já chegou.
01:15:02	"	ACC-RE	-Aos trinta e dois mantendo três cinco zero.

01:15:05	"	ACC-AO	-Obrigado.
01:15:07	"	ACC-RE	-Falou.
XXXXXX	XXXXXXXX	XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Echanges entre ATLANTICO et DAKAR pour la coordination du vol AF447

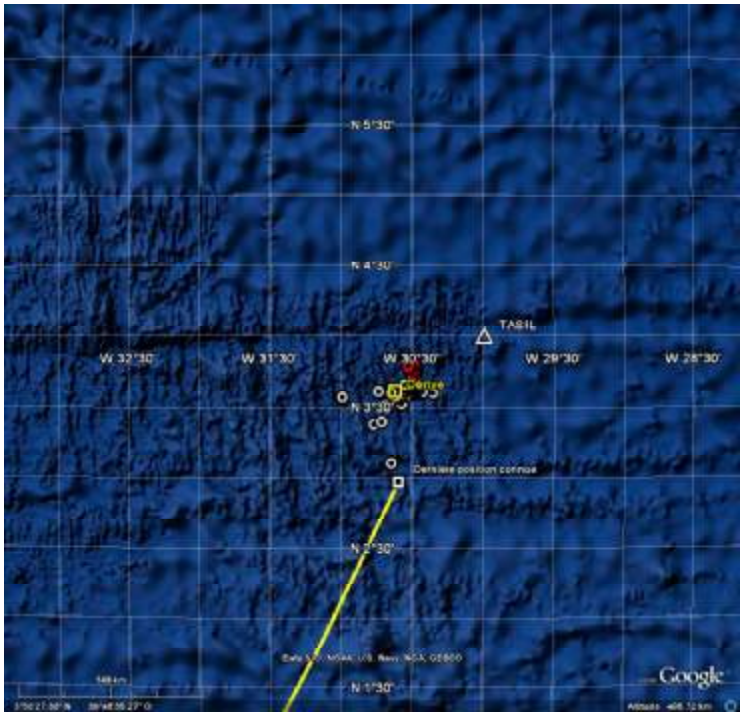
11	HORA	12	OPR QRG	13	ANV. ÓRGÃO	14	TEXTO
01:35:26		"		ACC-AO		-Copy AIR FRANCE FOUR FOUR SEVEN.	
01:35:29		"		ACC DAKAR		-FOUR FOUR SEVEN.	
01:35:32		"		ACC-AO		-AIR FRANCE FOUR FOUR SEVEN, TASIL zero two two zero	
01:35:36		"		ACC DAKAR		-Zero two two zero.	
01:35:37		"		ACC-AO		-Flight level three five zero mach point eight two, and the...	
01:35:45		"		ACC DAKAR		-Ok, call you back, please.	
01:35:46		"		ACC-AO		-Ok, ok, no problem.	
XXXXXX		XXXXXX		XXXXXXXX		XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	

annexe 4
Chronologie de la récupération des corps et éléments de l'avion

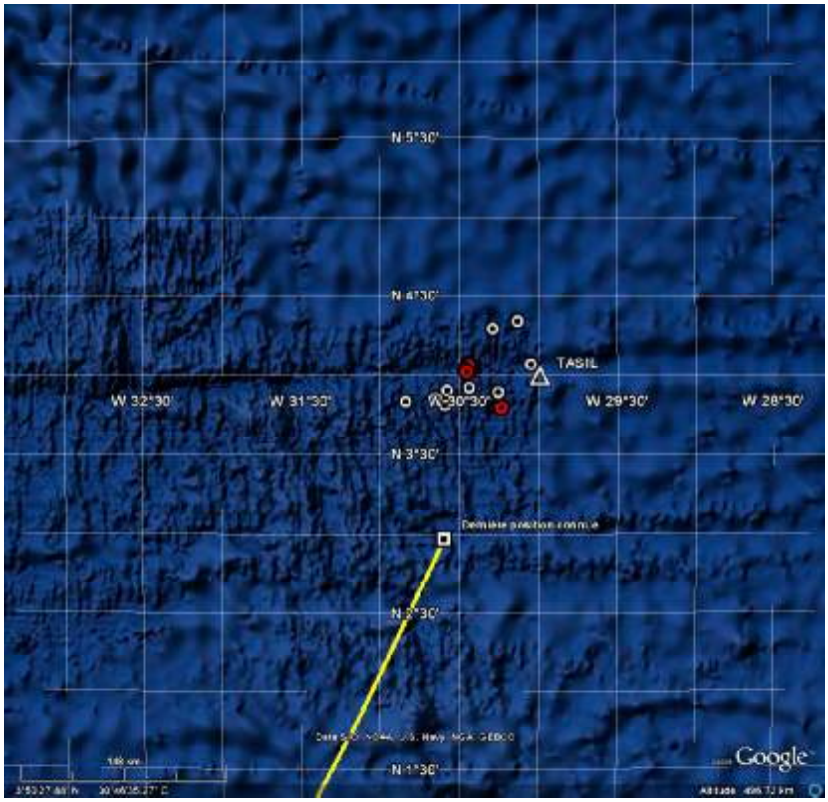
Le document qui suit résume la chronologie de la récupération des corps et éléments de l'avion entre le 6 juin et le 18 juin 2009.
Note : les corps sont représentés avec un rond rouge et les débris avec un rond blanc.

