

1. Le vol prévu

L'Airbus A330-200 immatriculé F-GZCP, vol AF 447, décolle de l'aéroport de Rio de Janeiro Galeão le 31 mai 2009 à 22 h 29⁽¹⁾ à destination de l'aéroport de Paris Charles de Gaulle qu'il doit atteindre après 10 h 34 min de vol.

L'avion emporte 216 passagers, de 32 nationalités, 9 hôtesses et stewards et trois pilotes dont un commandant de bord et deux copilotes⁽²⁾. Le carburant embarqué donne à l'avion une autonomie estimée à plus de 11 h 30 min de vol.

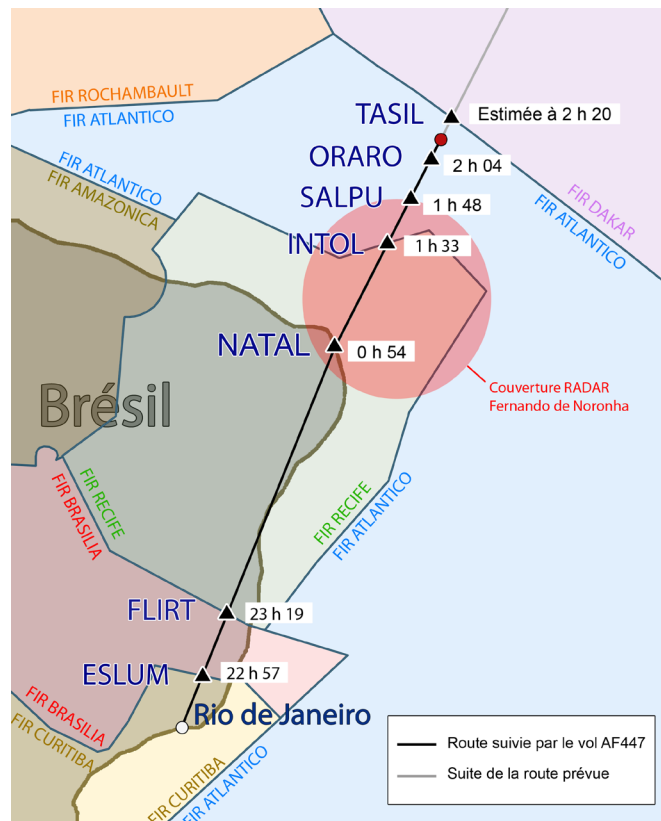
Au cours du vol, l'avion doit traverser des espaces aériens gérés par le Brésil, le Sénégal, le Cap-Vert, l'Espagne (Canaries), le Maroc, l'Espagne (Madrid) et la France. Une partie des espaces gérés par les centres océaniques d'Atlantico (Brésil) et de Dakar (Sénégal) sont hors de portée des radars et de la VHF.

Les communications avec ces deux derniers centres se font essentiellement par radio HF⁽³⁾ qui est le moyen de communication primaire.

⁽¹⁾Les heures sont exprimées en temps universel coordonné. Il faut ajouter 2 heures pour obtenir l'heure à Paris le jour du vol, retrancher 3 heures pour obtenir l'heure à Rio de Janeiro.

⁽²⁾L'équipage technique est normalement composé de 2 pilotes, mais il est ici renforcé compte tenu de la durée du vol.

⁽³⁾Les liaisons par HF sont fréquemment perturbées par des phénomènes ionosphériques.



L'avion doit traverser la zone de convergence intertropicale au large des côtes brésiliennes. Cette zone est le siège de phénomènes orageux caractérisés par des turbulences et des précipitations. La situation météorologique du jour de l'accident n'est pas exceptionnelle pour un mois de juin dans cette zone.

2. La perte de contact avec l'avion et le déclenchement des secours

A 1 h 35, l'équipage confirme au contrôleur d'Atlantico la réception d'un message : ce sera le dernier contact entre le sol et l'avion. Celui-ci aurait dû ensuite contacter le contrôle de Dakar avant l'entrée dans son espace prévue au point TASIL à 2 h 20⁽⁴⁾.

⁽⁴⁾L'accident a eu lieu à 2 h 14 min 28.

