



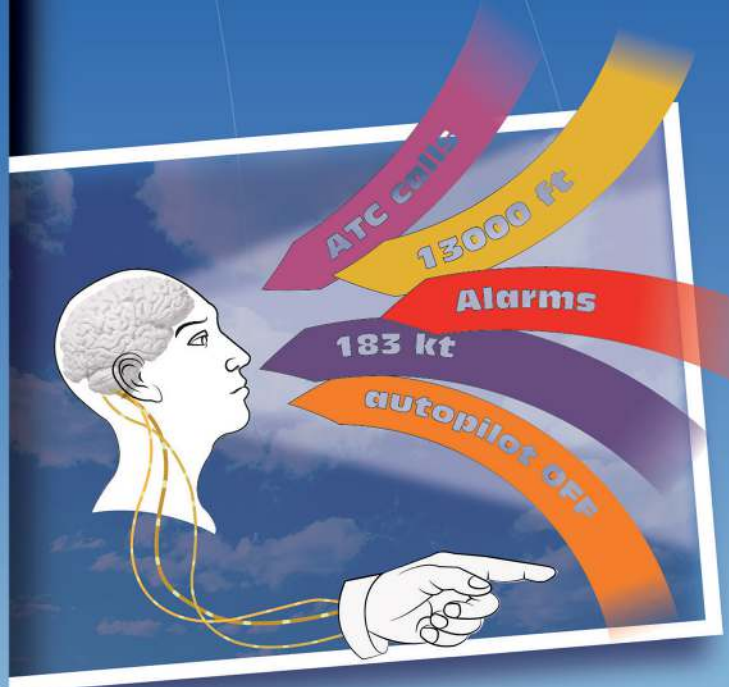
LES DOSSIERS

SITUATIONS INATTENDUES

Prévention / protection – Assistance aux équipages de l'aviation civile de transport

UNEXPECTED SITUATIONS

Prevention / protection – Assistance to civil air transport crews



SITUATIONS INATTENDUES

Prévention / Protection

**Assistance aux équipages de l'aviation
civile de transport**

UNEXPECTED SITUATIONS

Prevention / Protection

Assistance to civil air transport crews

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	9
RÉSUMÉ	13
1. INTRODUCTION	17
Objectif de l'étude	17
Préliminaires	19
Pourquoi une telle étude ?	19
Les éléments à traiter	21
L'agent Humain	23
Méthode	23
Cas étudiés	25
1) Asiana Airlines 214, 06/07/2013 (utilisation des automatismes)	25
2) Air France 447, 01/06/2009 (perte d'informations due au givrage)	25
3) Qantas QF32, 04/11/2010 (explosion de moteur)	25
4) US Airways 1549, 15/01/2009 (ingestion d'oiseaux)	27
5) Germanwings 18G, 24/03/2015 (suicide)	27
2. BASES	29
Rappels	29
Tout automatique ?	29
Principe de base	31
Autres principes	31
Comportements caractéristiques	31
1) Asiana Airlines 214 (échec)	33
2) Air France 447 (échec)	33
3) Qantas QF32 (succès)	33
4) US Airways 1549 (succès)	35
5) Germanwings 18G (échec)	35
Actions spécifiques	35
3. RECOMMANDATIONS	37
Côté humain	37
Améliorer la prise en compte du comportement humain	37
Caractériser les éléments déterminants	39
Nécessité d'améliorer l'interfaçage du cockpit	41
Réorientation de la sélection et de la formation des pilotes	43

Côté systèmes	43
Précautions de base.....	45
Cas opérationnels insuffisamment traités	47
Transition de gestion de trajectoire	47
Remise de gaz	47
Pilotage manuel, échanges d'énergies	49
Directeur de vol	49
L'incidence	49
Les alarmes	51
Difficile prévention d'un acte suicidaire	51

4. ANALYSE ET PROPOSITIONS DÉTAILLÉES

Aides à la gestion des situations	53
Gestion de l'espace.....	55
Gestion du temps disponible	57
Correction automatique de pannes	57
Maîtrise du stress.....	57
Aides à la gestion de la trajectoire	61
Continuité de contrôle automatique de trajectoire	61
Conception des automatismes	61
Remise de gaz automatique	63
Pilotage direct manuel.....	65
Basses vitesses, hautes incidences, décrochage	69
Évolution dans le plan vertical – échanges d'énergie	73
Directeur de vol, FD	75
Protections automatiques.....	81
Cas inhabituels délicats – exploitation des données recueillies	81
Aides à la conscience de situation	83
Généralités.....	83
Exploitation des paramètres de vol, de trajectoire	85
État des automatismes de conduite – FMA, Flight mode annunciator	87
État des systèmes – ECAM, EICAS	89
Alarmes	93
Procédures.....	95
Travail en équipage	97
Communications	99
Internes	99
Externes	99
Cas particulier (n°5)	99
Détection	99
Prévention	101

Annexe : La performance des équipages	103
---	-----

Glossaire	107
-----------------	-----

Personnes ayant participé à l'élaboration de ce dossier.....	109
--	-----

AVANT-PROPOS

Le monde du transport aérien est sévèrement touché par une double crise, celle due à la recherche de la « décarbonation » et celle plus soudaine et plus difficile à gérer liée à la pandémie COVID-19, et certains problèmes demeureront présents quelle que soit l'évolution. Pour tenter de progresser dans les domaines techniques, l'Académie s'attache à proposer des chemins vers des solutions.

Ce dossier traite de l'un d'eux, concernant la sécurité. Son importance s'accroît avec la constante avancée des systèmes automatiques de l'avion se substituant aux humains en charge de sa conduite. Il s'agit du comportement opérationnel humain face aux situations inattendues, cas assez fréquent pouvant devenir potentiellement dangereux malgré la planification de plus en plus poussée des missions de transport aérien. L'évolution prochaine annoncée de nouvelles configurations d'avions amplifie l'actualité de cette étude.

Alors que l'ergonomie est aujourd'hui bien maîtrisée dans un poste d'équipage, le comportement l'est beaucoup moins parce que difficile à caractériser. L'étude de base du dossier met en lumière la plupart des cas sensibles nécessitant une action concernant ce comportement, soit vers les humains, les pilotes, soit sur les systèmes, par nature plus aisément adaptables que les humains. Elle permet aussi de percevoir les limites d'action d'une intelligence artificielle se substituant au comportement humain.

L'étude est originale et se veut efficace. D'après l'analyse très détaillée de cinq accidents, choisis pour leur complémentarité, elle a permis de caractériser les déficiences humaines et les défauts des systèmes impliqués. L'ensemble a conduit à des recommandations aisément transposables par affinité à l'utilisation opérationnelle de tout avion.

Ces recommandations sont de deux sortes ; générales, insistant sur une prise de conscience de l'importance de recherches devenues nécessaires sur le comportement

humain ; et particulières s'appliquant à l'amélioration des systèmes actuels, surtout dans l'hypothèse de l'équipage à pilote unique.

Le dossier est dans la continuité des études précédentes sur l'évolution de l'automatisme dans le transport aérien. Son objectif est de procurer une aide aux constructeurs, aux formateurs et aux autorités de certification dans l'intégration de l'humain et des systèmes en aéronautique.



Anne-Marie Mainguy

Présidente de l'Académie de l'air et de l'espace (AAE)

RÉSUMÉ

L'imprévu est l'un des plus graves dangers de l'aéronautique civile. Ce constat vient des pilotes eux-mêmes. Cependant l'analyse d'accidents montre que **l'inattendu, prévisible** ou non⁽¹⁾, altère aussi le comportement des équipages par l'effet de surprise devant une situation d'évolution rapide potentiellement dangereuse.

Le défi pour l'AAE était de recommander des mesures d'amélioration de la sécurité en se basant essentiellement sur ce constat, alors qu'on observe d'autres causes d'incidents et accidents. L'hypothèse de base adoptée était que les accidents dus à l'inattendu comportent des caractéristiques « enveloppe » auxquelles beaucoup de ces autres causes se rattachent. Ce qui s'est vérifié.

Compte tenu de l'importance du problème sur la sécurité, du nombre élevé de paramètres techniques et humains à traiter pour être crédible, la décision a été prise de rédiger un dossier qui puisse surtout être utilisé comme un guide complémentaire tant par les industriels, les utilisateurs, les centres de formation, que par les certificateurs pour la conception et la préparation des opérations des avions de la prochaine génération.

Ce dossier, dans la continuité des dossiers de l'Académie traitant de l'évolution de l'aéronautique civile vers une automatisation de plus en plus poussée, vers l'équipage réduit à un seul pilote en particulier puisqu'il faut l'envisager, analyse de façon clinique les déficiences actuelles, humaines et dans les systèmes, concernant la prise en compte correcte de ces situations inattendues. Il propose des solutions permettant (1) de prévenir les risques de réactions inappropriées, et (2) d'aider les équipages dans leurs actions correctrices. Il montre de façon irréfutable la nécessité d'une meilleure prise en compte par les concepteurs de systèmes et les autorités réglementaires du paramètre majeur qu'est le comportement humain.

1 Il est possible qu'une situation soit prévisible de façon générale, mais que sa survenance inattendue surprenne le pilot.

Les solutions proposées concernent à la fois des actions du côté interfaçage pilotes/ avion et une révision du pilotage de base. Jugées nécessaires aujourd'hui avec l'équipage à deux pilotes, elles le seront d'autant plus avec un seul pilote à bord (SPO), ainsi que par l'augmentation des contraintes due à la mondialisation de la flotte.

Autre volet d'amélioration, une meilleure exploitation des incidents de toutes sortes. Les différents acteurs, compagnies, constructeurs, autorités, utilisent évidemment les retours d'expérience de façon permanente pour améliorer la sécurité. Cependant il y a encore des millions de cas où les pilotes sans problème apparent ont résolu des situations à risque, dont la connaissance pourrait être bénéfique à l'automatisation accrue des avions et à la diminution des risques, en particulier ceux inhérents à la diminution du nombre de pilotes à bord.

Le dossier comporte quatre parties :

- 1- Introduction
- 2- Bases
- 3- Recommandations
- 4- Analyse et propositions détaillées

avec annexe et glossaire.

1. INTRODUCTION

OBJECTIF DE L'ÉTUDE

L'objectif de l'étude est de définir, au mieux de nos analyses, la prévention de situations inattendues critiques, l'atténuation de leurs effets et l'assistance nécessaire à l'équipage pour celles qui subsisteraient, en corrigeant les dysfonctionnements observés dans les accidents. Ces dysfonctionnements impliquant l'intégration du comportement des équipages dans l'utilisation opérationnelle de l'avion, surtout dans l'interfaçage pilote(s) / systèmes du cockpit, les deux agents Humain et Systèmes sont pris en compte.

L'étude concerne l'aéronautique civile, particulièrement l'aviation de transport. L'aviation militaire dont, le plus souvent et par principe, les missions relèvent de l'inattendu, se trouve probablement en avance sur le traitement de cet inattendu. Il faut aussi noter que les pilotes militaires font l'objet d'un recrutement particulier, d'un suivi individuel et d'une formation tactique spécifique dans un environnement de poste d'équipage lui aussi spécifique. Une étude similaire séparée concernant l'aviation militaire serait probablement intéressante.

Cependant le sujet de l'étude présente ne devrait pas être totalement sans intérêt pour les militaires car, contrairement au caractère foncièrement fragmenté des aviations militaires, l'aviation civile est fondamentalement mondiale et les notions de comportement traitées ici s'appliquent à l'humain où qu'il soit.

PRÉLIMINAIRES

Pourquoi une telle étude ?

Le colloque de l'AAE de novembre 2011, « Les pilotes de l'aviation de transport face à l'imprévu », a permis de préciser que, par son interaction avec les caractéristiques humaines, cet imprévu est l'un des plus graves dangers de l'aviation. Les études ayant suivi ce colloque ont montré qu'il s'agit en fait de **l'inattendu, prévisible ou non**.

Dans la continuité des réflexions sur le sujet, l'AAE a publié deux dossiers, en 2013 le n° 37 « Le Traitement de situations imprévues en vol » et en 2018 le n° 42 « Aviation plus automatique, interconnectée, à l'horizon 2050 ».

Ici l'inattendu se rapporte à des situations déclenchées par un événement dont le caractère inattendu et soudain, associé à un effet de surprise plus ou moins intense, est susceptible de dégrader la réaction des pilotes. Il est possible qu'une situation soit prévue ou prévisible de façon générale, mais que sa survenance inattendue surprenne le pilote.

Les cas de situation à évolution rapide sont les plus dangereux. Mais ceux d'évolution plus lente peuvent aussi devenir critiques, ainsi que le montrent deux des exemples analysés⁽²⁾.

Observant la permanence des problèmes et la lenteur de la prise en compte des actions correctives, une nouvelle étude a été lancée, celle de la prévention et de l'assistance à la résolution de ces situations dangereuses. Elle s'adresse surtout à ceux directement intéressés par le problème, comme un guide complémentaire pour utilisation tant par les industriels, les utilisateurs, les centres de formation, que par les certificateurs pour la conception et la préparation des opérations des avions de la prochaine génération.

En effet, malgré les efforts de nombreux « donneurs d'alerte », malgré les résultats concrets d'études, les résultats expérimentaux irréfutables, les rapports d'accidents, la communauté aéronautique reste soumise à d'autres impératifs que la sécurité, même si cette dernière doit toujours être présentée comme l'impératif incontournable. La plupart des compagnies aériennes traitent de leur mieux les facteurs humains, mais il a fallu la double catastrophe du B737 MAX pour que la communauté aéronautique consente à regarder les aspects humains de la sécurité comme devant être traités convenablement, au-delà de classiques incantations associées à l'orientation fréquente des causes vers la négligence ou l'incompétence des pilotes.

Il est bon de faire remarquer qu'aujourd'hui les règlements ne considèrent les problèmes humains que sous leurs aspects aisés à formuler, ergonomie, habiletés, connaissances, procédures. Le comportement humain, source à la fois de dysfonctionnements opérationnels négatifs et, ce qu'on oublie, de récupération positive de situations critiques, n'est que très peu pris en compte, objectivement de façon très insuffisante.

2 Asiana Airlines 214, comportant à la fois l'inattendu à évolution lente et celui à évolution rapide ; Germanwings 18G à évolution semi-rapide.

Ainsi le CS25 de l'EASA et la FAR25 de la FAA n'évoquent que parcimonieusement le comportement en tant que tel, ainsi que les problèmes psychologiques.

Cependant une question se pose : pourquoi tellement s'inquiéter d'une meilleure connaissance du comportement d'un pilote destiné à être remplacé par des systèmes autonomes ? La réponse comporte plusieurs aspects.