Corps et débris retrouvés le 6 juin

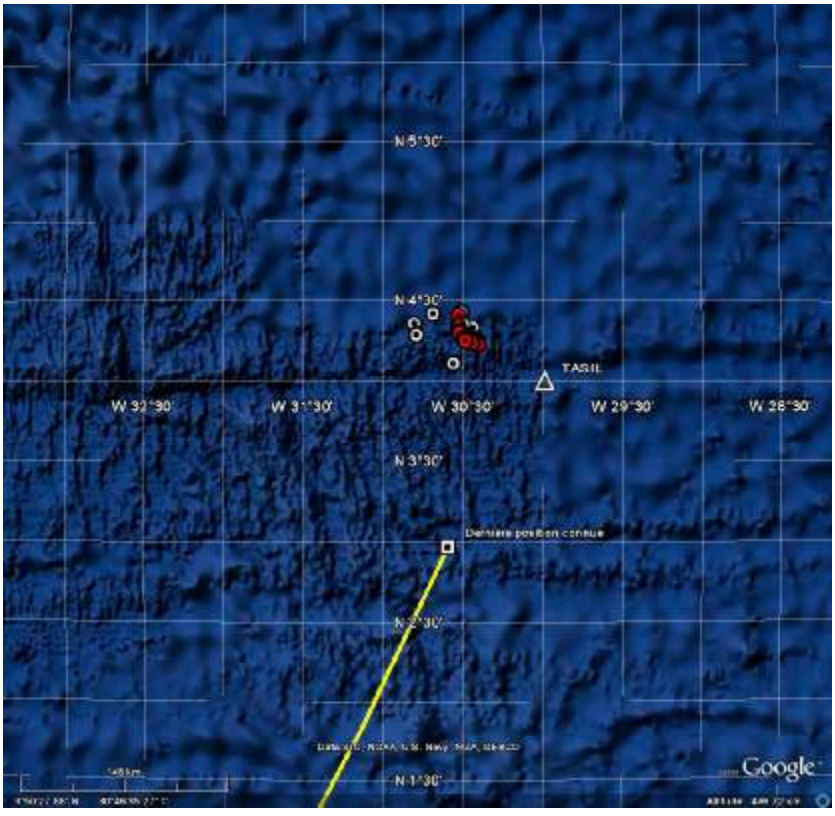
Corps et débris retrouvés le 7 juin (dont la dérive)