A 3 h 45 le centre suivant de Sal (Cap Vert), ne voyant pas l'avion sur son radar, appelle le contrôleur de Dakar. S'ensuivent des échanges confus entre les différents centres de contrôle concernés par la route de l'avion, les centres de recherche et sauvetage associés et le centre opérationnel d'Air France. A 5 h 23, la phase initiale de recherches, qui consiste à recueillir des renseignements sur le vol, est lancée par le centre d'Atlantico, mais il faudra attendre 9 h 09, soit plus de six heures trente après l'accident, pour que le centre de Brest déclenche la phase de détresse mettant en œuvre les secours.

Le premier avion de recherche brésilien décolle à 11 h 04. Il est suivi à 12 h 14 par le Bréguet Atlantic stationné à Dakar, mis à disposition des autorités sénégalaises par la France.

Les corps de cinquante personnes et les premiers débris de l'avion ont été retrouvés entre le 6 et le 18 juin 2009.

3. L'enquête jusqu'à la lecture des enregistreurs⁽⁵⁾

Les seuls éléments à la disposition des enquêteurs à la suite de la découverte des débris flottants et jusqu'à la lecture des enregistreurs en mai 2011 provenaient :

- des informations sur l'avion et l'équipage recueillies au sein de la compagnie ;
- des informations contenues dans les 24 messages de maintenance (ACARS) transmis automatiquement par l'avion ;
- d'un message donnant la position de l'avion à 2 h 10 ;
- de l'observation des débris.

Ces premiers éléments ont permis d'établir :

- que l'avion était entier au moment de l'impact ;
- qu'il avait heurté la surface de l'eau avec une assiette positive, une faible inclinaison et une vitesse verticale importante ;
- qu'il n'y avait pas eu de préparation à l'amerrissage ;
- qu'il n'y avait pas eu de dépressurisation ;
- qu'une incohérence dans les vitesses mesurées était survenue peu après 2 h 10 ;
- que cette incohérence avait provoqué la perte de certains automatismes de vol ;
- que l'accident était survenu entre 2 h 14 min 26 et 2 h 15 min 14.

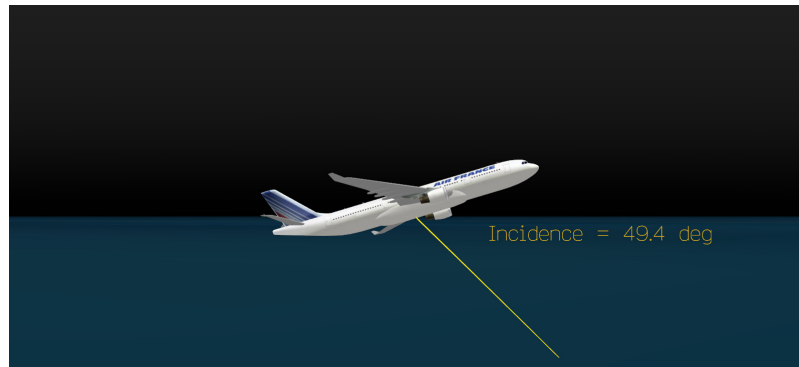
L'obstruction des sondes Pitot par des cristaux de glace avait été identifiée comme le premier d'une série d'événements conduisant à l'accident. Cependant, à ce stade, les informations disponibles ne permettaient pas de connaître les circonstances de l'accident. La localisation de l'épave et la récupération des enregistreurs étaient indispensables à la poursuite de l'enquête.

Ce n'est que le 2 avril 2011 que l'épave a été localisée, à proximité de la dernière position connue, par 3 900 m de profondeur, lors de la quatrième phase de recherches sous-marines. Les enregistreurs de vol ont été récupérés les 1^{er} et 3 mai 2011 et ont été lus les 12 et 13 mai 2011 dans les locaux du BEA. Leur lecture a permis de connaître les circonstances précises de l'accident. La poursuite de l'enquête s'est alors concentrée sur les deux dernières heures de vol qui avaient été découpées en trois phases⁽⁶⁾ :

- phase 1 : du début de l'enregistrement phonique à la déconnexion du pilote automatique ;
- phase 2 : de la déconnexion du pilote automatique au déclenchement de l'alarme de décrochage ;
- phase 3 : du déclenchement de l'alarme de décrochage jusqu'à la fin du vol.