D'une part on a limité les perspectives de la boule de cristal à l'horizon 2050, et d'ici là il y aura toujours au moins un pilote à bord.

D'autre part dans le Dossier n°42 on a imaginé cinq scénarios possibles de l'évolution pilote/automatismes, allant de la situation actuelle à celle d'un seul pilote à bord d'un avion devant être autonome. Des scénarios intermédiaires mentionnent une assistance opérationnelle venant du sol. Cependant, à l'observation des problèmes techniques, humains et organisationnels posés par ces scénarios intermédiaires, et notant la forte réticence des aviateurs à confier au sol des fonctions de sécurité immédiate, on peut penser qu'il y aura probablement passage rapide au scénario 5, celui de l'avion autonome avec un seul pilote à bord, l'expérimentation sur les court-courriers ayant montré la voie. Ce scénario, le plus exigeant, semble l'objectif à envisager.

Cette solution ne pourra pas empêcher totalement l'occurrence de situations imprévues, voire inattendues, malgré l'introduction de l'apprentissage automatique, « machine learning », et nécessitera une connaissance profonde des fonctions humaines à renforcer ou à éliminer (comme l'effet tunnel⁽³⁾) par les automatismes.

Les éléments à traiter

On connaît depuis des années les facteurs sources de ces dysfonctionnements humains. Leurs aspects matériels et humains sont étroitement liés sans que l'on puisse objectivement les traiter séparément. Ainsi :

- côté systèmes : présentations d'informations inadaptées à la conscience de situations à évolution rapide et dangereuse, paramètres temporels inadaptés aux perceptions et actions rapides de correction de ces situations sous stress, présentation de défaillances et d'alarmes avec des ordres de priorité insuffisants, manque d'informations sur l'imminence de situations à risque. D'où la nécessité de modifier sensiblement l'interfaçage du cockpit ;
- côté pilotes : limitations inhérentes aux processus mentaux dynamiques (effet de surprise, stress, séquençage chronologique des actions conscientes, saturation de la mémoire à court terme, focalisation parasite de l'attention dite effet tunnel). D'où la nécessité de modifier certaines orientations de la sélection et de la formation.

Les exigences réglementaires jouent un rôle majeur dans ces orientations, et sont donc concernées.

3 Effet tunnel : phénomène de blocage mental persistant sur un élément des actions à mener, empêchant de percevoir ce qui se passe autour.

Les limitations mentales sont des caractéristiques identifiées de la partie humaine de l'ensemble Humain/Systèmes, et devraient être utilisées comme le sont les limitations physiques de la partie matérielle des systèmes dans les études et les projets, et en opération réelle.

C'est-à-dire que des études sont à définir et à lancer avec l'objectif réglementaire correspondant.

L'agent Humain

D'après les analyses d'accidents, les équipages sont impliqués à plus de 50% dans leurs causes. Lorsqu'on introduit les caractéristiques et limitations humaines dans l'analyse des rapports d'accidents, comme dans la présente étude, on est amené à considérer un fonctionnement de « l'agent Humain » de façon analogue à celui de « l'agent Systèmes », de manière déconnectée des notions de responsabilité.

Mais un commandant de bord / pilote est responsable de la bonne conduite de la mission, et chaque pilote est responsable de la bonne exécution de ses tâches. D'où la tendance d'orienter l'implication humaine négative vers la négligence, l'erreur ou l'incompétence des pilotes, donc vers le défaut d'exécution d'action relevant de leur responsabilité. Tout aspect de jugement subjectif est absent de l'étude mais il apparaît normal de mentionner son évocation en annexe au travers d'extraits de rapports officiels.

MÉTHODE

Pour que l'étude présente ne soit pas la enième du genre, donc potentiellement inutile, on a choisi une approche de genre scientifique et clinique, en travaillant sur des exemples avérés. Ainsi le choix s'est porté sur l'analyse des causes d'accidents et d'incidents majeurs aériens.

L'objet de cette analyse est la mise en lumière des problèmes humains et des déficiences de systèmes observés dans les accidents pour en proposer des solutions.

Cette analyse étant délicate et devant être précise, le nombre de cas étudiés était forcément réduit. Il a été limité à cinq, choisis de natures différentes afin que par la complémentarité de leurs diversités la totalité des analyses conduisent à englober la plupart des causes d'accidents concernant l'inattendu.

Malgré l'heureuse faiblesse de leur nombre, les accidents offrent à leur analyse un condensé étonnant de déficiences à corriger.

Les sources d'information sont des rapports officiels d'accidents et d'incidents majeurs. L'analyse amène à mettre en lumière, voire à découvrir, quelques éléments particuliers n'ayant pas été mis en valeur dans les rapports. C'est inévitable dans toute étude dont l'objectif va au-delà de la simple recherche de causes. Ce qui ne signifie pas que la présente étude remette en cause les rapports officiels établis avec la meilleure information du moment, ni la certification des avions concernés.

Par nature les avions analysés sont de la génération des A320, A380, B777 et A330. Les avions apparus ultérieurement comme les B787 et A350 peuvent contenir certaines améliorations recommandées dans le présent dossier, parfois partiellement, mais cela n'invalide pas les nombreuses recommandations restant à appliquer.

CAS ÉTUDIÉS

Leur numérotation servira d'indice dans les textes suivants (par exemple le « cas 4 » concernera le cas n°4, US Airways 1549).

1) Asiana Airlines 214, 06/07/2013 (utilisation des automatismes)

Un B777 exécute une approche visuelle, ILS sans « Glide », à San Francisco, en pilotage automatique (AP + AT)⁽⁴⁾. En début d'approche à 4800 ft, l'ATC demande une réduction de vitesse. Le PF⁽⁴⁾, dont le copilote (PM) est un examinateur, a des difficultés à gérer la descente en automatique. Une fausse manœuvre l'oblige à terminer en pilotage manuel. Mais un oubli du PM laisse les moteurs au ralenti. La vitesse non contrôlée diminue et l'avion décroche en courte finale malgré une remise de gaz, trop tardive.

2) Air France 447, 01/06/2009 (perte d'informations due au givrage)

Un A330 est en vol entre Rio de Janeiro et Paris, à son altitude de croisière 35 000 ft. Peu de temps avant de rencontrer une importante masse nuageuse, habituelle sur la route suivie, le commandant de bord va se reposer après avoir confié le pilotage au premier copilote, le PF, le deuxième copilote devenant le PM. Les sondes givrent et en conséquence les automatismes se déconnectent. Le PF a du mal à reprendre le contrôle en manuel, laissant l'altitude croître et la vitesse diminuer. La profusion d'alarmes associée à l'absence d'indication des vitesses, le manque d'intervention correcte du PM, amènent à un décrochage non corrigé, avec embarquement irrécupérable.

3) Qantas QF32, 04/11/2010 (explosion de moteur)

Un A380 est en montée après le décollage de Singapour. Vers 7000 ft le moteur 2 explose. Les débris mitraillent l'avion, perçant des réservoirs, rendant indisponibles la plupart des équipements et leurs liaisons. L'équipage, le commandant de bord PF et son premier copilote PM gèrent pendant plus de 50 minutes la situation grâce à l'ECAM, dans une ambiance d'alarmes continues et d'exécution permanente de corrections de pannes. L'aide de pilotes complémentaires heureusement présents dans le cockpit est nécessaire. L'atterrissage est exécuté avec succès en pilotage manuel avec les commandes de vol et les freins en modes dégradés et des gouvernes endommagées.

4 Voir glossaire.

4) US Airways 1549, 15/01/2009 (ingestion d'oiseaux)

En montée initiale après décollage de La Guardia, un A320 rencontre un vol d'oiseaux vers 2000 ft et perd la poussée des deux moteurs. Un amerrissage sur l'Hudson est exécuté avec succès, terminant un vol géré par les deux pilotes au mieux des circonstances et des possibilités.

5) Germanwings 18G, 24/03/2015 (suicide)

En vol entre Barcelone et Düsseldorf un A320 est en croisière à 38 000 ft. Le commandant de bord quitte le cockpit pour une raison naturelle, laissant son copilote aux commandes. Peu après l'avion est mis en descente en pilotage automatique, la porte du cockpit ayant été volontairement verrouillée de l'intérieur. L'ATC ayant détecté l'anomalie de trajectoire essaie de contacter l'équipage, en vain, et alerte la Défense nationale. Les tentatives de forcer la porte échouent et l'avion s'écrase.

Remarque : le cas n°5 concerne un problème de santé mentale du pilote. S'agissant de santé il pourrait être rapproché du cas de défaillance physiologique traité dans le Dossier 42, avec la différence que le suicide est une action aggravante active alors que la défaillance est passive. Cet effet passif ayant été traité dans le Dossier 42, l'effet actif, aggravant, nécessite une approche nouvelle traitée dans le présent dossier.

2. BASES

Dans cette étude les faits amènent à constater qu'il s'agit de l'intégration Humain / Systèmes (Human Systems Integration, HSI). Les recommandations sont valables dans les conditions opérationnelles actuelles mais elles revêtent un intérêt accru dans le cas d'un seul pilote à bord.

Ces recommandations sont basées sur les résultats d'analyse détaillés dans le chapitre 4. Cependant pour faciliter leur compréhension on donnera ici certains résultats de synthèse effectuée à partir de cette analyse détaillée.

RAPPELS

Tout automatique ?

Ne retenir que ses erreurs et déficiences dans les accidents peut conduire à vouloir retirer l'humain de la conduite des avions, donc aller au « tout automatique ». Cela conduirait à passer sous silence et à négliger les milliers de fois quotidiennes où les équipages ont réagi en corrigeant des tendances dangereuses de détérioration de situation, dont souvent on ne parle pas car en définitive tout s'est bien passé.

Une part importante de ces événements constitue un retour d'expérience exploité par les compagnies. Cependant on est loin de connaître et d'exploiter l'ensemble de cette multitude d'interventions positives, ce qui serait déjà nécessaire pour améliorer les opérations actuelles, et qui serait obligatoire pour le développement d'une approche « tout automatique » fonctionnant à un niveau de sécurité acceptable.

Principe de base

Dans le développement d'un avion et de ses systèmes la sécurité doit l'emporter sur des considérations commerciales ou autres. Ce rappel d'un principe de base heureusement largement suivi est cependant à rappeler au vu d'accidents récents.

Autres principes

L'objectif est bien de prévenir les risques associés aux situations inattendues (prévisibles ou non) et d'assister l'équipage dans leur correction. Les deux agents, Humain (l'équipage) et Systèmes (les automatismes prenant une place croissante), sont impliqués simultanément. Dans les faits il s'agit de leur intégration dans laquelle l'interfaçage du cockpit est l'élément de base.

Il est bon de rappeler quelques notions et principes élémentaires :

- Laisser aux humains ce qu'ils peuvent mieux faire que les automatismes, et aux automatismes ce qu'ils peuvent mieux faire que les humains, au fur et à mesure des évolutions techniques et des connaissances.
- Considérer l'intégration suivant les « mécanismes » mentaux : perception des informations, traitement/choix, décision/action, contrôle.
- Prendre en compte les limitations de l'agent équipage (séquencement chronologique des actions conscientes, saturation de la mémoire à court terme, focalisations parasites de l'attention, en particulier dans les conditions stressantes) au même titre que celles des automatismes.
- L'humain restant ce qu'il est, non modifiable, adapter les critères de sélection aux exigences réelles des opérations, et adapter les programmes de formation aux principes pédagogiques de base immuables (enseigner le nécessaire et suffisant, enseigner par la pratique, vérifier le niveau de compétence acquis). Adapter les moyens techniques aux exigences humaines et pédagogiques définies.

COMPORTEMENTS CARACTÉRISTIQUES

Dans les cinq cas étudiés, le contrôle de la trajectoire a été la préoccupation immédiate majeure, avec des caractéristiques comportementales basiques apparaissant clairement.

Dans le chapitre 4 on s'attache principalement à étudier le détail des dysfonctionnements. En revanche on peut aussi aisément définir des classes de comportements dont il faut tenir compte en HSI, surtout en « Single Pilot Operation » SPO, comportements résumés ici.

Il est intéressant de noter que la sélection des cas a permis de traiter deux types extrêmes de professionnalisme : les cas 1 et 2 concernent des équipages apparemment aux performances médiocres (bien qu'ayant satisfait aux critères de recrutement et aux

normes de formation), et les cas 3 et 4 révèlent des équipages de haut professionnalisme. Le cas 5 est spécifique d'un comportement anormal.

Comme il est peu réaliste de penser que la sélection des pilotes va beaucoup s'améliorer dans le futur, les recommandations se rapportent au niveau minimum de sélection mondialement pratiquée.

1) Asiana Airlines 214 (échec)

Le pilote en fonction (PF) était confronté à l'exécution d'une approche dans des conditions lui procurant quelques soucis pour son exécution. Dès le départ sa préparation mentale a été mise en défaut du fait d'une demande de l'ATC. D'où une préoccupation mentale favorable à des erreurs et oublis.

Par la suite la conduite « manuelle » d'automatismes complexes conçus en priorité pour une utilisation entièrement automatique a mené à des erreurs insuffisamment perçues et corrigées du fait d'un interfaçage compliqué et de l'absence d'aide du copilote, « Pilote Monitoring, PM ». En fin d'approche le pilotage manuel à vue sans contrôle de vitesse a provoqué une focalisation de l'attention de type effet tunnel. Le « réveil » avec alarmes en finale a été trop tardif pour éviter l'impact avant la piste.

De plus le PF n'a pas intégré les interactions entre les trois composantes d'énergie disponible exprimées par la vitesse (V), l'altitude (Z) et la poussée (P).

C'est dans cet ensemble de causes que se trouvent les exigences globales d'une interface de systèmes, prenant en compte la fonction perception nécessaire à une interprétation correcte de situation.

2) Air France 447 (échec)

Le PF, copilote placé en poste de responsabilité dans une situation météo pouvant s'avérer difficile, était soucieux d'agir correctement. D'où une certaine préoccupation réduisant sa disponibilité mentale.

Le mouvement brutal en roulis à la déconnexion du PA l'a amené à essayer en priorité de maîtriser ce mouvement et ainsi à entrer en oscillations entretenues de roulis (Pilot induced oscillations PIO). La maîtrise de la trajectoire était pour lui prioritaire, mais la mise en oscillation l'a « déconnecté » des autres paramètres de conduite par effet tunnel.

Ensuite le mélange des alertes et alarmes, les contradictions apparentes des informations diverses, l'aide réduite du PNF (PM), l'ont plongé dans une confusion irréversible.

Lui aussi n'a pas intégré les interactions des trois énergies exprimées par V, Z et P.