Corps et débris retrouvés le 8 juin

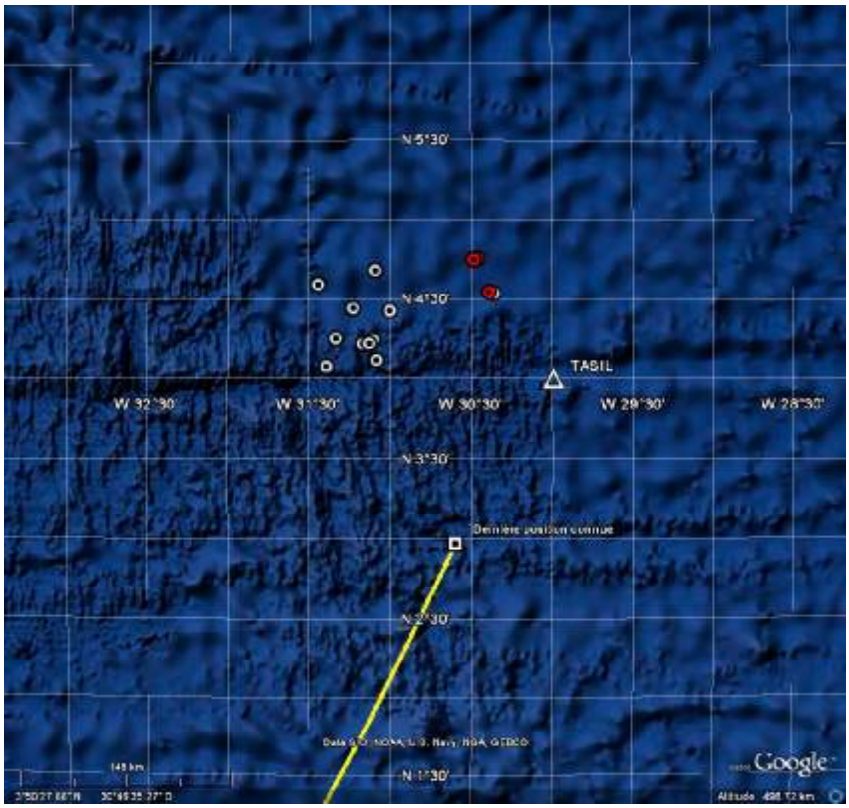


Corps et débris retrouvés le 9 juin



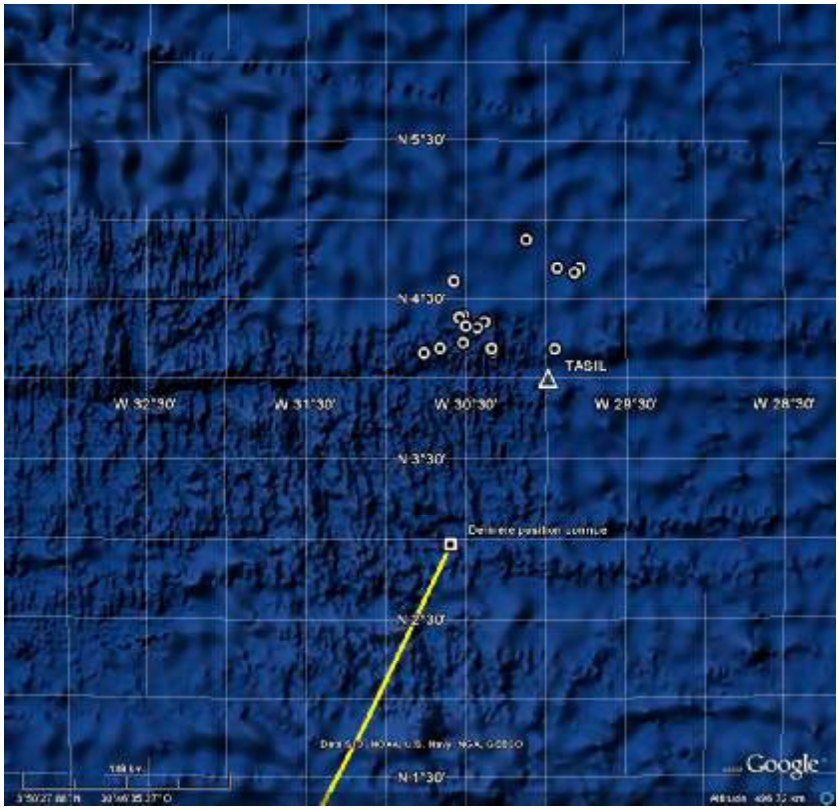
Corps et débris retrouvés le 10 juin

Corps et débris retrouvés le 11 juin

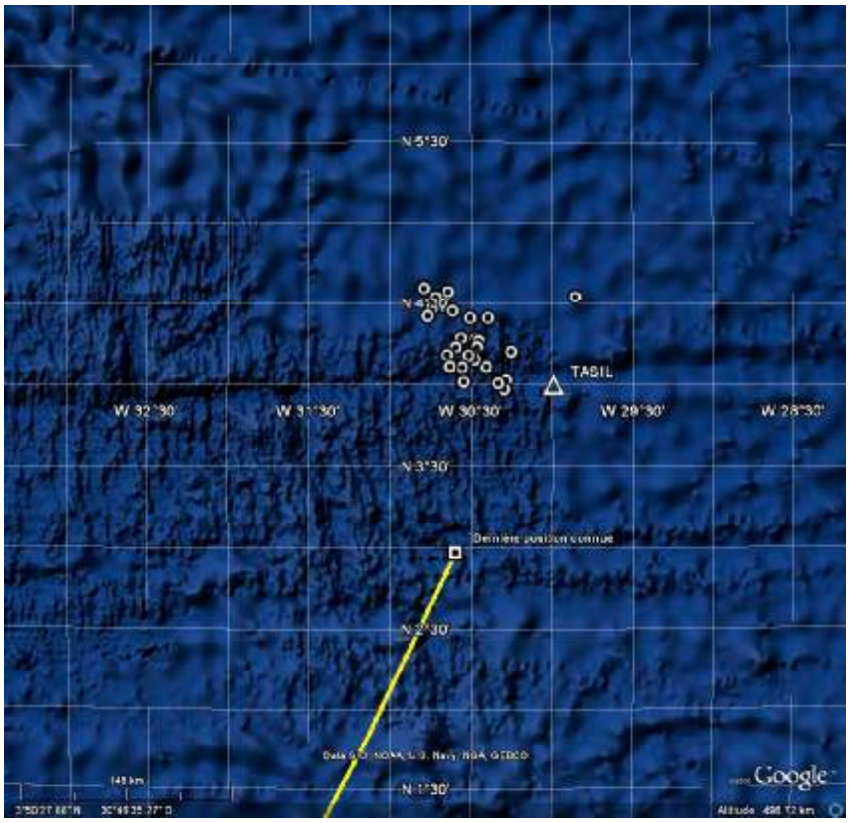


Corps et débris retrouvés le 12 juin

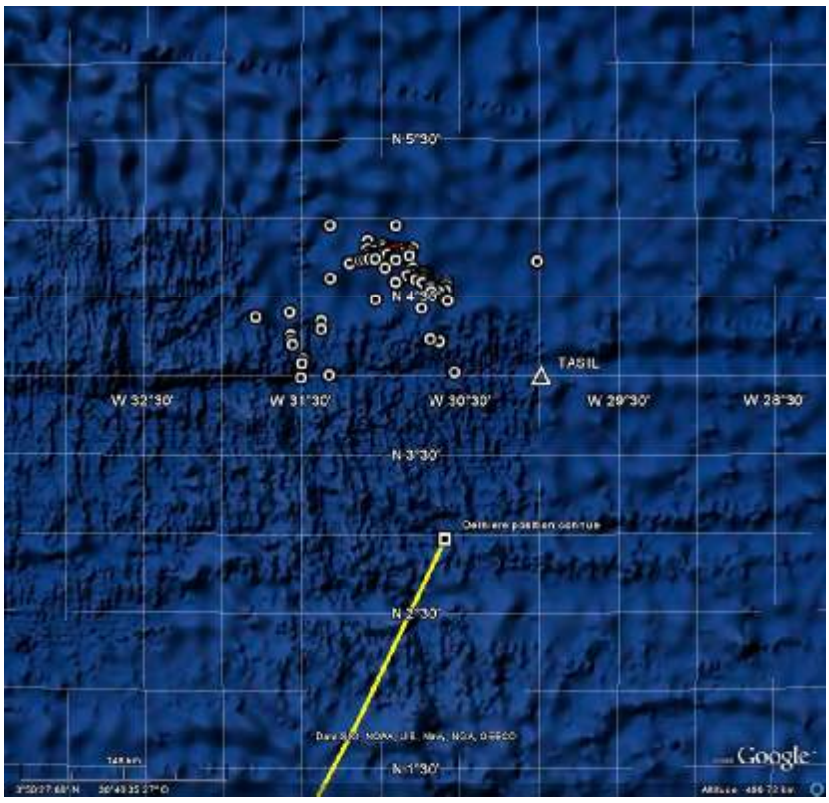
Corps et débris retrouvés les 13 et 14 juin