⁽⁵⁾L'historique des recherches de surface et sous-marines menées entre la date de l'accident et mai 2011 fait l'objet d'un rapport séparé.

⁽⁶⁾Cf. Rapport d'étape n° 3.



Attitude de l'avion dans les dernières secondes de vol

4. Les causes de l'accident

L'obturation des sondes Pitot par cristaux de glace en croisière était un phénomène connu mais mal maîtrisé par la communauté aéronautique à l'époque de l'accident. D'un point de vue opérationnel, la perte totale des informations anémométriques qui en résulte était une défaillance répertoriée. Après des réactions initiales relevant du « basic airmanship », elle était censée être diagnostiquée par les pilotes et gérée si besoin par des mesures conservatoires sur l'assiette et la poussée indiquées dans la procédure associée.

La survenue de la panne dans le contexte du vol en croisière a totalement surpris les pilotes du vol AF 447. Les apparentes difficultés de pilotage à haute altitude dans la turbulence ont entraîné un sur-pilotage en roulis et une brusque action à cabrer de la part du PF. La déstabilisation résultant de la trajectoire ascendante et l'évolution de l'assiette et de la vitesse verticale se sont dès lors ajoutées aux indications de vitesse erronées et à des messages ECAM n'aidant pas au diagnostic. L'équipage, progressivement déstructuré, n'a vraisemblablement jamais compris qu'il était confronté à une « simple » perte des trois sources anémométriques.

Dans la minute suivant la déconnexion du pilote automatique, l'échec des tentatives de compréhension de la situation et la déstructuration de la coopération de l'équipage se nourrissent l'un l'autre jusqu'à la perte totale du contrôle cognitif de la situation. Les hypothèses comportementales sous-jacentes au classement comme « majeure » de la perte des informations anémométriques ne sont pas vérifiées dans le contexte de l'accident. La confirmation de ce classement suppose donc un travail complémentaire de retour d'expérience opérationnel permettant de faire évoluer si besoin la formation des équipages, l'ergonomie des informations qui leur sont présentées et la conception des procédures.

L'avion est entré dans un décrochage prononcé, annoncé par l'alarme de décrochage et un fort *buffet*. Malgré ces symptômes persistants, l'équipage n'a jamais compris qu'il décrochait et en conséquence jamais appliqué de manœuvre de récupération. L'association de la réalisation ergonomique de l'alarme, des conditions dans lesquelles les pilotes de ligne sont formés et exposés au décrochage dans leur apprentissage professionnel, et du processus de maintien des compétences, ne génère pas les comportements attendus avec une fiabilité acceptable.

Dans son état actuel, la reconnaissance de l'alarme de décrochage, même associée au *buffet*, suppose que l'équipage attribue à l'alarme une « légitimité » minimum. Ceci suppose à son tour une expérience préalable suffisante du décrochage, un minimum de disponibilité cognitive et de compréhension de la situation, et de connaissance de l'avion (et de ses modes de protection) et de sa physique du vol. L'examen de la

formation actuelle des pilotes de ligne ne permet pas de trouver en général une trace convaincante de la construction et du maintien des compétences associées.

Plus généralement, le double échec des réponses procédurales prévues montre les limites du modèle de sécurité actuel. Lorsqu'une action de l'équipage est attendue, il est toujours supposé qu'il aura une capacité de maîtrise initiale de la trajectoire et de diagnostic rapide permettant d'identifier la bonne entrée dans le dictionnaire de procédures. Un équipage peut être confronté à une situation imprévue entraînant une perte momentanée mais profonde de compréhension. Si dans ce cas les capacités supposées de maîtrise initiale puis de diagnostic sont perdues, alors le modèle de sécurité se retrouve en « défaut de mode commun ». Lors de cet événement, l'incapacité à maîtriser initialement la trajectoire a aussi rendu impossible la compréhension de la situation et l'accès à la solution prévue.