Les points majeurs découlant de cet exemple concernent les systèmes dans la prévention de cette confusion : d'abord la continuité sans heurt de la trajectoire malgré la dégradation de l'état des systèmes de conduite, puis la présentation claire de la situation.

3) Qantas QF32 (succès)

La première action du PF a été de s'assurer que la conduite de la trajectoire était maintenue.

Puis en finale le délicat pilotage manuel en état dégradé des commandes de vol a été possible grâce à son habileté.

Entre-temps les pannes de l'ensemble des systèmes de l'avion (sauf celui de l'oxygène) ont amené un énorme travail de tri et d'actions, où la réflexion de l'équipage était vitale malgré la dégradation progressive des systèmes et la profusion d'alarmes inutiles.

L'équipage à deux, très performant, a fréquemment nécessité l'aide des autres pilotes heureusement présents dans le cockpit.

Les points majeurs à retenir sont l'heureuse persistance de la conduite automatique de la trajectoire pendant les corrections de la situation potentiellement catastrophique, la nécessité d'avoir une présentation claire de la situation et des possibilités restantes, celle de maintenir une conduite manuelle aisée de la trajectoire. Et surtout la décision du PF commandant de bord Cdb de se concentrer sur ce qui restait utilisable pour sauver l'avion et ses passagers.

4) US Airways 1549 (succès)

La perte de poussée a rendu prioritaire et vitale la conduite de la trajectoire.

Le commandant de bord Cdb, devenu rapidement PF après le choc aviaire, a eu une réaction vitale non mentionnée sur une check-list inadaptée à l'événement, la mise en route de l'APU, ce qui a rendu possible la conduite manuelle en mode normal de l'avion jusqu'à l'impact sur l'Hudson.

Cette conduite était difficile car mentalement partagée avec des décisions vitales pour la poursuite du vol, et perturbée par des messages extérieurs et des alarmes de systèmes.

Le travail en équipage a été au mieux qu'on puisse espérer en de telles circonstances.

Les points majeurs à retenir sont la réaction immédiate hors procédures spécifiées de maintenir l'intégrité de fonctionnement des systèmes (APU), et la faculté du PF de faire des choix vitaux de trajectoire malgré l'environnement perturbateur.

5) Germanwings 18G (échec)

Ce cas de suicide est trop particulier pour qu'on puisse prendre en compte les comportements opérationnels. Cependant le problème du contrôle vital de la trajectoire se pose, vers une automatisation forcée.

ACTIONS SPÉCIFIQUES

Ce sont les 40 actions (**Sx** et **Hy**) présentées dans les encadrés des rubriques de la quatrième partie. Elles sont détaillées, spécifiques à l'objet de chaque rubrique et ne nécessitent pas de synthèse supplémentaire.

En revanche on peut en tirer des recommandations majeures.

3. RECOMMANDATIONS

S'agissant de l'intégration pilote/avion, les problèmes de ces deux agents et leurs solutions sont étroitement intriqués. La partition des recommandations en deux rubriques, Humain et Systèmes, essaie de simplifier leur présentation.

Évidemment ces recommandations sont bâties sur des exemples d'avions à équipage à deux pilotes. Il conviendra, bien sûr aux concepteurs des futurs avions travaillant sur des postes de pilotage à un seul membre d'équipage d'interpréter le sens des améliorations demandées et de leur apporter des solutions équivalentes (en certification « Equivalent safety means »).

CÔTÉ HUMAIN

Améliorer la prise en compte du comportement humain⁽⁵⁾

Il est remarquable que la grande majorité des problèmes détectés à corriger concernent essentiellement le comportement humain face aux événements dangereux inattendus. Alors que l'ergonomie physiologique et cognitive a fait d'énormes progrès depuis 50 ans, la diffusion des connaissances sur le comportement sous contrainte mentale n'a pas beaucoup progressé. Or on connaît, de mieux en mieux et précisément, ce qui dans les caractéristiques mentales correspond à l'activation de comportements qualifiés de déficiences conduisant à des accidents, souvent rapidement attribuées à des erreurs ou même à des fautes humaines. La présente étude les débusque sans contestation possible.

Il y a d'abord l'effet de surprise engendrant le stress et la focalisation de l'attention, voire la sidération, puis la combinaison de caractéristiques mentales : séquençement chrono-

5 Comportement : ensemble des réactions d'un individu observables objectivement. Ici, réponse du sujet à un stimulus.

logique des actions mentales conscientes avec saturation de la mémoire à court terme, focalisation dangereuse de l'attention avec diminution du cône de vision, saturation mentale audiovisuelle pour ne citer que les principales.

1- La prise en compte scientifique du comportement opérationnel humain opérera une sorte de rupture dans la manière d'appréhender l'intégration Humain/Systèmes, où aujourd'hui ce comportement est dilué dans l'ensemble hétéroclite des facteurs humains.

Caractériser les éléments déterminants

Il est nécessaire de définir, de caractériser par des paramètres qualitatifs ou mesurables, les fonctions et éléments régissant les comportements opérationnels et leurs limitations mentales. Et ainsi d'en déduire les règles et principes à adopter pour rester en-deçà de ces limitations, en notant que le comportement général des pilotes peut influencer sur leur comportement opérationnel.

Pour cela les causes de dysfonctionnement doivent d'abord être identifiées. Puis elles seront prises comme références ou comme bases pour des caractérisations de fonctions et de paramètres utilisables par les concepteurs de systèmes.

Cette caractérisation peut être conduite à la fois sur des caractéristiques dynamiques mentales (durée de la mémoire court terme Mct, taux maximum d'informations traitées chronologiquement, niveaux d'alarmes perçues pendant l'exécution de tâches, perception mélangée de paramètres physiques et de représentations d'état de systèmes, etc.) et sur des paramètres physiques de systèmes (types de présentations, combinaisons synthétiques de paramètres, choix d'informations significatives et pertinentes, alarmes, etc.).

Ces deux aspects, mental et physique, sont à mener de pair dans les recherches de valeurs, de règles ou de principes.

En vue de cet objectif la psychologie et l'ergonomie classiques sont à la limite de leurs possibilités. Surtout dans la recherche de paramètres mesurables, elles doivent passer le relais aux neurosciences, à la neuropsychologie et à la neuroergonomie.

2- La communauté aéronautique doit traiter, caractériser les limitations mentales humaines en situation inattendue à évolution potentiellement dangereuse de la même façon qu'elle traite celles des systèmes matériels, car la sécurité en dépend directement.

Cette prise en compte du comportement opérationnel humain doit se renforcer au niveau des bureaux d'études et des essais en vol. Pour cela il est indispensable que le personnel en charge des conceptions, développements et essais des systèmes acquière les compétences de base nécessaires⁽⁶⁾.

- 3- La prise en compte des caractéristiques du comportement opérationnel humain doit s'effectuer dès le niveau de la conception des systèmes. Plus précisément, lorsque l'action du pilote est prévue le système doit se concevoir autour de lui, et non l'inverse. Les règlements doivent prendre en compte de façon claire le comportement comme matière aussi importante que l'ergonomie.**

Nécessité d'améliorer l'interfaçage du cockpit

Les interventions humaines doivent être simples et intuitives quelle que soit la complexité des fonctions automatisées, y compris dans l'exécution des procédures.

La présentation des paramètres pour une prise de conscience correcte d'une situation inattendue dangereuse doit autoriser une perception immédiate des éléments pertinents. Une présentation synthétique est souhaitable entraînant la refonte des présentations, en particulier celles du PFD (Primary Flight Display) et du FMA (Flight Mode Annunciator).

Plus précisément cette présentation des paramètres ne doit pas se limiter à la situation inattendue présente, mais autant que possible anticiper d'imminentes situations à risque, afin que les pilotes soient le moins surpris et le mieux préparés à ces situations.

- 4- La présentation des paramètres doit autoriser une immédiate conscience de situation, mais aussi anticiper les situations à risque immédiat. Cela doit tenir compte de façon réaliste des capacités et limitations humaines, pour l'ensemble de la population mondiale des pilotes à leurs niveaux minimaux de capacités.**

6 L'AAE conduit une réflexion sur l'évolution des compétences en aéronautique.

Réorientation de la sélection et de la formation des pilotes

La rareté et la dangerosité des situations à risque obligent les pilotes à faire preuve d'une grande maîtrise de soi, qualité de base innée mais pouvant être partiellement améliorée par une formation appropriée. Elle doit être détectée à la sélection, surtout dans le cas d'un pilote seul à bord.

Aussi poussée qu'elle soit l'automatisation ne supprimera jamais la nécessité d'une reprise du contrôle direct de la situation, en particulier celui de la trajectoire de vol en pilotage manuel⁽⁷⁾. Les habiletés physiques et mentales négligées au profit de l'automatisation doivent être réhabilitées en formation et entretenues en opération commerciale, ce qui ne supprime pas l'obligation de pratiquer la sélection et l'utilisation des automatismes dans tous leurs modes de fonctionnement, normaux ou dégradés⁽⁸⁾.

Cela impose la revue des qualités et compétences de base en sélection et en formation. Ici se pose la question de la rigueur des acteurs, compagnies, centres de formation, autorités, lorsqu'il y a pénurie de recrutement de pilotes et de candidats au pilotage. Le risque patent en découlant est le relâchement des critères d'embauche.

Sans parler de l'éternel problème financier de la formation, toujours trop chère car d'un point de vue comptable un pilote en formation est considéré comme improductif.

5- La maîtrise de soi en situation critique devient un élément important en sélection et en formation. Cela implique, dès la formation de base, des programmes basés sur la réaction aux événements inattendus.

La pratique du contrôle direct de la trajectoire par le pilote doit être entretenue.

Il en est de même pour l'utilisation des automatismes dans tous leurs modes de fonctionnement, normaux ou dégradés.

CÔTÉ SYSTÈMES

L'Humain restant ce qu'il est et sa formation se heurtant aux limitations de son cerveau, la partie Systèmes est majoritairement impliquée dans l'intégration pilote/avion. Les nombreux points critiques sont détaillés dans la quatrième partie.

-
- 7 Par pilotage manuel on entend l'action **directe et immédiate** du pilote sur l'évolution du vecteur vitesse et simultanément sur la gestion des 3 paramètres d'énergie (vitesse, altitude, poussée) à l'aide de manipulateurs (leviers, volants, manettes, etc.), au travers de systèmes de commandes de vol et de moteurs.
- 8 Uniquement essayer de mémoriser les procédures d'utilisation sans les comprendre et les pratiquer est contraire à la pédagogie élémentaire s'appliquant à l'utilisation de fonctions dynamiques de systèmes complexes.

Précautions de base

Les analyses actuelles de sécurité permettent d'aller loin dans les prévisions. Cependant elles peuvent se trouver en défaut dans des combinaisons de pannes imprévues. En règle générale les systèmes dont les dysfonctionnements peuvent affecter la sécurité des vols sont conçus pour avoir un haut niveau de disponibilité et être passifs après pannes ("fail-passive"), mais il faut rester vigilant vis-à-vis des dérives ou des manquements car l'examen de risques nouveaux ou statistiquement écartés augmente le volume et la difficulté des cas à traiter.

Le traitement de la gestion de trajectoire et de l'intégrité de fonctionnement des systèmes sont des points majeurs.

6- Dans la conception des systèmes, les analyses de sécurité doivent prendre en compte l'ensemble des risques opérationnellement détectés, qu'ils soient nouveaux ou statistiquement jugés de faible occurrence.

La gestion de trajectoire et la maîtrise de l'intégrité des systèmes sont des points majeurs.

À ce sujet l'exploitation de ces risques passe par le recueil et le traitement d'informations telles que LOSA, OFDM/FOQA⁽⁹⁾, banques de données des compagnies et des constructeurs, mises sans restriction à la disposition des concepteurs.

Un système performant tel que l'ECAM chez Airbus analyse des combinaisons de pannes de systèmes. Il faut aller au-delà de sa conception actuelle pour traiter des combinaisons de situations complexes et donner immédiatement aux pilotes l'information fiable nécessaire pour agir au mieux des disponibilités restantes.

Il est à noter que la multiplication des capteurs de paramètres pose le problème de leur fiabilité, tant pour les capteurs eux-mêmes que pour leurs connexions aux systèmes. Aussi des solutions de hiérarchisation et de substitution de données doivent être apportées.

7- Les systèmes d'analyse automatique de pannes, tel l'ECAM d'Airbus, sont à perfectionner pour prendre en compte les combinaisons complexes de pannes, et donner aux pilotes une vue synthétique des possibilités opérationnelles restant disponibles.

9 Pour les LOSA (Line Operation Safety Audit) et OFDM/FOQA (Operational Flight Data Monitoring ou Flight Operation Quality Assurance) il s'agirait de les adapter à la détection de « menaces » corrigées par l'équipage.

On observe fréquemment des sorties involontaires du domaine de vol opérationnel suite au passage d'automatismes en modes dégradés.

8- Présenter de façon clairement perceptible sous stress les retraits de protection du domaine de vol.

Cas opérationnels insuffisamment traités

En règle générale les insuffisances découlent de difficultés techniques à traiter ces cas. Ils ont fréquemment reçu des solutions partielles. En revanche les avancées techniques, l'introduction de l'IA en particulier, devraient dorénavant permettre leur résolution. Ils sont mentionnés ici dans cette perspective.

Transition de gestion de trajectoire

En cas de suppression brutale d'automatisme de conduite la maîtrise de la trajectoire est vitale.

9- Les systèmes de conduite sont à concevoir pour, en cas de défaut d'automatismes, garder un maintien stable de trajectoire avec un minimum de fonctions (cap, altitude, vitesse, poussée), autorisant la poursuite de la trajectoire en cours et la correction de la situation à risque.

Remise de gaz

La remise de gaz, Rdg, est une manœuvre assez peu pratiquée, n'étant pas intuitive contrairement à l'atterrissage. Son déclenchement pourrait être rendu automatique suivant les circonstances d'atterrissage, basé sur l'analyse de trajectoire en courte finale (hauteur, vitesse et gradient de vitesse, vitesse verticale, assiette, cap, écarts par rapport à la trajectoire voulue). La prédiction du point de toucher et de la distance de roulement sur la piste pourrait être utilisée comme condition de déclenchement automatique ou manuel d'une Rdg.

Automatique ou manuelle, la manœuvre de Rdg doit être maîtrisable, avec des poussées permettant une vitesse ascensionnelle normale, donc prenant en compte un rapport modéré poussée/masse avion, et dans la phase ascendante avec la rentrée automatique des hypersustentateurs aux bonnes vitesses.

10-La nécessité opérationnelle de Rdg doit être signalée clairement au pilote, et/ou être déclenchée automatiquement. La manœuvre doit être maîtrisable, vitesse verticale adaptée et rentrée automatique des surfaces en fonction de la vitesse.