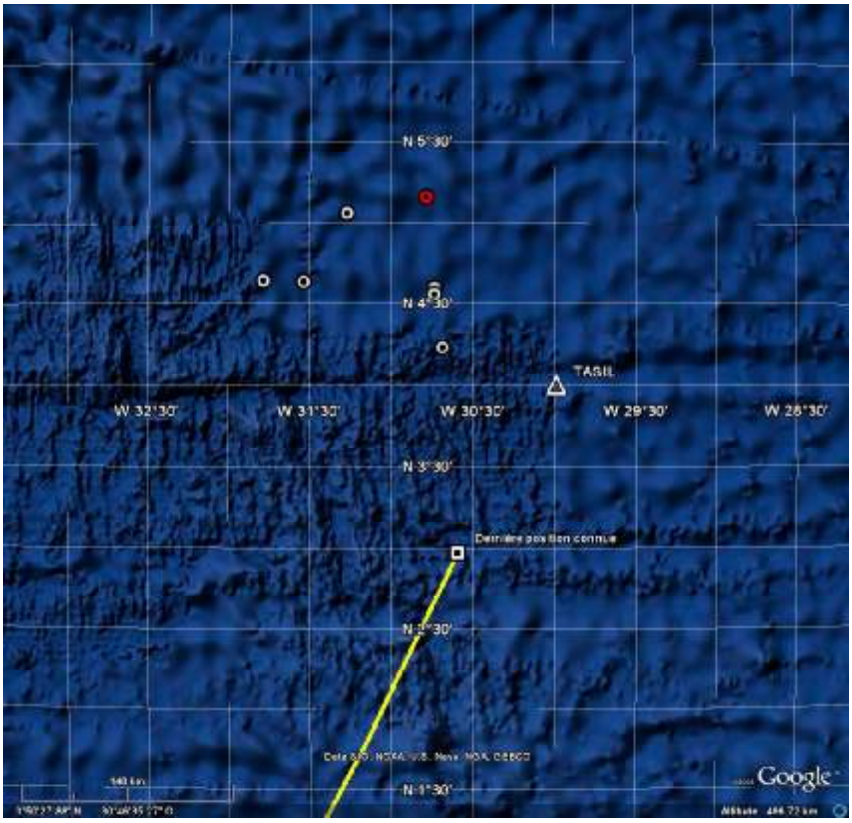
Corps et débris retrouvés le 15 juin



Corps et débris retrouvés le 16 juin

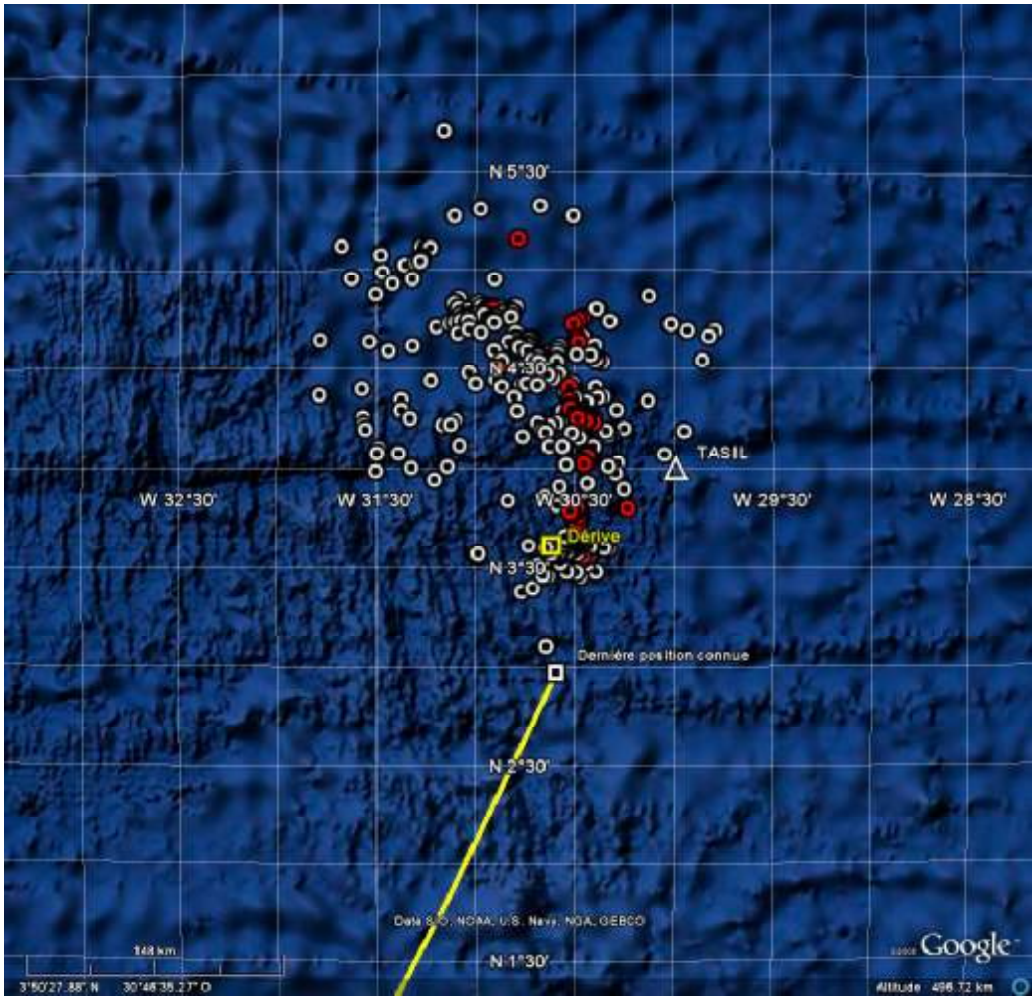


Corps et débris retrouvés le 17 juin



Corps et débris retrouvés le 18 juin

Ensemble des corps et débris du 6 au 18 juin



Message ECAM mentionné dans le CFR	Procédure du Manuel d'Utilisation, Vol. 1 AF	Procédure du FCOM Vol. 3 Airbus	QRH AF	QRH AIRBUS	Procédures normales Systèmes AF	FCTM AIRBUS
AUTO FLT AP OFF	Procédure Anormale Urgence Secours (U/S) ECAM «Auto-flight AP OFF» 03 02 22 01	Abnormal and Emergency «Auto-flight AP OFF» 03-02-22 P2				
AUTO FLT REAC W/S DET FAULT	Procédure Anormale Urgence Secours (U/S) ECAM «Auto-flight REAC W/S DET FAULT» 03-02-22-06	Abnormal and Emergency «Auto-flight REAC W/S DET FAULT» 03-02-22 P3				
F/CTL ALTN LAW	Procédure Anormale Urgence Secours (U/S) ECAM «F/CTL ALTN LAW (PROT LOST)» 03 02 27 02	Abnormal and Emergency «F/CTL ALTN LAW (PROT LOST)» 03 02 27 P7				OP 020 ALTERNATE LAW (OPERATIONAL RECOMMENDATIONS)
FLAG ON CAPT PFD SPD LIMIT						
FLAG ON F/O PFD SPD LIMIT						
AUTO FLT A/THR OFF	Procédure Anormale Urgence Secours (U/S) ECAM «Auto-flight A/THR OFF» 03 02 22 02	Abnormal and Emergency «Auto-flight A/THR OFF» 03-02-22 P2				
NAV TCAS FAULT	Procédure Anormale Urgence Secours (U/S) ECAM «NAV TCAS FAULT» 03 02 34 15	Abnormal and Emergency «NAV TCAS FAULT» 03 02 34 P10	01.34.01: PAS D'ACTION REQ			
FLAG ON CAPT PFD FD						