Ainsi, l'accident résulte de la succession des événements suivants :

- l'incohérence temporaire entre les vitesses mesurées, vraisemblablement à la suite de l'obstruction des sondes Pitot par des cristaux de glace ayant entraîné notamment la déconnexion du pilote automatique et le passage en loi *alternate* ;
- les actions inappropriées sur les commandes déstabilisant la trajectoire ;
- l'absence de lien, de la part de l'équipage, entre la perte des vitesses annoncée et la procédure adaptée ;
- l'identification tardive par le PNF de l'écart de trajectoire et la correction insuffisante par le PF ;
- la non-identification par l'équipage de l'approche du décrochage, l'absence de réaction immédiate et la sortie du domaine de vol ;
- l'absence de diagnostic de la part de l'équipage de la situation de décrochage et, en conséquence l'absence d'actions permettant de la récupérer.

Ces événements peuvent trouver leurs explications dans la combinaison des facteurs suivants :

- les mécanismes de retour d'expérience de l'ensemble des acteurs qui n'ont pas permis :
 - de détecter la non-application récurrente de la procédure relative aux anomalies de vitesse et d'y remédier,
 - de s'assurer que le modèle de risque des équipages en croisière comprenait le givrage des sondes Pitot et ses conséquences ;
- l'absence d'entraînement, à haute altitude, au pilotage manuel et à la procédure relative aux anomalies de vitesse ;
- un travail en équipage affaibli par :
 - l'incompréhension de la situation à la déconnexion du PA,
 - une mauvaise gestion de l'effet de surprise qui a engendré une charge émotionnelle élevée des deux copilotes ;
- l'absence d'indication claire dans le poste de pilotage de l'incohérence des vitesses identifiée par les calculateurs ;

- ❑ la non-prise en compte de l'alarme de décrochage par l'équipage pouvant être la conséquence :
 - de l'absence d'identification de l'alarme sonore,
 - de l'apparition au début de l'événement d'alarmes furtives pouvant être considérées comme non pertinentes,
 - de l'absence d'information visuelle permettant de confirmer l'approche du décrochage après la perte des vitesses caractéristiques,
 - de la confusion possible avec une situation de survitesse dont le *buffet* est également considéré comme un symptôme,
 - des indications des directeurs de vol pouvant conforter l'équipage dans ses actions, bien qu'inappropriées,
 - de la difficulté à reconnaître et comprendre les implications d'une reconfiguration en loi *alternate* sans aucune protection en incidence.

5. Axes d'amélioration recommandés par le BEA

Outre les 16 recommandations déjà émises dans les rapports d'étape n° 2 et n° 3, 25 nouvelles recommandations de sécurité ont été émises par le BEA.

Elles portent sur :

- ❑ **la formation et l'entraînement des équipages :**
 - afin de parfaire leurs connaissances des systèmes avions et de la modification de leurs caractéristiques en cas de situation dégradée ou inhabituelle,
 - afin de compléter leur formation pratique et d'améliorer l'assimilation des notions de base théoriques, notamment sur les performances et la mécanique du vol,
 - afin de développer et maintenir une capacité de gestion des ressources de l'équipage (CRM),
 - afin d'améliorer la représentativité des simulateurs pour la reproduction réaliste des scénarios de situations anormales ;
- ❑ **l'ergonomie de l'avion** afin de fournir aux équipages des indications pour les aider à reconnaître et à maîtriser des situations inhabituelles ;
- ❑ **les processus de retour d'expérience** afin de mieux analyser les risques opérationnels liés aux facteurs humains pour faire évoluer les procédures et le contenu des formations ;
- ❑ **la surveillance de l'exploitant** pour améliorer son efficacité ;
- ❑ **le déclenchement des secours et la localisation de l'épave :**
 - afin d'accélérer la mise en œuvre de moyens de communications fiables, y compris dans les zones inhospitalières,
 - afin de revoir l'organisation des opérations de secours et de sauvetage en cas d'accident survenu en mer.

Les enquêtes du BEA sont conduites conformément aux dispositions du règlement 996/2010 du Parlement européen et du Conseil du 20 octobre 2010 sur les enquêtes et la prévention des accidents et incidents aériens.

Le BEA est l'autorité française d'enquêtes de sécurité de l'aviation civile. Ses enquêtes ont pour unique objectif l'amélioration de la sécurité aérienne et ne visent nullement la détermination des fautes ou responsabilités. Ses enquêtes sont indépendantes, distinctes et sans préjudice de toute action judiciaire ou administrative visant à déterminer des fautes ou des responsabilités.