Pilotage manuel, échanges d'énergies

Le traitement simultané des trois énergies (cinétique/vitesse, potentielle/altitude, interne/poussée) est pratiqué par les automatismes actuels (AP + AT). Souvent les pilotes ne le maîtrisent pas en pilotage manuel, en particulier en pilotage dans le plan vertical.

Cependant le pilotage manuel sera toujours nécessaire, en particulier en urgence.

11- Un système de conduite manuelle prenant en compte de façon synthétique le contrôle simultané des trois énergies est à généraliser.

Directeur de vol

En pilotage manuel la sélection et l'utilisation du directeur de vol peuvent être dangereuses lorsque d'autres automatismes lui sont connectés, l'AT en particulier.

En revanche le pilotage de trajectoire en définition d'objectifs, avec l'aide du vecteur vitesse, est à favoriser.

12- Le directeur de vol dans sa version actuelle n'est qu'un substitut du PA devenant dangereux lorsqu'en pilotage manuel ses fonctions ne correspondent pas aux intentions du pilote. Le principe et les objectifs du directeur de vol sont à redéfinir en fonction des tâches dévolues au pilotage manuel.

L'incidence

C'est un paramètre aérodynamique vital. Un moyen fiable et redondant doit procurer une valeur (mesurée et/ou calculée) de l'incidence suffisamment précise pour les besoins opérationnels.

Cette valeur ainsi que l'approche des limites doivent être présentées convenablement sur le tableau de bord, sinon sur le PFD, pour être utilisées à bon escient (l'indicateur d'incidence était présent sur Mercure, et celui de Concorde était de pratique courante et efficace).

Pour rendre valide en formation l'approche du décrochage au simulateur de vol l'exploitation de mesures d'essais en vol semble nécessaire.

13- L'incidence est un paramètre vital. Elle doit être présentée en tant que telle sur le tableau de bord afin d'être utilisée à bon escient.

Les alarmes

Les problèmes associés aux alarmes sonores et autres ne sont pas nouveaux. La simultanéité d'alarmes sonores crée une ambiance de stress diminuant les capacités mentales, surtout lorsque les sons ne sont pas associés à une reconnaissance visuelle rapide de leur cause. Une multitude de voyants allumés et les alarmes correspondantes ne permettent à aucun système d'apparaître en contraste. D'où saturation mentale.

Il faut mieux définir une hiérarchie dans l'importance des conséquences des pannes, et dans la présentation et la nature des alarmes simultanées.

14- Les systèmes actuels d'alarmes ne sont pas adaptés à des combinaisons complexes de situations qu'ils peuvent aggraver en perturbant les équipages. Le problème est à reprendre dans son ensemble.

DIFFICILE PRÉVENTION D'UN ACTE SUICIDAIRE

15- Les problèmes à résoudre sont :

- la communication et l'utilisation de données médicales considérées confidentielles mais pouvant altérer le comportement opérationnel ;
- la détection d'anomalies psychologiques par l'entourage professionnel ;
- la protection du cockpit vis-à-vis des menaces venant de l'intérieur et de l'extérieur ;
- l'autonomie complète de l'avion et son déclenchement sûr en cas d'acte suicidaire.

4. ANALYSE ET PROPOSITIONS DÉTAILLÉES

On a regroupé en rubriques les résultats d'analyse, par famille de problèmes opérationnels.

Dans le texte de synthèse suivant, ces résultats sont référencés par l'indication de leur appartenance aux cinq accidents traités (**cas x, cas y,....**).

Pour plus de détails il faut se rapporter au document de base placé sur le site AAE, uniquement en français, regroupant les cinq analyses et leur première synthèse :

DOCUMENT DE BASE DU DOSSIER 49⁽¹⁰⁾ :
Le traitement des événements « inattendus/imprévus » au
cours des missions des avions de transport

Pour chaque rubrique on mentionne dans un encadré les solutions envisageables en deux classes, celle des Systèmes **Sx** (22) et celle de l'Humain **Hy** (18).

AIDES À LA GESTION DES SITUATIONS

Il apparaît évident que les conditions de position dans l'espace aérien (proximité d'un terrain de déroutement) et les conditions météorologiques sont primordiales en situations d'urgence (**cas 3, 4**) sans que cela soit planifiable. Paradoxalement, au contraire (**cas 1**), des conditions météorologiques obligeant le pilote à se concentrer sur une approche entièrement aux instruments auraient pu éviter les problèmes.

10 Voir le site internet de l'AAE, Documents et Médias, au lien suivant : <https://cutt.ly/0f0u9KP>

Gestion de l'espace

La proximité de déroutement ou de surface utilisable pour l'atterrissage (ou l'amerrissage) et l'altitude sont aussi des éléments favorables (**cas 3, 4**), mais tout aussi aléatoires.

Le projet Garmin G3000NX sur Piper M600, ceux de Cirrus et Daher, d'atterrissage autonome sur un terrain proche sont à suivre avec intérêt.

S1

L'altitude et la proximité de déroutement ou de surface utilisable pour l'atterrissage (ou l'amerrissage) sont des éléments favorables mais aléatoires. La détection immédiate des lieux d'atterrissage parmi une banque de données, avec leurs conditions d'utilisation opérationnelles et météorologiques, est une condition nécessaire dès la survenance de la situation critique.

Cela nécessite l'accès aux paramètres stockés dans les mémoires systèmes, cap, distance, temps, des plus proches terrains « atterrissables », avec la mise à jour en temps réel de leurs conditions météorologiques et d'utilisation, grâce à un calcul permanent pendant le vol, proposant immédiatement le meilleur déroutement en cas de nécessité. Ces paramètres devraient tenir compte de l'état de l'avion, de sa configuration réelle de vol, de l'énergie disponible, ainsi que de l'état opérationnel du terrain choisi.

H1

Cette aide risque de ne jamais être parfaite et le jugement et le choix des pilotes entre les solutions proposées resteront essentiels, par exemple dans l'estimation de la probabilité de succès.

Une bonne visibilité et de bonnes conditions météorologiques sont évidemment favorables (**cas 1, 3, 4**) à une gestion correcte des situations, mais sont aléatoires.

En revanche il ne faut pas sous-estimer les risques de conditions critiques (**cas 2**).

S2

L'évaluation des conditions météorologiques en fonction de leurs risques à court terme, ou potentiels, est à améliorer dans sa présentation et son traitement en vol, en particulier en synthétisant la situation par des alertes appropriées.

L'amélioration de l'efficacité des radars météo comme aide à la décision doit rester un objectif, en particulier pour la détection et l'évitement de la grêle, des givrages extrêmes, des turbulences sévères et des tornades.

H2

L'évitement des situations météo dangereuses suppose à la fois le maintien d'une bonne connaissance pratique des phénomènes par les pilotes et l'utilisation correcte des radars météo.

Gestion du temps disponible

Le temps disponible à la correction de la situation est le paramètre-clé de la réussite lorsqu'il est bien utilisé (**cas 3, 4**). Cependant il a une limite, la durée de survie imposée par l'ensemble de la situation, souvent limitée (**cas 1, 2, 4**). Noter le **cas 3** où le centrage dérivait vers la sortie du domaine de vol.

Correction automatique de pannes

C'est en principe le meilleur moyen de sécurité : extinction d'incendie dans un réservoir (**cas 3**).

Cependant il peut se trouver dangereux dans des combinaisons de pannes imprévues : transfert de carburant vers un réservoir percé (**cas 3**).

S3

Les analyses actuelles de sécurité permettent d'aller loin dans les prévisions. Cependant elles peuvent se trouver en défaut dans des combinaisons de pannes imprévues : par exemple transfert de carburant vers un réservoir percé.

Tous les systèmes dont les dysfonctionnements peuvent affecter la sécurité des vols doivent être conçus pour avoir un haut niveau de disponibilité et être passifs après pannes ("fail-passive"). C'est déjà la règle fondamentale de l'art, mais des dérives ou des manquements peuvent survenir.

Comment concevoir un système analysant des combinaisons de situations complexes de systèmes et s'y adaptant automatiquement ? L'ECAM (Electronic Centralized Aircraft System) destiné à visualiser l'état des systèmes de l'avion y pourvoit déjà mais il a encore des limites.

Même si un système est rendu capable de réaction immédiate, le pilote doit en être informé avec la possibilité de reprendre la main dans toute action corrective.

Maîtrise du stress

L'effet de surprise se traduit par du stress, plus ou moins intense suivant les individus et les circonstances, réduisant les capacités mentales à résoudre les problèmes de perception et de décision, donc augmentant le temps nécessaire pour le faire. Cet état de stress, voire de sidération, est d'autant plus exacerbé lorsqu'une multitude d'alarmes, certaines étant la conséquence des autres, surviennent simultanément.

L'expérience et la compétence personnelles ainsi que la formation au travail en équipage permettent de surmonter ce handicap (**cas 3, 4**), mais la déficience en formation et en expérience réduit la capacité de résistance (**cas 1, 2**).

Un sujet particulier est celui de la définition des procédures opérationnelles, paraissant bien étudiées dans leur application lorsqu'on a le temps requis (jamais quantifié ni précisé en conception), mais difficiles à mener en situation à évolution rapide et sous stress (**cas 1, 2, 3, 4**).

S4

Les capacités et limitations mentales, aujourd'hui connues, doivent être incluses dans les conceptions d'interfaçage entre les automatismes et l'équipage, en particulier avec l'estimation réaliste du temps et de l'habileté nécessaires pour appliquer les procédures opérationnelles sous stress. Par exemple les autorités de certification doivent introduire des quantifications dans les temps nécessaires à l'application des procédures opérationnelles normales et surtout non normales.

Une action est à mener côté concepteurs de systèmes et leurs autorités. Dès lors qu'il y a un pilote prévu dans la boucle de fonctionnement opérationnel il faut construire le système autour du pilote. L'adaptation à l'humain doit tenir compte des limitations mentales correspondantes. Elles sont connues mais non appliquées correctement ; ainsi le règlement CS 25 est loin d'être suffisant à ce sujet.

Les procédures utilisées en situation critique doivent être adaptées en présentation et en durée d'exécution sous stress. Dans la nécessité éventuelle pour le pilote de choisir des actions, la réflexion ne doit pas dépasser deux niveaux de causes/conséquences..

H3

La résistance au stress doit faire partie des caractéristiques obligatoires de sélection des pilotes.

L'éducation aux situations inattendues doit débiter en formation de base et se poursuivre tout au long de la carrière. La résistance au stress est innée mais une formation appropriée peut l'améliorer, par exemple par une expérience vécue en formation de cas de situations difficiles inattendues.

Cela impose des programmes de formation, en qualification de type et en formation continue autant qu'en formation de base, où la « surprise » est introduite systématiquement. Les cas pratiques peuvent être des répliques de cas concrets, les bases de données en possèdent en grande quantité. L'important est le respect de la surprise initiale. De fait l'introduction de l'élément surprise dans le domaine de la formation est l'élément majeur sur lequel il faut innover, difficile à gérer dans les programmes mais n'étant pas impossible.

Le simulateur (FFS, Full Flight Simulator) semble être le meilleur outil pratique pour cela, bien que l'impétrant sache qu'il est en sécurité dans un appareil au sol, et aussi qu'une "surprise" va lui être infligée.

Il existe déjà des centres d'instruction où l'instructeur a la possibilité d'introduire des programmes aléatoires, mais cette pratique est loin d'être généralisée.

L'introduction ou le maintien des vols en solo et la pratique de certaines disciplines comme la voltige et le planeur permettent la formation et l'éducation des pilotes à la prise de décision sous stress. Ces pratiques, introduites dans certains centres de formation, doivent être encouragées très tôt dans le cursus des pilotes.

S5

Bien qu'étant les plus perfectionnés des simulateurs, les FFS sont encore loin de procurer un sentiment de risque dans les surprises programmées. Une étude sur le sujet est à mener.

AIDES À LA GESTION DE LA TRAJECTOIRE

On rappelle que c'est la partie essentiellement vitale de la mission aérienne.

Continuité de contrôle automatique de trajectoire

Cela évite la reprise brutale en pilotage manuel, réduit l'importante charge mentale correspondante (**cas 2**), et permet de diminuer fortement le souci du contrôle de la trajectoire (**cas 3, 4**) tout en gardant la capacité mentale de s'occuper des corrections.

S6

Concevoir des systèmes de conduite avec en cas de défaut d'automatismes la possibilité de garder un maintien stable de trajectoire, grâce à un minimum de fonctions (cap, altitude, vitesse, poussée), par exemple en ayant plusieurs sources indépendantes de paramètres (mesurés ou calculés) autorisant la poursuite de la trajectoire en cours.

Conception des automatismes

Ils sont conçus pour une mission définie avec intervention minimale des pilotes. Si l'intervention réelle ne correspond pas exactement à ce qui est prévu elle nécessite une connaissance approfondie des possibilités, des limitations et des compatibilités des fonctions assemblées (**cas 1, 2**). L'utilisation n'est plus intuitive et amène à des erreurs (**cas 1**).

Étonnamment un système destiné à simplifier la tâche humaine la complique par une nécessaire formation compliquée (**cas 1**) et onéreuse.

Psychologiquement cela conduit les pilotes à une grande dépendance des automatismes. On observe ainsi la surveillance insuffisante des paramètres de conduite en approche (**cas 1**).

L'utilisation doit être prévue pour la population réelle mondiale des pilotes et doit donc être simple et intuitive (**cas 1**).

S7

La conception des automatismes doit tenir compte des capacités et limitations humaines pour l'ensemble de la population mondiale des pilotes à leurs niveaux minimaux de compétence.

Les interventions humaines et leurs résultats doivent être simples et intuitifs. Les facteurs mentaux et leurs limitations ont une importance majeure aussi bien dans l'interfaçage dans le cockpit que dans la conception des systèmes.

Les autorités de certification doivent veiller à la bonne intégration systèmes/pilote en prenant en compte les facteurs mentaux et leurs limitations.

H4

La formation aux automatismes doit être non seulement théorique mais également et surtout pratique (simulation de cas difficiles). Toute formation sans pratique directe n'est qu'un leurre.

Remise de gaz automatique

La remise des gaz (Rdg) n'est pas une manœuvre intuitive alors que se poser est un impératif final. Une remise de gaz au cours d'un atterrissage non stabilisé pourrait sauver une situation devenue dangereuse (**cas 1**). Cependant, alors que cette manœuvre est recommandée par simple professionnalisme, « airmanship », ou par des règlements, le plus souvent elle ne s'impose pas prioritairement aux pilotes pris dans des situations à charge mentale élevée, aux prises avec des considérations d'horaires ou commerciales, ou simplement soumis à des impératifs triviaux et personnels sans rapport avec la mission.