FLAG ON F/O PFD FD						
F/CTL RUD TRV LIM FAULT	Procédure Anormale Urgence Secours (U/S) ECAM «F/CTL RUD TRV LIM FAULT» 03 02 27 19	Abnormal and Emergency «F/CTL RUD TRV LIM FAULT» 03-02-27 P18				
FLAG ON CAPT PFD FPV						
FLAG ON F/O PFD FPV						
NAV ADR DISAGREE	Procédure Anormale Urgence Secours ECAM «F/CTL (NAV) ADR Disagree» 03 02 34 01 Renvoie a «NON ECAM ADR CHECK PROC» QRH 01.34.04 à 01.34.07 et TU 03 02 34 143 A 150	Abnormal and Emergency «NAV ADR DISAGREE» 3 02 34 P16 Renvoie a «ADR CHECK PROC» QRH 2.21 et FCOM 3 02 34 P17 A 22				
	«Vol avec IAS douteuse / ADR CHECK PROC» 03-02-34-143 A 150[1] Renvoie a «NON ECAM VOL EN ATMOSPHERE TURBULENTE» 02-03.30.01 à 03	***«Unreliable speed indic / ADR CHECK PROC» 3-02-34 P17 A 22***[1] Renvoie a «FCOM 3.04.91 SEVERE TURBULENCE»	01.34.04 à 01.34.07	2.21		AO-034 p 1 à 8: UNRELIABLE SPEED INDICATION - ADR CHECK PROC / UNRELIABLE SPEED INDICATION
	«VOL EN ATMOSPHERE TURBULENTE» 02-03.30.01 à 03	FCOM 3.04.91 SEVERE TURBULENCE	03.10.01	5,01		ADVERSE WEATHER SI-010 TURBULENCE p 7 à 9 including «Use of radar»

[1] Les éléments en italique et en gras font référence à des « memory item » ou manoeuvres d'urgence à restituer de mémoire.

	Technical Background : TU 02.02.34 P 1 à 15 RADAR METEO	Technical Background : FCOM 03.03.34 WEATHER RADAR			RADAR METEO MAC 02.02.04 P1 A 43	ADVERSE WEATHER SI-070 USE OF RADAR
F/CTL PRIM 1 FAULT	Procéeure Anormale Urgence Secours ECAM «F/CTL PRIM 1 (2) (3) FAULT» 03.02.27.16 à 17	Abnormal and Emergency F/CTL PRIM 1 (2) (3) FAULT 3 02 27 P 6				
F/CTL SEC 1 FAULT	Procéeure Anormale Urgence Secours ECAM «F/CTL SEC 1 (2) FAULT» 03.02.27.21	Abnormal and Emergency F/CTL SEC 1 (2) FAULT 3-02-27 P 7				
ADVISORY CABIN VERTICAL SPEED	TU 03.03.90.01 Procédures Anormales Complémentaires : ADVISORY	3.02.80 p 14 ECAM ADVISORY CONDITIONS	04.10.01	2.38		
Panne mentionnée en colonne «Fault» au CFR avec un cockpit effect ISIS SPEED OR MACH FUNCTION						

annexe 6
Plan de vol ATC fourni par Air France

LFPGYEYX SBGLYOYX SBGLAFRK
(FPL-AFR447-IS
-A332/H-SPRIJWYG/SD
-SBGL2200
-N0481F350 DCT AWAKE UZ10 FLIRT/M082F350 UZ10 NTL UN873
INTOL/M082F350 UN873 SALPU/M082F370 UN873 ORARO/M082F370 UN873
ISOKA/N0471F370 UN873 LIMAL/N0466F390 UN873 SAMAR/N0468F380 UN873
BAROK/N0465F400 DCT PORTA UN873 MOKOR UN741 NTS/N0484F280 UN741
KEPER UT182 ROMLO/N0483F270 DCT
-LFPG1034 LFPO
-EET/SBBS0028 SBRE0050 SBAO0302 GOOO0349 GVSC0512 GCCC0606 LIMAL0643
GMMM0731 LPPC0816 LECM0851 LFRR0930 LFFF1004 RIF/ZMR UN976 DGO UL176 SSN UP181 ENSAC SOLSO DIRAX LFBD REG/FGZCP SEL/CPHQ DAT/SV DOF/090531)

annexe 7
Etude des routes du dossier et des carburants associés

Les trois plans de vol proposés sont :

(1) ETF M 0.82	charge 38,6 t	TOF 68,4 t	TOW 233,0 t
(2) DCT M 0.82	charge 37,5 t	TOF 69,5 t	TOW 233,0 t
(3) DCT M 0.81	à la charge prévue de 37,8 t	TOF 68,5 t	TOW 232,3 t

La route est identique sur les trois plans de vol.

L'ETF permet d'augmenter la charge offerte en réduisant la réserve de route. Cette dernière est calculée depuis un point de décision jusqu'à la destination finale. La réserve de route passe donc de 1 450 Kg à 360 Kg.

Les niveaux de vol, les délestages et la masse de décollage (TOW) des plans de vol 1 et 2 sont identiques. La différence de charge est compensée par du carburant. Le suivi de navigation (plan de vol développé) est donc utilisable pour les plans de vol 1 et 2.

Le plan de vol ATC en ETF est déposé jusqu'à destination avec (en case 18) une actualisation de clairance en vol (RIF) comportant le point de décision, la route et l'escale technique facultative.

- Résumé des quantités carburant des plans de vol d'exploitation présentés à l'équipage

Plan de vol 1

ETF - CHO MAXI 38T6 - M.82 - ETOPS 120 - ETP 1-C-P NAT-SID /

AFR 447/31 GIG /CDG ETD 22.00 A330/ZCP RC:5480 PLAN:0101
320.M82

	CARBUR	REEL	TEMPS	DIST	K 1.349	PREVU	LIMIT
DEL CDG	063950	.....	10.34	5014	M.B.CORR.	126000	
DEG ORY	001900	.....	00.21	0083	CHARGE	**038590**	
R.RTE	000360	.....	00.03		ZFW	164590	170000
RES FIN	002200	.....	00.30		TTL CARB	068910	109330
CARBU SUP	000000	.....	00.00		TOW	233000	233000
TR CARBU	000000	.....	00.00		DELEST	063950	
ROULAGE	000500	.....	00.20		LAW	169050	182000
TTL CARB	**068910**	.....	11.28				

Plan de vol 2

DCT - M.82 - CHO MAXI 37T3 - ETOPS 120 - ETP 1-C-P NAT-SID /

AFR 447/31 GIG /CDG ETD 22.00 A330/ZCP RC:5475 PLAN:0101
320.M82

	CARBUR	REEL	TEMPS	DIST	K 1.350	PREVU	LIMIT
DEL CDG	063940	.....	10.34	5014	M.B.CORR.	126000	
DEG ORY	001900	.....	00.21	0083	CHARGE	**037500**	
R.RTE 3%	001460	.....	00.13		ZFW	163500	170000
RES FIN	002200	.....	00.30		TTL CARB	070000	109330
CARBU SUP	000000	.....	00.00		TOW	233000	233000
TR CARBU	000000	.....	00.00		DELEST	063940	
ROULAGE	000500	.....	00.20		LAW	169060	182000
TTL CARB	**070000**	.....	11.38				