Si elle se produit automatiquement elle permet aux pilotes de prendre le temps d'une reprise mentale correcte des actions.

S8

Son déclenchement pourrait être rendu automatique suivant les circonstances d'atterrissage, basé sur l'analyse de trajectoire en courte finale (hauteur, vitesse et gradient de vitesse, vitesse verticale, assiettes, cap, écarts par rapport à la trajectoire voulue), sans qu'on soit sûr que la décision soit optimale dans tous les cas, avec donc la possibilité pour le pilote de reprendre la main.

La prédiction du point de toucher et de la distance de roulement sur la piste pourrait apporter une solution.

En revanche le déclenchement par le pilote de l'exécution automatique de la manœuvre permet de prendre le temps du contrôle de la situation, avec des poussées prenant en compte le rapport poussée/masse de l'avion, et dans la phase ascendante avec la rentrée automatique des surfaces requise aux bonnes vitesses.

H5

Il faut présenter en formation les Rdg comme des manœuvres normales sans se limiter aux configurations de panne d'un moteur. Insister sur le danger des valeurs élevées des rapports poussée/masse en Rdg avec tous les moteurs en fonctionnement.

Une méthode adoptée parfois en formation est de considérer la Rdg comme l'objectif final d'une approche, avec un atterrissage si toutes les conditions requises étaient remplies.

Pilotage direct manuel

Par pilotage manuel on entend l'action directe et immédiate du pilote sur l'évolution du vecteur vitesse et simultanément sur la gestion des trois paramètres d'énergie (vitesse, altitude, poussée) à l'aide de manipulateurs (leviers, volants, manettes, etc.), au travers de systèmes de commandes de vol et de moteurs, aujourd'hui sans action directe sur les commandes de gouvernes de vol.

Dans les huit Règles d'or, « Golden rules », de la formation d'Airbus Training, la sixième dit : « When things don't go as expected – TAKE OVER ». Contrairement à l'axiome des partisans du tout automatique certains, réalistes, prévoient qu'on puisse être dépassé par l'utilisation d'automatismes complexes, ou par leurs « improbables pannes » (au sens du CS 25-1309). Le recours est le pilotage manuel.

Cette reprise permet le « recalage mental » sur la situation présente du vol et donne la quiétude mentale du cas connu (à condition qu'il reste mémorisé par la pratique), avec le temps de rétablir les bonnes conditions du vol.

C'est ce qu'a essayé de faire le PF (Pilot flying, pilote en fonction) en approche (**cas 1**). Son problème est venu de la procédure spéciale (basée sur l'entente parfaite entre les deux pilotes) de récupération de la poussée automatique incomplètement appliquée. Précisément son pilotage visuel alors que la vitesse n'était pas contrôlée l'a conduit à l'effet tunnel.

Noter aussi que la déconnexion brutale des automatismes peut conduire à une reprise difficile du pilotage manuel (**cas 2**) menant aussi à l'effet tunnel.

Mais, comme toute action manuelle de précision, le pilotage manuel impose le maintien des habiletés physiques et mentales par une pratique soutenue, ce qui devient difficile avec l'utilisation intensive d'automatismes de plus en plus poussés et fiables, souvent plus précis que les pilotes. La tentation est forte alors de faire du « tout automatique » et

de l'imposer dans l'utilisation opérationnelle des avions, avec les avantages avancés de coûts de formation et d'exploitation réduits.

Le résultat est la difficulté de traiter des cas relativement simples de pilotage manuel survenant de façon inattendue, par manque d'expérience (**cas 1, 2**).

En revanche a contrario les pilotes ayant conservé l'expérience du pilotage manuel ont sauvé la situation (**cas 3, 4**) par la précision de leur pilotage.

On ne se trompe pas en prévoyant que des cas à caractère « major », « hazardous », voire « catastrophic » (au sens du CS 25-1309) nécessitant une reprise manuelle ou directe du pilotage se produiront encore pendant des décennies, en supplément à ceux non prévus en conception.

On est donc face à un dilemme :

- ou bien on continue de négliger la nécessaire habileté du pilotage manuel, et on accepte formellement l'impossibilité de récupérer des cas d'évolution catastrophique ;
- ou bien on admet la nécessité de bien former les pilotes au pilotage manuel, ce qui a un coût.

On ne peut pas attendre des pilotes qu'ils gèrent correctement leur pilotage manuel si on leur refuse les moyens d'acquérir et de conserver la compétence nécessaire.

S9

Il faut que le passage volontaire ou non du pilotage automatique au pilotage manuel se fasse de façon simple et intuitive en situation de stress pour permettre à la fois le contrôle de la trajectoire et celui de la poussée. Pour le contrôle de cette dernière on peut par exemple imaginer que, si la fonction AT (Autothrust, contrôle automatique des moteurs) reste en service à la déconnexion de l'AP (Autopilot, pilote automatique), elle passe automatiquement sur le mode « vitesse sélectionnée » à sa valeur à la déconnexion de l'AP.

Il faut que le passage involontaire soit sans brutalité, immédiatement perçu et reconnu par les pilotes en situation de stress. La déconnexion brutale des automatismes peut conduire à une reprise difficile et dangereuse en pilotage manuel.

H6

La formation de base des pilotes doit insister sur les manœuvres de récupération de situations difficiles. Cela est valable aussi en qualification de type.

Comme certaines le font déjà, les compagnies devraient exiger un minimum d'atterrissages contrôlés en pilotage manuel, avec et surtout sans AT, et ne pas exiger systématiquement le tout automatique.

Des exigences correspondantes des autorités devraient fournir cette base minimale, ce qui est le cas pour la FAA.

Basses vitesses, hautes incidences, décrochage

L'incidence est le paramètre-clé du fonctionnement aérodynamique des avions. La difficulté de sa mesure exacte l'empêche d'être aujourd'hui un paramètre de conduite.

On pallie ce handicap en reportant ses limitations opérationnelles sur la valeur correspondante de la vitesse indiquée (aérodynamique) qui est un paramètre classique de conduite, avec des limitations en assiette longitudinale pour des cas précis de vol.

Liés directement à l'incidence se trouvent les phénomènes dangereux de décollement de l'air conduisant à la perte de portance de l'aile à l'atteinte d'une valeur correspondant à l'incidence maximum.

La stratégie consistant à protéger l'avion en l'empêchant d'atteindre les limites physiques de son domaine de vol est bonne en soi. En revanche les accidents dus aux décrochages ne cessent pas malgré les dispositifs d'alerte à l'approche de cette incidence maximum (visuels, auditifs, tactiles, contre automatique par mouvement de gouvernes). En théorie un pilote ne verrait jamais son avion décrocher, la pratique contredit cette croyance.

Voici les faits.

- Dans la formation des pilotes la notion même d'incidence maximum est diluée au profit de celle de vitesse limite, bien repérée sur le PFD. Ce qui introduit mentalement une notion diffuse de danger due à une incidence limite non représentée et la confusion sur la conduite à suivre quand les protections se déclenchent (**cas 1, 2**).
- Une alarme sonore doit obligatoirement être doublée de la vision de l'élément ou du paramètre d'origine de l'alarme. Pour le décrochage la seule information visuelle correspondante se trouve sur l'échelle de vitesse. Mais ce n'est pas l'incidence, le paramètre physique lui-même (**cas 2**).
- À altitude élevée il peut y avoir confusion entre les phénomènes liés à l'altitude et ceux dus à l'approche du décrochage (**cas 2**).
- Rares sont les formations de base où l'on enseigne la récupération de décrochages réels, voire celle de mise en vrille, puisqu'en théorie il y aurait impossibilité de les atteindre. Le résultat est la non reconnaissance des phénomènes annonceurs, et la méconnaissance des manœuvres de récupération (**cas 1, 2**). Il faut noter qu'en formation pratique de base sur les décrochages, ceux-ci sont exécutés en général sur avions à hélice et à aile droite, phénomènes assez différents de ceux sur aile en flèche et avec moteurs à réaction. Des programmes réalistes au simulateur de vol (FFS) sont nécessaires en vue d'enseigner la reconnaissance des phénomènes de décrochage. Il n'est pas nécessaire en revanche que les paramètres simulés restituent strictement ces phénomènes par nature variables.
- La protection pratique est liée à la configuration des automatismes, des commandes de vol en particulier. La dégradation de leurs modes de fonctionnement, en situation de pannes en particulier, peut d'autant mieux passer inaperçue

que dans la formation des pilotes on insiste sur l'impossibilité d'atteindre les limites du domaine de vol, sans trop insister sur cette dégradation. Lorsqu'elle survient elle est certes mentionnée par alarmes et messages, ceux-ci passant parfois inaperçus dans le chaos d'une situation délicate (**cas 1, 2, 3**).

En revanche les pilotes ayant reçu une formation de base correcte et ayant de l'expérience ont pu intégrer cette notion d'incidence limite dans leurs manœuvres correctives (**cas 3, 4**).

Malgré les injonctions permanentes des bureaux d'enquêtes d'accidents l'indication spécifique de l'incidence n'est pas obligatoire sur les tableaux de bord (**cas 1, 2, 3, 4**). Il est difficilement concevable qu'à l'époque actuelle avec les moyens techniques de mesure des paramètres et calculs dont on dispose, qu'on ne puisse pas donner aux pilotes, et aux systèmes (**cas 2**), une indication fiable de ce paramètre, mesurée ou calculée (angle entre la référence de voilure de l'avion connue et le vecteur vitesse, aujourd'hui présentés au pilote).

S10

Concevoir un moyen fiable et redondant de procurer une valeur, mesurée et/ou calculée, de l'incidence suffisamment précise pour les besoins opérationnels.

Il est difficilement concevable qu'à l'époque actuelle avec l'abondance de données et de possibilités de calculs algorithmiques qu'on ne puisse pas donner aux pilotes, et aux automatismes, une indication fiable de ce paramètre, mesurée ou calculée (angle entre la référence voilure connue et le vecteur vitesse aujourd'hui présentés au pilote sur le PFD).

Cette valeur et l'approche des limites doivent être présentées convenablement sur le tableau de bord pour être utilisées sous stress (l'utilisation de l'indicateur d'incidence sur Concorde était courante et efficace).

De même il faut présenter de façon clairement perceptible sous stress les retraits de protection du domaine de vol.

L'introduction au simulateur de vol des paramètres de décrochage nécessite l'exploitation de mesures d'essais en vol.

H7

Rares sont les formations de base où l'on enseigne la récupération de décrochages réels, voire celle de mise en vrille, puisqu'en théorie il y aurait impossibilité de les atteindre. Le résultat est l'absence de reconnaissance des phénomènes annonciateurs, et la méconnaissance des manœuvres de récupération. Des programmes réalistes au simulateur de vol (FFS), complémentaires de ceux pratiqués sur avion de début, sont nécessaires en vue d'enseigner la reconnaissance des phénomènes de décrochage. Il n'est pas nécessaire en revanche que les paramètres simulés restituent strictement toutes les caractéristiques de ces phénomènes par nature variables.

La protection pratique est liée à la configuration des automatismes, des commandes de vol en particulier. La dégradation de leurs modes de fonctionnement, en situation de pannes, peut d'autant mieux passer inaperçue que dans la formation des pilotes on insiste sur l'impossibilité d'atteindre les limites du domaine de vol, sans trop insister sur cette dégradation. Lorsqu'elle survient elle est certes mentionnée par alarmes et messages, mais ceux-ci peuvent parfois passer inaperçus dans le chaos d'une situation délicate.

En formation de base, et en reprise dans les qualifications de type, il faut :

- insister sur le rôle fondamental de l'incidence ;
- enseigner les variations d'incidence et de vitesse indiquée correspondante en fonction de la masse, du facteur de charge, de l'altitude, du nombre de Mach, de la configuration avion ;
- enseigner les phénomènes précurseurs d'approche de l'incidence maximum ;
- enseigner les phénomènes dus au buffeting à haute altitude et les distinguer du décrochage ;
- enseigner les récupérations de décrochages réels sur avion de début, puis en simulation sur FFS en qualification de type avec différentes valeurs de masse, de facteur de charge, d'altitude, de M (nombre de Mach), de configuration.

Évolution dans le plan vertical – échanges d'énergie

L'évolution dans l'air implique les échanges entre l'énergie cinétique de l'avion (qui ne peut voler qu'avec de la vitesse) et son énergie potentielle (il évolue en altitude). Cela grâce à l'apport d'une énergie interne fournie par les moteurs (leur poussée). Le contrôle de la trajectoire en plans horizontal et vertical est dû à la combinaison de ces trois énergies. Leur équilibrage est assuré par l'action sur les commandes de vol et par le contrôle de la poussée par les manettes de poussée.

L'évolution dans le plan horizontal (accélération), sans variation d'énergie potentielle, est assez bien maîtrisée. En revanche de tout temps le pilotage dans le plan vertical a été difficile (**cas 1, 2**) avec les paramètres classiques exprimés dans des unités ne facilitant pas le calcul mental des échanges et des correspondances (par exemple une pente à 3° équivaut à 5/100, et à une vitesse verticale d'environ 800 ft/min à 160 kt de Vitesse indiquée à basse altitude). D'autre part la correspondance Vitesse indiquée (aérodynamique) – Vitesse réelle – Altitude – nombre de Mach n'a rien d'évident, surtout en y rajoutant le vent. Mais elle est heureusement prise en compte par les automatismes de conduite (AP et AT).

L'éducation au calcul mental (fastidieux... mais combien pratique en situations d'urgence !) a fait place à l'usage de la calculatrice et aux abaques et tableaux de chiffres complexes, puis aux calculateurs (FMS, Flight management system, tablettes et autres). Reste le problème du tri, de l'insertion et du contrôle des paramètres, qui prennent du temps et de l'attention (**cas 3, 4**).

En pilotage manuel, le traitement simultané des vitesse, altitude, vitesse verticale et poussée n'est parfois pas assuré (**cas 1, 2**). En revanche les pilotes ayant l'expérience de ce type de pilotage maîtrisent ce traitement (**cas 3, 4**).

Traditionnellement le contrôle de la poussée, des moteurs, est séparé de celui de la trajectoire, ce qui peut expliquer son oubli (**cas 1, 2**). Le principe de changer les habitudes en utilisant l'énergie totale, incluant le traitement de l'énergie interne simultanément aux deux autres, serait certainement un progrès (**cas 1, 4**) mais demande une mise au point affinée (**cas 1**).

S11

Le traitement simultané des trois énergies est pratiqué par les automatismes actuels (AP + AT).