Plan de vol 3

```
DCT - M.81 - ETOPS 120 - ETP 1-C-P NAT-SID /

     AFR   447/31  GIG /CDG   ETD 22.00  A330/ZCP   RC:5492 PLAN:0101
     ----------------------               310.M81
                CARBUR  REEL   TEMPS  DIST  K 1.363     PREVU   LIMIT
     DEL CDG    062940  .....  10.40  5014  M.B.CORR.   126000
     DEG ORY    001890  .....  00.21  0083  CHARGE      037800
     R.RTE  3%  001450  .....  00.15        ZFW         163800  170000
     RES FIN    002200  .....  00.30        TTL CARB    068980  109330
     CARBU SUP  000000  .....  00.00        TOW         232280  233000
     TR CARBU   000000  .....  00.00        DELEST      062940
     ROULAGE    000500  .....  00.20        LAW         169340  182000
     TTL CARB   068980  .....  11.46
```

❒ Résumé des quantités de carburant de l'état de charge définitif

Masse avion décollage	232757 Kg	
Carbu bloc	70900 Kg	
Carbu éstimé décollage	70400 Kg	(500kg roulage)

❒ Résumé des quantités de carburant du bon de plein avec explications.

Bon de plein		
Carburant coulé	81001 litres	
Densité	0.789	
soit	63909 Kg	
Carburant restant bloc arrivé	7400 Kg	idem ATL
Soit	71309 Kg	
Conso APU	409 Kg	(estimation par l'équipage cohérente avec une consommation APU de 200 Kg/h avec prélèvement air et électricité actifs durant l'escale)
Soit	70900 Kg	
Estimation carburant roulage	500 Kg	
Soit carburant estimé décollage	70400 Kg	

L'analyse de la charge et de la quantité de carburant au décollage (TOF) permet de confirmer la possibilité du vol direct à M0.82, avec une réduction de charge de 1,1 t et l'emport de 0,9 t de carburant supplémentaire :

Rappel :

(1)	ETF M 0.82	charge 38,6 t	TOF 68,4 t
(2)	DCT M 0.82	charge 37,5 t	TOF 69,5 t
	---	---	---
	REEL	charge 36,4 t	TOF 70,4 t

Le carburant minimum requis à la mise en route pour effectuer l'étape sans ETF à M 0.82 à la masse au décollage de 233 t était de 70 t (69,5 t + 0,5 t de roulage).

Le carburant opérationnel décidé par le commandant de bord était de 70,9 t, conformément au plan de vol exploitation visé par ce dernier.

Notes :

❒ Carburant roulage :

Roulage forfaitaire retenu au stade de la préparation du vol de vingt minutes soit 500 Kg ce qui est cohérent avec la séquence de repoussage et mise en route jusqu'au décollage.

❒ Carburant réglementaire :

Le carburant réglementaire nécessaire à l'exécution d'une étape est établi au lâcher des freins avant décollage soit 69,5 t dans ce cas.

annexe 8
Extrait du manuel d'Air France relatif à la politique d'emport carburant

5. CALCUL ET VERIFICATION DU CARBURANT

Le PNT doit vérifier le **carburant minimum requis** et le corriger si nécessaire. Le CDB décide ensuite du carburant opérationnel.

5.2. METHODE DE CALCUL

a) Déterminer le **carburant minimum requis** pour l'étape. Si OCTAVE est utilisé (cas général), les PNT actualisent ses éléments :

Délestage : masse (facteur k), QFU(s), niveau choisi / plan de vol ATC, phénomènes météorologiques, demande de température soute, tolérances techniques…

Dégagement : autre terrain, 2ème dégagement…

Roulage : dégivrage, LVP, fermeture piste…

ATTENTION ———————————————

Les Summary des plans de vol accélérés n'intègrent pas les éventuels carburants additionnels ou les contraintes de carburant critique ETOPS.
*Si une telle contrainte affecte le plan de vol Octave principal et que le CDB décide d'utiliser un profil de vol accéléré, il doit demander au DISPATCH l'édition d'un plan de vol OCTAVE accéléré **développé** qui présentera les nouvelles quantités réglementaires.*

———————————————————————

b) Déterminer, si nécessaire, le carburant maximum résultant de la limitation opérationnelle du jour.

c) Déterminer le carburant qui correspond au plus près à ses besoins pour l'étape, en additionnant :

- la quantité carburant souhaitée à l'arrivée à l'aérodrome de destination,
- la quantité correspondant au transport carburant à titre opérationnel ou économique,
- le délestage d'étape actualisé des quantités correspondant à la stratégie retenue pour le vol,
- le roulage.

Au vu de ces éléments et des valeurs associées aux couvertures statistiques 90% ou 99%, le CDB décide de la quantité de carburant au départ.

Rappel : dans le cadre de la procédure plein partiel, le carburant calculé au stade de la préparation des vols sera reconsidéré à H-30.

annexe 9
Procédure VOL AVEC IAS DOUTEUSE / ADR CHECK

VOL AVEC IAS DOUTEUSE / ADR CHECK PROC *(A330)*

Une indication erronée de la vitesse peut être la conséquence de l'endommagement du radome ou d'un défaut de sonde pitot ou de prise statique (panne réchauffage, obstruction, déformation etc...).
Si les prises de pression statique sont affectées, l'altitude affichée peut être erronée.
Des indications anémométriques erronées ne peuvent pas être détectées par les ADIRU.
Les calculateurs des commandes de vol et de guidage (FG) rejettent normalement les ADR fournissant des vitesse / altitude erronées, à condition qu'un écart significatif soit détecté.
Toutefois, ils ne seront pas capables de rejeter deux altitudes ou vitesses erronées qui dérivent parallèlement et d'une même grandeur. Dans ce cas exceptionnel, les systèmes avion considèreront la source correcte comme étant fausse, et la rejetteront. Les calculateurs des commandes de vol et de guidage utiliseront les deux ADR incorrectes pour leurs calculs.
Par conséquent, dans toutes les situations d'indications anémomètriques erronées, l'équipage doit identifier la (ou les) ADR en défaut, et la (ou les) sélecter sur OFF (selon la procédure ADR CHECK PROC). Si toutes les ADR donnent des informations erronées, garder une ADR sur ON pour conserver la protection Stall Warning. Pendant la durée de l'identification de la panne, les lois de commandes de vol pouvant être affectées, il est recommandé de manoeuvrer l'avion avec précaution jusqu'à ce que les ADR soient sélectées sur OFF.