Cependant le pilotage manuel sera toujours nécessaire, en particulier en urgence. Il y a donc nécessité de mettre au point un système de conduite manuelle prenant en compte de façon synthétique le contrôle des trois énergies.

H8

En formation de base il faut enseigner par des exercices pratiques les évolutions et correspondances entre les Vitesse indiquée (aérodynamique) – Vitesse réelle – Altitude – nombre de Mach.

Il faut insister sur l'enseignement par la pratique du traitement simultané des vitesse, altitude et vitesse verticale, et poussée, et avoir recours au calcul mental pour des situations classiques (par exemple en approche).

En qualification de type il faut enseigner le pilotage manuel avec contrôle direct de la poussée (sans AT).

Directeur de vol, FD

Le directeur de vol, FD, est une aide au pilotage manuel universellement reconnue. Pour qu'il ait vécu après plus de 50 ans, c'est qu'il doit être d'une utilité certaine. En fait il est une réplique du pilote automatique, AP. Il donne au pilote les mêmes ordres que ceux que l'AP donne aux commandes de vol pour suivre les fonctions de conduite sélectionnées par ce pilote, directement au panneau de contrôle des modes (Mode Control Panel, MCP) ou par le FMS.

Pour suivre ses ordres l'humain doit simplement actionner les commandes de vol pour que les assiettes longitudinales et latérales coïncident avec les demandes affichées sur le PFD afin de suivre la trajectoire demandée par la sélection des fonctions. C'est une action en boucle fermée pilote/commandes de vol, de commande amortie quasi directe des assiettes longitudinale et latérale avec un faible temps de réponse de l'ensemble humain-avion. Dans les cas analysés (**cas 1, 2, 3, 4**) il s'agissait de ce type de FD, standard.

Le FD peut être utilisé comme contrôle sur le PFD du bon fonctionnement de l'AP. Ou bien, AP déconnecté, il donne aux pilotes la référence du suivi correct en pilotage manuel des fonctions sélectionnées, par exemple en approche ILS sans référence GLIDE.

L'avantage ayant assuré sa survie est double :

- la tâche de positionner par action manuelle un point sur des barres croisées est la plus aisée qui soit ;
- on n'a pas besoin de réfléchir, l'ordre demandé élaboré par des automatismes étant réputé fiable.

Il est par habitude, et malheureusement par enseignement, la « référence » du suivi de la trajectoire désirée, au point qu'on en oublie la vérification obligatoire des paramètres primaires classiques de vol, vitesse, pente, altitude, vitesse verticale, position ILS, etc. En cas de problème c'est à lui qu'on se réfère, parce qu'en urgence la consultation des paramètres normaux nécessite de l'attention, prend du temps et est devenue difficile par manque de pratique. Ce fait le rend dangereux car l'expérience montre que fréquemment en situation complexe ses indications ne correspondent pas aux intentions des pilotes.

Dans les automatismes actuels, les fonctions AP et AT sont interconnectées permettant le suivi de trajectoires complexes où la vitesse est évolutive en fonction du type de trajectoire (par exemple en montée, du sol à l'altitude de croisière). En cas de déconnexion de l'AP, le FD peut continuer à donner les mêmes ordres que ceux sélectionnés pour l'AP, avec l'AT toujours connecté. C'est une aide si le pilote suit exactement en manuel les indications du FD, ou c'est la confusion s'il ne les suit pas (**cas 1, 2**). Si elle est oubliée l'obligation de déconnecter volontairement le FD devient dangereuse dans ce cas (**cas 2**).

Dans nos analyses deux cas se sont révélés dangereux :

- le PF (**cas 1**) a correctement déconnecté l'AP qui lui imposait une manœuvre inattendue, et a voulu continuer en manuel avec le contrôle de la vitesse par l'AT, ce qui était possible, mais avec une manœuvre de sélection spéciale imposée par le système du B777 : la déconnexion des 2 FD, de droite et de gauche. Dans la confusion l'un des FD est resté connecté, empêchant la reprise du contrôle de la vitesse par l'AT. D'où le décrochage en finale ;
- l'enchaînement des situations (**cas 2**) a entraîné des changements de modes du FD, certes logiques mais inattendus. Apparemment le PF s'est réfugié dans les indications inappropriées de son FD, ce qui a aggravé la situation.

Il est constaté une large déficience en documentation technique et surtout en formation sur l'utilisation des systèmes automatiques complexes, dans les multitudes de combinaisons et de situations (**cas 1, 2**). La lecture insipide de textes et la vision passive de procédures sur écrans n'ont rien à voir avec la pédagogie nécessaire pour réagir aux situations inattendues complexes. Seules des manipulations au simulateur peuvent imprimer les actions de type réflexes dans la mémoire. Mais cela a un coût.

S12

L'indépendance des fonctions FD et AT en pilotage manuel semble nécessaire, sauf en fonctionnement des protections de domaine de vol avec reprise automatique de l'AT. Une solution serait de couper la visualisation du FD sur PFD lors de déconnexion de l'AP, avec une reprise éventuelle mais volontaire par le pilote, associée à la révision de sélection des modes.

Les modes associés au vecteur vitesse (FPV, FPD) devraient être favorisés.

Le rôle et les objectifs du FD sont à revoir en pilotage manuel, dans le sens du pilotage de la trajectoire par objectifs en se servant du vecteur vitesse, les automatismes étant asservis au choix du pilote et non l'inverse comme aujourd'hui.

H9

Il est constaté une large déficience en documentation technique adaptée à l'utilisation opérationnelle pratique, en particulier sur le sujet des interactions complexes entre systèmes et de leurs dangers potentiels. Autre déficience, la formation à l'utilisation des systèmes automatiques complexes, surtout dans les multitudes de combinaisons et de situations. La lecture insipide de textes et la vision passive de procédures sur écrans n'ont rien à voir avec la pédagogie nécessaire pour réagir aux situations inattendues complexes.

Seules des manipulations, au simulateur et en vol, peuvent imprimer les actions de type réflexes dans la mémoire.

Un mode de pilotage, utilisé sur les Airbus depuis l'A310, est le contrôle de la trajectoire par le « Flight Path Vector », FPV, qui n'est autre que le vecteur vitesse en références sol. Ce mode a l'avantage de contrôler directement ce que recherche le pilote, l'orientation du vecteur vitesse de l'avion. En revanche, par rapport au pilotage en assiettes, la boucle d'asservissement pilote-avion comporte un élément supplémentaire, le mouvement de l'avion lui-même avec son inertie suite aux impulsions des commandes de vol, ce qui donne un temps de réponse de la boucle légèrement augmenté.

Le directeur de vol est aussi adapté à ce mode, et prend le nom de « Flight Path Director », FPD. Il se présente sous la forme d'une petite ligne avec un point central, sur laquelle on place le FPV sous la forme d'un rond avec de petites ailes.

Ce mode simplifie grandement la perception de l'évolution de la trajectoire. Il est compatible avec le pilotage tête haute, le « Head up display », HUD.

En formation il est bon d'orienter les opérations vers l'usage courant du vecteur vitesse.

Il faut aussi insister sur l'enseignement pratique du FD et de l'AT associés, par des exercices pratiques sur simulateurs, si possible en reproduction de cas réels d'incidents.

Protections automatiques

Elles ont été évoquées précédemment. Elles assurent une bonne protection en limite de domaine de vol, mais elles ont leurs propres limitations.

Elles constituent à elles seules un sujet d'études important et difficile. Parmi les points importants on trouve :

- leurs seuils et limites de fonctionnement ;
- leur fiabilité, elle-même fonction de déficiences potentielles de leurs paramètres de fonctionnement et des capteurs associés ;
- la reconnaissance immédiate de leur action ou de leur absence par le pilote ;
- l'absence de fonctionnement aberrant en toute circonstance.

S13

Les protections automatiques doivent faire l'objet d'analyse approfondie de leurs limitations en modes dégradés de conduite de vol. Les recouvrements de paramètres importants par sources dissimilaires doivent être introduits lorsque nécessaire.

Cas inhabituels délicats – exploitation des données recueillies

Les accidents relèvent de cas inhabituels et délicats, certains plus que d'autres.

Ainsi les **cas 3 et 4** ont nécessité une grande maîtrise de soi des PF alors qu'ils se trouvaient dans des situations précaires de pilotage avec l'impossibilité de remettre les gaz, avec la nécessité vitale de réussir sans autre espoir.

Comment apprend-on cela ? Comment s'y préparer ?

On a déjà évoqué la maîtrise du stress. Le cas de perte de poussée des 2 moteurs à basse altitude, et celui de l'atterrissage en configuration dégradée des systèmes et de la structure, ne sont pas des cas isolés et devraient servir de thèmes à des séances FFS d'éducation des réflexes mentaux aux situations inattendues.

Les cas de situations rares mais catastrophiques sont à traiter avec au moins autant de soin que ceux de situations courantes, car ils impliquent un accès immédiat et non ambigu aux procédures adaptées (**cas 4**).

D'autre part il est constaté que nombre d'accidents ont eu des incidents précurseurs enregistrés dans des banques de données, chez les constructeurs, chez les compagnies, dans des systèmes officiels de recueil (**cas 1**). Comment exploite-t-on ces « big data » de millions de cas ?

Le problème des échanges généralisés, mondiaux, de données d'incidents afin d'en tirer des prévisions d'occurrence d'accidents est loin d'être résolu.

Noter que ce problème est connu depuis plus de 40 ans, sans apparemment avoir été résolu. Est-il toujours difficile et coûteux au temps de l'IA ? Noter aussi que sa résolution est nécessaire pour alimenter la faculté d'apprentissage de l'IA pouvant ainsi être utilisée à bon escient.

Enfin dans le Dossier 42 on a remarqué que pour un accident enregistré dans le monde, il y avait environ cinq millions de cas de récupération de situations à risque par les équipages, dont on ne parle pas car sans conséquence, les pilotes ayant fait leur travail. La connaissance de ces cas permettrait sans aucun doute d'orienter les recherches de moyens d'aide aux pilotes. Quotidiennement des dizaines de vols sont surveillés dans le monde avec les procédures de vérification du comportement des équipages telles que les Line Operations Safety Audits, LOSA et Operational Flight Data Monitoring / Flight Operation Quality Assurance, OFDM/FOQA (**cas 1**). Mais leur objectif actuel est d'abord de s'intéresser à ce qui laisse à désirer, et non à enregistrer ce qui a été résolu avec succès. Cependant il ne devrait pas être difficile d'introduire ce nouvel objectif dans ces procédures.

La plupart des compagnies enregistrent et exploitent les incidents constatés, mais l'échange de ces données n'est pas suffisamment systématique pour tirer tous les enseignements de ces incidents et pour mieux déceler les tendances potentiellement dangereuses.

S14

Les situations exceptionnelles mais potentiellement catastrophiques sont à traiter avec soin car elles impliquent un accès immédiat et non ambigu aux procédures leur étant adaptées (par exemple perte des moteurs à basse altitude). Elles doivent faire l'objet d'études particulières afin de donner aux pilotes des conseils opérationnels vitaux (par exemple assiette longitudinale à l'impact).

Il faut utiliser les LOSA et OFDM/FOQA pour recueillir les cas de correction de situations par les équipages, surtout échanger systématiquement ces informations au sein de la communauté aéronautique pour déceler les tendances potentiellement dangereuses et tirer tous les enseignements de ces situations.

Et enfin il convient de trouver les méthodes et moyens d'exploitation des nombreuses banques mondiales de recueil d'incidents afin de détecter des occurrences potentielles d'accidents, et d'en déduire des mesures de prévention.

H10

Avec l'objectif d'éduquer les pilotes aux situations inattendues et inhabituelles, il faut utiliser au FFS les scénarios d'accidents et d'incidents graves, même qualifiés d'improbables.

AIDES À LA CONSCIENCE DE SITUATION

Généralités

Dans le chapitre « Maîtrise du stress », on a rappelé l'importance des limitations opérationnelles humaines. Les aides à la conscience de situation (Cds) doivent obligatoirement

ment en tenir compte, avec des attributs caractéristiques permettant d'avoir des solutions pratiques utilisables, ce que par exemple ne précisent pas les règlements actuels.

Cette Cds comporte trois éléments, dans l'ordre : contrôle de la trajectoire, reconnaissance de l'événement perturbateur, prise en compte de l'état des dégradations. Noter que le deuxième n'est pas forcément possible en urgence.

Dans une étude précédente on a vu que les informations visuelles étaient la source prioritaire des informations à traiter, mais que leur tri en situation de surprise et de stress était difficile et sujet aux erreurs (**cas 1, 2, 3**).

Exploitation des paramètres de vol, de trajectoire

Ceux-ci sont concentrés et détaillés sur le PFD et sur l'écran des paramètres moteurs. Les paramètres pertinents dans une situation d'urgence doivent être triés parmi la trentaine et plus qui sont présentés sur le PFD et l'écran moteurs, puis assemblés mentalement pour avoir une idée correcte de la situation et de son évolution. Avec succès (**cas 3, 4**) ou en échec (**cas 1, 2**).

L'idéal serait une synthèse immédiate de ces paramètres pertinents. En fait le HUD (Head up display) présente de facto une telle concentration/sélection des paramètres de vol, avec l'indication du contrôle de l'énergie et une vision extérieure.

On a transféré les paramètres utilisables de la « tête basse » à la « tête haute » avec ses contraintes, et il serait probablement utile de faire à présent le transfert inverse avec l'expérience opérationnelle du HUD. Pour l'étude présente il s'agit essentiellement des paramètres vitaux, vitesse, cap, altitude, incidence, position spatiale, énergie.

Ne pas oublier que le phénomène mental de focalisation de l'attention consciente (effet tunnel) restreint aussi l'amplitude de la perception visuelle.

S15

La pertinence de la concentration des informations sur HUD est à étudier pour reporter l'expérience opérationnelle HUD sur l'évolution des paramètres PFD.

La représentation synthétique est à utiliser partout où elle peut s'appliquer. Ne pas oublier que le phénomène mental de focalisation de l'attention consciente restreint aussi l'amplitude de la perception visuelle. Bien entendu, sur sa demande, le pilote pourra accéder aux paramètres détaillés.

Des graphismes de synthèse pourraient présenter des solutions opérationnelles pour préciser la position de l'avion dans son domaine de vol, en indiquant comment y revenir si on s'en est écarté. Les standards actuels sont à revoir en faveur de la simplicité de perception.

H11

En formation insister sur l'éducation du balayage visuel.

État des automatismes de conduite – FMA, Flight mode annunciator

On a vu qu'il serait bon de conserver la continuité du contrôle automatique de trajectoire même réduite aux stabilités basiques (**cas 2, 3**).

On a aussi vu précédemment que dans le chaos d'une situation mentalement complexe le salut escompté vient de l'usage simple du système indiquant une manœuvre simple, par exemple le FD utilisé habituellement en opération courante (**cas 2**). Cela à condition que ses indications restent fiables parmi les dégradations amenées par l'événement soudain, sinon la situation empire (**cas 2**).

Les pilotes habitués à l'usage et/ou au contrôle des paramètres de base échappent à cette tendance (**cas 3, 4**).

Mais il est nécessaire de bien connaître l'état des modes en fonction ou disponibles. Le FMA (Flight Modes Annunciator) a cet objectif. Il est utilisé avec succès lorsque le temps disponible le permet (**cas 3, 4**), mais malgré sa présence sur le PFD il passe inaperçu lorsque, par focalisation de l'attention, l'urgence rend prioritaire l'exploitation des paramètres d'action immédiate (**cas 2**).

Adapté aux situations normales, le FMA ne l'est pas en situation d'urgence avec stress. Ce problème reste à résoudre.

S16

La connaissance des modes en fonctionnement doit être possible en situation de stress, la solution actuelle n'étant pas efficace en évolution rapide et temps disponible limité.

D'où des obligations simultanées :

- synthétiser les informations pertinentes et elles-seules pour qu'elles soient immédiatement perçues et utilisées sans ambiguïté ;
- les « images » doivent se trouver dans le champ visuel du pilote avec une « affordance »⁽¹¹⁾ visuelle correcte ;
- le système à définir ne doit pas simplement se substituer à celui utilisé en mission normale mais doit se situer en continuité pour qu'il n'y ait pas de discontinuité cognitive des perceptions lorsque survient l'inattendu ;
- le principe « d'affordance » opérationnelle est à considérer pour que la situation synthétisée suggère les actions correctrices de la situation, et ne nécessite pas une importante formation récurrente.

H12

La formation intensive au FMA actuel n'aura jamais qu'une valeur limitée sous stress.

11 Affordance : qualité de suggérer une action

État des systèmes – ECAM, EICAS

Par méconnaissance de l'EICAS seul l'ECAM sera évoqué ici (**cas 2, 3**).

Le système ECAM est performant mais nécessite une stricte discipline dans la répartition et l'exécution des tâches par l'équipage à deux pilotes (**cas 2, 3, 4**).

L'ECAM est une aide majeure, mais son logiciel, son IA car c'en est une, s'est trouvé pris en défaut par l'amplitude imprévue de l'afflux d'informations et par l'absence d'information de systèmes (ruptures de liaisons), ou par leur utilisation devenue erronée dans la combinaison de pannes.

Le **cas 3** est le plus important par l'ampleur du nombre de traitements.

La simultanéité de dégâts et pannes de systèmes était certes gérée au mieux du logiciel certifié, mais la réduction des situations complexes n'a pas été possible dans son ensemble.

Les listes sans fin sur plusieurs pages des systèmes indisponibles ne sont pas d'une aide efficace lorsque le temps disponible est mesuré. Il y avait obligation d'appliquer à la multitude de pannes les procédures de traitement prévues pour quelques pannes simultanées. D'où saturation initiale, suivie de l'application sans fin par l'équipage, le FO (First officer) en particulier, des procédures présentées.

Dans la situation complexe des systèmes affectés le logiciel ECAM ne peut pas prendre en compte toutes les combinaisons de pannes ou d'absence d'information. Par exemple l'alarme rouge ENG2 FIRE, transitoire, probablement par destruction du détecteur dans la zone moteur 2, passant inaperçu du Cpt.

Il s'ensuit des incohérences réelles ou apparentes des messages et des check-lists amenant à douter de leur validité. Par exemple la demande d'alimentation croisée (« cross-feed ») de carburant vers des réservoirs percés.

L'équipage était obligé de juger la validité du traitement de chacun parmi la centaine de messages reçus. Par exemple la coupure demandée des pompes hydrauliques « jaunes » (« Yellow ») du moteur 4.

Noter dans le **cas 2** une fausse indication donnée par l'ECAM suite à la disparition d'informations de base, ayant conduit à une perturbation mentale dans les actions du copilote.

Le Systems Display, SD, a été une aide majeure, indispensable pour se faire une opinion sur l'état des systèmes, pour suivre les évolutions créées par l'application des check-lists, pour juger de l'opportunité de le faire, pour effectuer un bilan de situation. Il a été utilisé en permanence, soit que les pages étaient présentées automatiquement par l'ECAM, soit qu'elles étaient appelées par les pilotes.

Ce constat est important car il atteste que les informations par schémas et dessins sont traitées mentalement de façon synthétique et rapide, mieux qu'à l'aide de textes forcément composés d'abréviations.

La connaissance de l'état des systèmes est nécessaire pour deux raisons principales, la résolution immédiate de dangers (trajectoire, feux, fuites, pressurisation...) et la connaissance des moyens disponibles pour un déroutement vers un lieu de repli avec l'atterrissage en situation précaire.

On montre la liste des systèmes rendus indisponibles mais, avec des longues listes, il est difficile de repérer ce qui reste disponible pour voler et atterrir. Rompant avec la procédure de suivre ce que signale l'ECAM, le PF du **cas 3** a décidé de trier ce qui lui permettait d'atterrir. C'est effectivement ce qu'il serait nécessaire en urgence, avec une nouvelle orientation des logiciels du système.

D'autres informations vitales sont les paramètres d'atterrissage et leurs limitations avec des commandes de vol dégradées, des hypersustentateurs détériorés, une masse et un centre de gravité hors limites, des freins inopérants (**cas 3**), une poussée éventuellement limitée. Cela aussi sans FMS et pour des conditions de piste non prévisibles. Ces informations doivent être obtenues rapidement par le seul équipage à deux, ce qui n'a pas été possible dans le **cas 3** (utilisation des pilotes supplémentaires heureusement présents dans le cockpit).

S17

Il est probable qu'Airbus a exploité les nombreuses informations du QF32. On rappelle pour mémoire les problèmes liés à la simultanéité des pannes, à la suppression des liaisons, à la répétition de pannes « fantômes », aux procédures rendues dangereuses. Comment tout cela peut-il être pris en compte ? La réponse se trouve chez le constructeur. Mais restent alors la certification de logiciels complexes et la mise au standard des flottes d'avions.

Dans la perception et le traitement complexes de systèmes, la présentation graphique est meilleure que par textes, forcément avec abréviations.

Connaître la liste toujours longue des systèmes indisponibles est nécessaire, mais **connaître ce qui reste disponible (en particulier les systèmes de conduite) est vital et doit être connu sans effort, immédiatement.**

D'autres informations vitales sont les paramètres d'atterrissage et leurs limitations avec des commandes de vol dégradées, des hypersustentateurs détériorés, une masse et un centre de gravité hors limites, des freins inopérants, une poussée éventuellement limitée. Cela aussi sans FMS et pour des conditions de piste non prévisibles. Ces informations doivent être obtenues rapidement par le seul équipage à deux, ce qui dans un cas n'a pas été possible (utilisation des pilotes supplémentaires dans le cockpit). Sans oublier l'extrapolation au cas d'un seul pilote à bord.

H13

Comme pour ce qui précède, la définition et la mise au point des systèmes de type ECAM doivent se faire en prenant en compte les limitations humaines sous stress.

Alarmes

Les problèmes liés aux alarmes sont aussi anciens que l'aéronautique. Leur nature a suivi l'évolution duale des systèmes de l'avion et de leur propre technologie. Leur stratégie a aussi évolué en fonction de l'expérience acquise en matière de sécurité.

Les problèmes associés aux alarmes sonores ne sont pas nouveaux. La simultanéité d'alarmes sonores crée une ambiance de stress diminuant les capacités mentales, surtout lorsque les sons ne sont pas associés à une reconnaissance visuelle rapide de leur cause. Une alarme seule est en général traitée correctement, deux simultanées s'avèrent plus difficiles à traiter, trois obligent à une concentration mentale assez peu commune (**cas 1, 2, 3, 4**).

La multiplication des voyants d'alarme allumés et les alarmes correspondantes ne permettent à aucun système d'apparaître en contraste. D'où saturation mentale. Il faut probablement mieux définir une hiérarchie dans l'importance des conséquences des pannes, et dans la présentation et la nature des alarmes simultanées.

Les principaux problèmes trouvés dans les analyses sont les suivants.

- L'ambiance sonore d'alertes simultanées est déroutante (**cas 2**) lorsque ces dernières ne sont pas associées à une confirmation visuelle positive (voyant ou contraste immanquable). Elle limite les possibilités mentales par leur saturation sonore si on est aux prises avec une action d'urgence immédiate. De plus leur répétition engendre une gêne mentale dans l'exécution des actes conscients, alors qu'elles existent pour aider à la prise de conscience de situation.
La présence de deux boutons d'arrêt (MC, Master caution, et MW, Master warning) introduit le risque de sélectionner le mauvais en urgence.
- L'alarme « Stall » n'est visuellement liée qu'à l'observation de l'échelle des vitesses (**cas 2**) et non à la présentation du phénomène physique (indication de l'incidence). Apparemment cela ne suffit pas (**cas 1, 2**). Il faut noter que les automatismes ne protègent de l'approche au décrochage que lorsque la configuration des commandes de vol n'est pas dégradée.
En règle générale les alarmes se référant aux paramètres de conduite sont associées à des présentations spécifiques de ces paramètres (segments ambres ou rouge, ou autre) immanquables si on suit attentivement tout ce que présente le PFD. Ce n'est pas le cas sous stress. Il faut autre chose de directif (« affordance »).
- La répétition sonore des alarmes est inutile après leur arrêt volontaire lorsque les indications visuelles persistent (**cas 3**).
- La répétition sans arrêt des alarmes est inutile et stressante lorsqu'il y a impossibilité de résoudre le problème afférent (**cas 3**). En revanche il serait nécessaire d'indiquer alors clairement cette impossibilité (**cas 3, 4**).

S18

La survenance d'une alarme sonore majeure doit s'accompagner de la visualisation non ambiguë du paramètre correspondant, sur le PFD ou ailleurs.

Pour des alertes/alarmes (visuelles et sonores) en situation dynamique, la présence de repérage coloré de limites sur des échelles PFD n'attire pas suffisamment l'attention sur le paramètre concerné en situations inattendues. Un contraste augmenté (voire un masque temporaire) serait une solution pour éviter de rechercher et trier.

Il faut résoudre les problèmes de simultanéité d'alarmes visuelles et sonores, de leurs priorités, de leur répétition, de leur effacement, des « chaos visuel et sonore ». Trier par importance ? Mais cela dépend de la situation.

Trop d'alarmes sonores ? Augmenter le nombre d'alertes vocales (voix artificielle) ?

Faut-il rassembler lorsqu'elles surviennent les alarmes majeures, la présentation des paramètres incriminés sur un même écran, en parallèle de leur figuration normale ?

H14

Certes de nombreuses études ont été consacrées aux alarmes mais les solutions sont encore loin d'être satisfaisantes malgré les améliorations apportées depuis des décennies. Il y a nécessité d'une étude de traitement, de corrélation alerte sonore / zone d'intérêt, sous stress en tenant compte des limitations humaines.

Procédures

Les procédures sont une aide opérationnelle efficace. Cependant leur utilisation est soumise aux limitations humaines.

En inattendu dangereux d'évolution rapide, le recours aux procédures de type « aller chercher ailleurs », lorsqu'elles ne sont pas à la disposition directe des pilotes, est illusoire (temps d'accès et de tri prohibitif). La formation et la discipline ne peuvent pas aller à l'encontre de cette exigence (**cas 2**).

Une check-list non adaptée à la situation peut amener au gaspillage de temps précieux alors que seuls quelques éléments sont pertinents pour la situation, avec l'impossibilité d'aller jusqu'au bout (**cas 4**).

S19

Toutes les procédures, surtout celles employées peu fréquemment, doivent être accessibles rapidement et simplement sur écran en vue directe des pilotes.

Un soin particulier doit être apporté aux check-lists de situations rares.

Travail en équipage

Une évidence :

- en situation inattendue le travail en équipe, chacun connaissant ses tâches et communiquant avec l'autre, donne un résultat positif concret (**cas 3, 4**) ;
- en revanche l'inverse conduit à la catastrophe (**cas 1, 2**).

Noter l'alternance des rôles PF/PNF au cours d'un long traitement de situation, pour diminuer le stress des deux pilotes (**cas 3**).

Cependant le concept de l'équipage à deux a été dépassé en plusieurs occasions (**cas 3**) :

- la densité des actions a amené le deuxième copilote à contrôler de près les actions des PF et PNF (ou PM, Pilot Monitoring). On ne connaît pas ses interventions mais on peut supposer que des erreurs ont été corrigées et que des avis pertinents ont été formulés ;
- la difficulté de consulter les documents de performances en situation anormale avec des configurations imprévues et la durée d'obtention des paramètres d'atterrissage ont obligé à confier la tâche aux autres pilotes présents. Cela amène à revoir leur accès rapide en urgence.

Dans le **cas 1**, le troisième pilote (Observer) est intervenu de façon judicieuse mais sans réaction du PF.

En revanche le mauvais choix des priorités de tâches a déconnecté mentalement le PNF de sa tâche primaire d'assistance au PF (**cas 2**). Ou peut-être son sentiment d'insuffisance professionnelle en équipage de deux copilotes ?

Le pilote instructeur n'intervient pas suffisamment tôt pour récupérer une situation dégradée (**cas 1**). Mauvaise estimation du risque ?

H15

Il faut insister en formation sur le traitement de situations inattendues en équipage à deux, en particulier en FFS.

En compagnie l'évolution personnelle des pilotes au plan de la psychologie opérationnelle est à suivre. Un suivi individuel des situations difficiles réellement vécues pourrait être envisagé pour tirer un meilleur parti à l'échelle d'une compagnie, du capital d'expérience acquis.

L'estimation des risques est à enseigner aux pilotes, surtout aux instructeurs.

Reste à traiter le problème du pilote seul à bord. Quelle aide pourrait-il trouver à bord pour le conforter dans ses décisions ?

Communications

Internes

Les déficiences notées sont l'absence d'appel direct d'urgence avec le pilote en repos (**cas 2**) et la non détection des appels du personnel de cabine dans le chaos sonore et visuel (**cas 3**).

Les comptes rendus ne donnent aucune information sur les échanges visuels par gestes et indication manuelle entre les membres de l'équipage, pratique courante en situation à évolution rapide économisant le temps de communication pour actions immédiates. Cela a certainement aidé dans les **cas 3 et 4**.

Externes

La détérioration des systèmes a empêché de recevoir de l'aide extérieure à un moment crucial (**cas 3**).