- **Les informations de vitesse ou d'altitude erronées**, qui peuvent être mises en évidence par :
  - . a la suite d'une alarme ECAM F/CTL ADR DISAGREE, s'il y a un écart de vitesse (>16kt) entre les 2 ADR restantes
  - . des écarts de vitesse entre les ADR 1, 2, 3 et l'anémomètre de secours, ou
  - . des indications de vitesse ou d'altitude gelées, fluctuantes, croissant / décroissant inopinément, ou
  - . une corrélation anormale des paramètres de vol basiques (vitesse, assiette, poussée, taux de montée), ou
  - . un comportement anormal des AP / FD / ATHR, ou
  - . une incohérence entre la hauteur radio sonde et l'altitude barométrique, ou
  - . une réduction du bruit aérodynamique avec une vitesse qui augmente, ou un accroissement du bruit aérodynamique avec une vitesse qui diminue, ou
  - . l'impossibilité de sortir les trains d'atterrissage par la commande normale des trains, ou
  - . une alarme STALL ou OVERSPEED, ou un message ECAM Flap RELIEF en contradiction avec au moins une des vitesses indiquées; dans ce cas :
    - tenir compte de l'alarme décrochage qui peut être déclenchée en loi alternate ou directe. Fonction de l'angle d'incidence; cette alarme n'est pas affectée par des indications anémométriques erronées.

- selon la panne, l'alarme OVERSPEED peut être fausse ou avérée. Le BUFFETING, associé à l'alarme OVERSPEED VFE, est un symptôme de survitesse réelle.

Règles d'application de la procédure :

- **Si les informations erronées de vitesse ou d'altitude n'affectent pas la sécurité du vol** (trajectoire stabilisée), identifier la ou les ADR en défaut et la mettre sur OFF. Pour cela il est nécessaire de comparer les vitesses avec celles des tableaux de vitesse ou vol en turbulence.

- **Si la sécurité du vol est affectée** (toutes les indications de vitesse sont erronées, ou si l'indication de vitesse fausse ne peut être clairement identifiée), sélecter deux ADR sur OFF pour éviter que les lois de commandes de vol reçoivent des informations erronées des indications anémométrique et **appliquer la procédure suivante.**
  . Appliquer les actions immédiates (équivalent de la manoeuvre d'urgence) : AP/FD/ ATHR OFF, poussée et attitude,
  . Une fois stabilisé, en fonction de la phase de vol, afficher une poussée et une assiette et déterminer la ou les ADR en défaut.
  . Si la ou les ADR en défaut ne peuvent être identifiées, sélecter deux ADR sur OFF

ATTENTION ————————————————————————————————

En cas de détérioration du radome, la traînée sera augmentée et par conséquent le N1 sera augmenté de 3 % (CRZ) ou 1,5 % (APP). Le FF augmentera d'environ 13 %.

——

Effectuer les actions immédiates suivantes (Manoeuvre d'urgence):

- AP / FD ..... **OFF**

- A/THR ..... **OFF**

- POUSSEE / ASSIETTE ..... **SELECTEES**

➤ Si la panne survient avant la réduction de poussée :

- POUSSEE / ASSIETTE ..... **TOGA / 15°**

➤ Si la panne survient après la réduction de poussée :

- Au dessous du FL 100

  - POUSSEE / ASSIETTE ..... **CLB / 10°**

- Au dessus du FL 100

  - POUSSEE / ASSIETTE ..... **CLB / 5°**

- VOLETS ..... **CONFIG MAINTENUE**

- SPEED BRAKES ..... **VERIFIES RENTRES**

- TRAIN ..... **RENTRE**

A l'altitude de sécurité ou d'attente effectuer un palier.

- ALTITUDE GPS ..... **AFFICHEE AU MCDU**

- ATTITUDE / POUSSEE ..... **AJUSTEES**

Ajuster l'assiette et la poussée en fonction du tableau ci-après.

POUSSEE / ASSIETTE pour le FL d'attente

BECS / VOLETS SORTIS				
		Au dessous de 160t	160t à 190t	Au dessus de 190t
CONF	VITESSE	ASSIETTE (°) / POUSSEE (% N1)		
3	F	7 / 64.3	7.5 / 70.7	7.5 / 76.3
2	F	8.5 / 62.4	9 / 69.2	9 / 75
1 + F	S	6 / 60.5	6 / 66.9	6 / 72.7
1	S	9 / 59.5	9 / 65.7	9 / 71.6

CONFIGURATION LISSE				
FL	VITESSE	ASSIETTE (°) / POUSSEE (% N1)		
Au dessous FL 250	240 kt	2.5 / 68.1	4 / 72.6	5 / 75.7
FL 250 à FL 370	260 kt	2 / 83.9	3 / 87.9	3.5 / 90.0
Au dessus FL 370	M 0.80	2 / 90.0	2.5 / 93.4	3 / 94.3

LORSQUE LA TRAJECTOIRE EST STABILISEE

- PROBE / WINDOW HEAT . . . . . ON

Recommandations :

- Respecter l'alarme STALL et ignorer le message STATUS "RISK OF UNDUE STALL WARNING" affiché à l'ECAM.
- Pour contrôler la vitesse se référer à la vitesse sol des IRS ou des GPS

Si les indications d'altitude sont affectées.

- Ne pas utiliser le FPV et/ou la V/S, ils ne sont pas fiables.
- L'altitude transmise par le transpondeur à l'ATC n'est pas fiable, informer le contrôle aérien.
- Utiliser l'altitude GPS sur la page GPS Monitor du MCDU : les variations d'altitude peuvent être utilisées pour le contrôle de l'altitude de vol. Cette indication est indépendante de toutes informations anémométriques.
- Utiliser la hauteur radio sonde.

ATTENTION ————————————————————————————————

En cas de détérioration du radome, la traînée sera augmentée et par conséquent le N1 sera augmenté de 3 % (CRZ) ou 1,5 % (APP).
Le FF augmentera d'environ 13 %.