S20

Un signal automatique actionné par les alarmes devrait être installé dans le lieu de repos.

Des systèmes fiables d'alerte entre cockpit, personnel cabine (problème de contraste visuel et sonore), et centres opérationnels sont nécessaires.

H16

Une étude devrait être menée pour estimer l'influence positive des gestes entre les pilotes.

CAS PARTICULIER (N°5)

Détection

Les problèmes mentaux du copilote n'ont pas été détectés en équipage.

La première détection d'anomalie est faite par l'ATC (Air Traffic Control) pour la trajectoire non conforme environ trois minutes après la mise en descente.

La deuxième était l'impossibilité d'entrer dans le cockpit environ quatre minutes après sa fermeture.

La détection « externe » a été plus rapide que l'interne d'environ une minute.

La Défense nationale a été informée environ cinq minutes après le début de la manœuvre de descente.

La porte du cockpit n'a pas pu être ouverte ou fracturée.

L'impact s'est produit environ 11 minutes après le début.

S21

Le rôle de l'ATC est primordial pour la détection d'anomalie de trajectoire. Bien que l'intervention ait été rapide, un détecteur automatique d'anomalies de trajectoires et de communication pourrait alerter plus rapidement.

Le problème de l'invulnérabilité de la porte du cockpit dans les deux sens (danger venant de la cabine pour terrorisme, danger interne de suicide) pose un problème de responsabilité dans le choix du sens de surpassement du verrouillage.

H17

Dans la formation des contrôleurs il faut insister sur la détection rapide d'anomalies dans le vol (trajectoires, messages).

Prévention

Il s'agit d'un problème de santé mentale, de détection d'anomalies pouvant être latentes et passer inaperçues à la sélection initiale, en formation et en opération.

Les médecins et l'entourage, professionnel et autre, peuvent détecter des signes avant-coureurs, mais le secret médical, l'absence de liaison entre praticiens particuliers et professionnels, le souci de préserver l'intimité de chacun, sont autant d'obstacles qu'il est nécessaire d'évaluer et de contourner afin d'obtenir un consensus mondial sur les actions à définir et à appliquer.

Il est admis que les cas suicidaires connus présentaient des anomalies de comportement en équipage, détectées mais considérées insuffisantes pour un arrêt professionnel.

Il faut mentionner l'initiative d'un programme d'assistance par ses pairs, à base de relations de confiance permettant à des individus en situation de faiblesse de trouver une aide parmi leur entourage professionnel (Hans Rahmann : Peer Support Programs, Stiftung Mayday). Que penser d'une introduction en CRM ?

Côté avion, la solution est soit maîtriser physiquement la personne suicidaire dans le cockpit (par gaz ?), soit rendre l'avion totalement autonome, ce qui impose de n'avoir que des liaisons électriques (protégées) entre le cockpit et les systèmes.

Mais il faut définir qui sera responsable de lancer (à bord, au sol ?) ces mesures probablement irréversibles.

S22

Quelle que soit la solution, maîtrise de l'individu ou autonomie de l'avion, les problèmes à résoudre nécessitent des études détaillées pour être applicables concrètement.

H18

Le problème de la détection de l'anomalie psychique implique une concertation mondiale. Reste encore celui de la responsabilité de la personne déclenchant le processus irréversible de sécurité.

ANNEXE : LA PERFORMANCE DES ÉQUIPAGES

On n'a pas à juger les équipages incriminés, mais il faut dire quelques mots sur ce qui est déclaré officiellement à leur sujet.

Les commentaires exprimés dans les rapports d'enquête des cinq accidents étudiés concernent la performance des équipages. Le défaut d'accomplissement des actions sous leur responsabilité est parfois clairement évoqué.

En voici quelques extraits.

Asiana 214, cas 1

Les opinions résumées ci-après sont celles de deux rapporteurs du NTSB (W et S) qui se sont exprimés personnellement à la fin du rapport comme le prévoient les règles de cette organisation.

- **W**

*“As stated in the probable cause statement, **this accident was caused by the crew’s mismanagement of the airplane’s descent during the visual approach.** In my view, this is the critical finding, and other articulated factors in the statement serve either as examples of mismanagement or as attempts to explain why it occurred. Fundamentally, though, this accident occurred due to crew mismanagement; efforts to deemphasize or excuse the crew’s substandard performance in operating the aircraft are not justified by the evidence adduced from the investigation.”*

*“**Automation technology is intended to aid flight crews in executing their responsibilities; it is not intended to replace a well-trained and proficient crew.** When automation fails or does not react as expected, it remains incumbent upon the crew to be prepared and able to fulfill their responsibility of operating the aircraft safely.”*

- **S**

*“There was uninformed conjecture that placed the crew’s competency in question. As I stated in the board meeting, **this accident is not one about crew competency.** After all, the pilot flying had nearly 10,000 flight hours and had been a captain and instructor on the Airbus A320. The instructor pilot had 12,000 flight hours, including over 3,000 in the Boeing 777, and was selected from many to join the elite instructor corps of Asiana. Pilots simply don’t make it this far in their careers if they lack competency.*

*Contrary to what some may believe, **this accident is not just another “pilot error” accident.** Like most accidents, the causation of this accident is complex and involves the interaction of several elements of the system. It involves a set of circumstances that came together on this day to produce a tragic outcome.”*

Commentaires

Pour W, quels que soient l'avion et ses systèmes certifiés les pilotes doivent les conduire sûrement en toutes situations. Le problème porte essentiellement sur la partie humaine (sélection et formation).

Pour S, les pilotes sont expérimentés mais sont placés dans un contexte dépassant leurs possibilités normales. Le problème porte à la fois sur le système (environnement, cockpit, opération) et sur leurs capacités.

Il est rare de voir deux opinions aussi contradictoires exprimées dans un rapport officiel.

AF 447, cas 2

Chapitre « Causes de l'accident » du rapport BEA

« 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 dans le modèle de sécurité. 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. »

Commentaire

Bien que rédigé de façon prudente il est exprimé que les pilotes n'ont pas été à la hauteur de la situation « répertoriée ». Là aussi la partie humaine est essentiellement en cause.

Qantas QT32 et US Airways 1549, cas 3 et 4

Aucun commentaire défavorable sur le comportement des équipages.

Germanwings 18G, cas 5

Tout se rapporte au copilote suicidé.

Commentaire général

Malgré certaines opinions citant clairement l'inefficacité des équipages, sauf pour les cas 3 et 4, tous les rapports mettent cependant en lumière les déficiences de systèmes ayant accompagné les accidents. Donc s'attaquer à leur correction n'est pas critique.

Il n'est pas moins vrai que : « *When automation fails or does not react as expected, it remains incumbent upon the crew to be prepared and able to fulfill their responsibility of operating the aircraft safely* ».

Cette déclaration renferme donc les deux domaines de cette étude, vers les systèmes et vers l'humain.

GLOSSAIRE / GLOSSARY

Affordance	Qualité de suggérer des actions / <i>quality of suggesting actions</i>
AI	<i>Artificial intelligence</i>
AP	<i>Autopilot</i> – pilote automatique
AT	<i>Autothrust</i> – automanette, conduite automatique des moteurs
ATC	<i>Air Traffic Control</i> – Organisation du contrôle aérien
BEA	Bureau d'enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'aviation civile (<i>French Civil Aviation Safety Investigation and Analysis Bureau</i>)
Big data	Banques de données
Buffeting	Phénomène vibratoire lié à l'instabilité d'écoulement de l'air / <i>irregular oscillation of part of an aircraft, caused by turbulence</i>
Cdb	Commandant de bord (<i>captain</i>)
Cds	Conscience de situation
Cpt	<i>Captain</i> (commandant de bord Cdb)
CRM	<i>Crew Resources Management</i>
ECAM	<i>Electronic Centralized Aircraft Monitoring (Airbus)</i>
EICAS	<i>Engine Indicating and Crew-Alerting System (Boeing)</i>
FD	<i>Flight Director</i> – directeur de vol
FFS	<i>Full Flight Simulator</i> – simulateur de vol complet
FMA	<i>Flight Mode Annunciator</i> – indicateur de modes
FMS	<i>Flight Management System</i> – système de gestion de vol
FO	<i>First officer</i> – copilote
FOQA	<i>Flight Operation Quality Assurance</i>
FPD	<i>Flight Path Director</i> – directeur de vol avec vecteur vitesse
FPV	<i>Flight Path Vector</i> – vecteur vitesse
GLIDE	Pente d'approche ILS / <i>ILS approach slope</i>
HUD	<i>Head Up Display</i> – vision tête haute
HSI	<i>Human Systems Integration</i>
IA	Intelligence artificielle
IHS	Intégration Homme-Systèmes
ILS	<i>Instrument Landing System</i> – système de guidage radio d'atterrissage
LOSA	<i>Line Operation Safety Audit</i>
M	nombre de Mach / <i>Mach number</i>
MC	<i>Master Caution</i> – alarme de mise en garde
MCP	<i>Mode Control Panel</i>
MW	<i>Master Warning</i> – alarme de danger immédiat
PF	<i>Pilot Flying</i> – pilote en fonction
PFD	<i>Primary Flight Display</i> – instrument primaire de vol
PM	<i>Pilot Monitoring</i> , pilote de surveillance, id° PNF
PNF	<i>Pilot Not Flying</i> – pilote non en fonction de pilotage, id° PM
Rdg	Remise de gaz
SD	<i>System Display</i> – écran de schémas de systèmes
SPO	<i>Single Pilot Operation</i> - pilote unique à bord

PERSONNES AYANT PARTICIPÉ À L'ÉLABORATION DE CE DOSSIER / PERSONS HAVING CONTRIBUTED TO THE DRAFTING OF THIS DOSSIER

Membres AAE / AAE members

- Jean-Claude Bück
- Dominique Colin de Verdière
- Bertrand de Courville
- Alain Garcia (président de la commission Aéronautique civile / *President of the Civil Aeronautics commission*)
- Patricia Haffner
- Alain Joselzon
- Marc Pélegrin
- Jean Pinet (analyse et rédaction / *analysis and writing*)
- Jean-Claude Ripoll
- Raymond Rosso
- Gérard Rozenknop

Invités extérieurs / External experts

- Pierre Calvet
- Xavier Champion
- Hugues Meunier
- Jean Trouilloud

Dossiers récents / Recent Dossiers

- n°48 Retour d'expérience de la gestion des grands projets, 2020
Lessons learned from the management of large projects, 2020
- n°47 De l'espace pour le climat, 2020
Space for the climate, 2020
- n°46 De Concorde aux nouveaux projets d'avions supersoniques, 2020
From Concorde to new supersonic aircraft projects, 2020
- n°45 Cybermenaces visant le transport aérien, 2019
Cyberthreats targeting air transport, 2019
- n°44 Le transport de passagers par appareils à voilure tournante à l'horizon 2050, 2018
Rotary wing aircraft for passenger transport by 2050, 2018
- n°43 L'Espace au service de la sécurité et de la défense ;
pour une nouvelle approche européenne, 2018
Space systems supporting security and defence; a new European approach, 2018
- n°42 Aviation plus automatique, interconnectée, à l'horizon 2050, 2018
More automated, connected aviation by 2050, 2018
- n°41 Les disparitions d'avions ; une question pour le transport aérien, 2017
Missing aircraft; an issue facing air transport, 2017
- n°40 Présent et futur des drones civils, 2015
Present and future of civilian drones, 2015
- n°39 Matériaux aéronautiques d'aujourd'hui et de demain, 2014
Aeronautical materials for today and tomorrow, 2014
- n°38 Comment volerons-nous en 2050 ?, 2013
Flying in 2050, 2013
- n°37 Le Traitement des situations imprévues en vol, 2013
Dealing with Unforeseen Situations in Flight; 2013
- n°36 Quel avenir pour l'industrie aéronautique et spatiale européenne ?, 2013
What future for European aeronautics and space industries?, 2013
- n°35 Trafic aérien et météorologie, 2011
Air traffic and meteorology, 2011
- n°34 Une stratégie à long terme pour les lanceurs spatiaux européens, 2010
Long-term strategy for European launchers, 2010
- n°33 Les Aéroports face à leurs défis, 2010
Airports and their challenges, 2010
- n°32 Prise de risque : conclusions et recommandations, 2009
Risktaking: conclusions and recommendations, 2009

© **AAE - 2020**

Tous droits réservés / All rights reserved

Crédits photo couverture / Cover credits A.Ribes

AAE

Ancien observatoire de Jolimont

1 avenue Camille Flammarion

31500 Toulouse - France

Tel : +33 (0)5 34 25 03 80

contact@academie-air-espace.com

[**www.academieairespace.com**](http://www.academieairespace.com)

ISBN 978-2-913331-84-6

ISSN 1147-3657

Dépôt légal octobre 2020

Achévé d'imprimer octobre 2020

Imprimerie LES CAPITOULS

2 Chemin de Rebeillou - 31130 FLOURENS

BP 83117 - 31131 BALMA CEDEX - FRANCE

Le monde du transport aérien est sévèrement touché par une double crise, celle due à la recherche de la « décarbonation » et celle plus soudaine et plus difficile à gérer liée à la pandémie COVID-19, et certains problèmes demeureront présents quelle que soit l'évolution. Pour tenter de progresser dans les domaines techniques, l'Académie s'attache à proposer des chemins vers des solutions.

Ce Dossier 49 traite de l'un d'eux, concernant la sécurité. Il s'agit du comportement opérationnel humain face aux situations inattendues, cas assez fréquent pouvant devenir potentiellement dangereux malgré la planification de plus en plus poussée des missions de transport aérien. L'étude est originale et se veut efficace. D'après l'analyse très détaillée de cinq accidents, choisis pour leur complémentarité, elle a permis de caractériser les déficiences humaines et les défauts des systèmes impliqués. L'ensemble a conduit à des recommandations aisément transposables par affinité à l'utilisation opérationnelle de tout avion.

The world of air transport is severely affected by a dual crisis – the search for “decarbonisation” and the more sudden, trickier question of managing the COVID-19 pandemic – and certain issues will persist regardless of developments. In order to move forward in technical areas, AAE has endeavoured to identify avenues for progress.

This dossier deals with one of these avenues: safety. More specifically it looks into human operational behaviour in the face of unexpected situations, which are fairly frequent and potentially dangerous, despite the increasingly thorough planning of air transport missions. The study is an original one, and is intended to be effective. Based on a highly detailed analysis of five accidents, chosen for their complementarity, it characterises both the human deficiencies and the faults in the systems involved, leading to recommendations which are easily transposable to the operational use of any aircraft.

www.academieairespace.com



ISBN 978-2-913331-84-6

ISSN 1147-3657

15€