——

- ADR EN DEFAUT. . . . . DETERMINEE(S)

Comparer toutes les indications de vitesse avec celles des tableaux du QRH :
*. **VITESSES** d'utilisation pour les vitesses F ou S (QRH 02.01.XX).*
*. **VOL EN TURBULENCE** pour les vitesses en configuration lisse (QRH 03.10.01).*

➤ Si les informations d'au moins une ADR sont fiables :

- ADR EN DEFAUT . . . . . OFF

- ADR RESTANTE (S). . . . . VERIFIEE(S)

Vérifier les autres sources pour valider l'ADR restante:
- *GPS : altitude*
- *GPS et IRS : vitesse sol (prenant en compte l'altitude et les effets du vent),*

➤ Si les ADR en défaut ne peuvent être identifiées ou si toutes les ADR sont en défaut :

- UNE ADR . . . . . LAISSEE SUR ON

Conserver une ADR sur ON, pour garder la protection Stall Warning.

- DEUX ADR . . . . . OFF

Cela évite que les lois de commandes de vol soient affectées en utilisant deux sources cohérentes mais non fiable provenant des ADRs.

- EFIS DMC SWITCHING . . . . . COMME NECESSAIRE

- Retour vers l'aéroport de décollage :

  Il est préférable de garder la configuration de décollage.

  Se référer aux tableaux ci-après pour Approches initiale et intermédiaire et Approche finale.

- Après décollage, si le vol est poursuivi :

  Monter à l'altitude de sécurité ou à l'altitude du circuit d'attente

  - POUSSEE. . . . . CLB

  - VOLETS . . . . . RENTRES

  Une fois la poussée CLB affichée, rentrer les volets de la position 3 ou 2 vers 1.
  Lorsque l'assiette est inférieure à l'assiette de la vitesse S (Cf tableau - POUSSEE / ASSIETTE pour le FL d'attente ci-dessus) les volets peuvent être rentrés de la position 1 à 0.
  Une fois en configuration lisse, se référer aux tableaux ci-après pour la montée, croisière, descente et l'approche.

- Autres cas :

  Se référer aux tableaux ci-après pour la montée, croisière, descente et l'approche.

MONTEE

- Afficher la poussée CLB.

CONFIGURATION LISSE				
		< à 160t	160 t à 190 t	> à 190 t
FL	VITESSE	ASSIETTE (°) / POUSSEE (% N1)		
< au FL 100	240 kt	12.5 / CLB	11 / CLB	10.5 / CLB
FL 100 - FL 150		10.5 / CLB	9.5 / CLB	9 / CLB
FL 150 - FL 200		10.5 / CLB	8.5 / CLB	8.5 / CLB
FL 200 - FL 250		7.5 / CLB	7.5 / CLB	7.5 / CLB
FL 250 - FL 300	260 kt	5.5 / CLB	5 / CLB	5.5 / CLB
FL 300 - FL 370		4 / CLB	4 / CLB	4.5 / CLB
> au FL 370	M 0.80	3.5 / CLB	3.5 / CLB	3.5 / CLB

CROISIERE

- Ajuster le N1 de manière à maintenir un niveau de vol avec une assiette constante. Lorsque le temps le permet, se reporter au tableau "VOL EN TURBULENCE " (QRH) et ajuster l'assiette pour maintenir le niveau de vol.

CONFIGURATION LISSE				
		< à 160t	160 t à 190 t	> à 190 t
FL	VITESSE	ASSIETTE (°) / POUSSEE (% N1)		
< au FL 250	240 kt	2.5 / 68.1	4 / 72.6	5 / 75.7
FL 250 - FL 370	260 kt	2 / 83.9	3 / 87.9	3.5 / 90.0
> au FL 370	M 0.80	2 / 90.0	2.5 / 93.4	3 / 94.3

DESCENTE

- Afficher la poussée IDLE

CONFIGURATION LISSE				
		< à 160t	160 t à 190 t	> à 190 t
FL	VITESSE	ASSIETTE (°) / POUSSEE (% N1)		
> au FL 370	M 0.80	- 0.5 / IDLE	0 / IDLE	1 / IDLE
FL 370 - FL 250	260 kt	- 1 / IDLE	0.5 / IDLE	1.5 / IDLE
FL 250 - FL 100	240 kt	- 0.5 / IDLE	0.5 / IDLE	2 / IDLE
< au FL 100	240 kt	- 0.5 / IDLE	0.5 / IDLE	2.5 / IDLE
< au FL 100	G - DOT	2.5 / IDLE	2.5 / IDLE	2.5 / IDLE

APPROCHES INITIALE ET INTERMEDIAIRE EN PALIER

- La phase d'approche entre Green Dot et la configuration finale (CONF 3) est effectuée en palier.

EN PALIER TRAIN RENTRE				
		< à 160t	160 t à 190 t	> à 190 t
CONF	VITESSE	ASSIETTE (°) / POUSSEE (% N1)		
0	G-DOT	5 / 55.3	5.5 / 61.5	5 / 67.4
1	S	9 / 59.5	9 / 65.8	9 / 71.7
1 + F (a)	S	6 / 60.5	6 / 66.9	6 / 72.7
2	F	6 / 64.0	6 / 69.2	6 / 75.0
EN PALIER TRAIN SORTI (b)				
3	F	6.5 / 69.1	6.5 / 75.4	6.5 / 81.5

(a) Etant donné que la vitesse est incertaine, le SFCC peut sélecter la CONF 1 + F au lieu de la CONF 1
(b) Si la vitesse fournie par les ADR est supérieur à 280kts, il sera nécessaire d'effectuer une sortie du train par gravité.

APPROCHE FINALE SELON UNE PENTE DE - 3°

TRAIN SORTI				
		< à 160t	160 t à 190 t	> à 190 t
CONF	VITESSE	ASSIETTE (°) / POUSSEE (% N1)		
3	VLS + 10	4 / 48.2	4 / 53.2	4.5 / 59.0

ATTERRISSAGE

- DISTANCE D'ATTERRISSAGE . . . . . DETERMINEE
Se reporter au tableau de corrections après panne DOUBLE ADR FAULT Cf TU 03.02.90.1xx ou QRH.

BEA

Bureau d'Enquêtes et d'Analyses
pour la sécurité de l'aviation civile

Zone Sud - Bâtiment 153
200 rue de Paris
Aéroport du Bourget
93352 Le Bourget Cedex - France
T : +33 1 49 92 72 00 - F : +33 1 49 92 72 03
www.bea.aero

N° ISBN : 978-2-11-098702-0

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE