

Edito

La catastrophe d'Überlingen et divers incidents spectaculaires liés à la circulation aérienne ont impliqué le TCAS, amenant peut-être un doute au sein de la communauté aéronautique sur la maturité de ce système. Or, le TCAS, dans un espace aérien de plus en plus complexe et fréquenté, est un outil de rattrapage efficace, désormais essentiel pour l'anti-abordage. En effet, il ne s'agit pas seulement d'une nouvelle alarme, mais bien d'un système de détection puissant, exploitant des données actualisées toutes les secondes, qui prend le relais lorsque les outils du contrôle ne sont plus assez précis, et qui propose une réponse cohérente aux équipages concernés.

Cependant, comme pour tout système nouveau, son introduction s'accompagne de nouveaux types de problèmes, problèmes qu'il convient d'apprendre à maîtriser au travers de l'analyse et du traitement du plus grand nombre possible d'incidents. Parce que chaque événement concerne au moins deux avions et un organisme de contrôle, la question du TCAS concerne tout le monde.

A cet effet, la DGAC a créé une structure spécifique dont les analyses sont transmises à Eurocontrol qui centralise et étudie tous ces événements. Du côté des exploitants également, les événements rapportés sont étudiés et des outils spécialisés ont été développés à cet effet ⁽¹⁾.

Dans le cadre de sa mission d'enquête, le BEA a rassemblé les données relatives à plusieurs de ces événements. Des rapports détaillés sur certains événements seront prochainement publiés. Par ailleurs un éventail de cas liés au TCAS et à son utilisation sont présentés ici.

⁽¹⁾ Le service prévention et sécurité des vols d'Air France a par exemple pu détecter et comprendre des corrections inverses à l'avis de résolution grâce à un outil d'analyse des vols. Il propose de fournir cet algorithme aux exploitants qui en feraient la demande (contact : mail.securite.des.vols@airfrance.fr).

BEA

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

Bâtiment 153
Aéroport du Bourget
93352 Le Bourget Cedex
FRANCE
T : +33 1 49 92 72 00
F : +33 1 49 92 72 03
incidents@bea.aero

Sommaire :

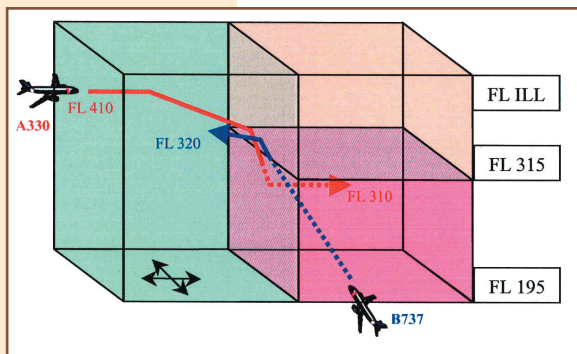
Evitement à vue après une clairance conflictuelle	2
ADJUST VERTICAL SPEED – représentation Variomètre.....	5
MONITOR VERTICAL SPEED – représentation ADI	6
Alarme TCAS avec un VFR.....	7

Evitement à vue après une clairance conflictuelle

Déroulement de l'événement

Peu après le lever du soleil, deux avions de transport sont en évolution dans l'espace supérieur : un B737, en provenance du sud et effectuant une étape courte, qui monte vers le FL270 d'une part, un A330 effectuant un vol transatlantique qui descend vers le FL330, d'autre part. Ils sont gérés par deux positions de contrôle différentes, sur des fréquences différentes.

La position dont dépend l'A330 gère un secteur élémentaire, tandis que la position dont dépend le B737 gère deux secteurs regroupés dont la limite est au FL315 (voir schéma). Cette position est armée par deux stagiaires supervisés par deux instructeurs.



A 6 h 40, cette position est dégroupée ; elle conserve le secteur inférieur avec l'armement initial. L'élève contrôleur organique est occupé par la gestion du dégroupement. Son instructeur lui demande de coordonner

avec le secteur précédent la descente de l'A330 au FL310, ceci pour lui éviter de traverser le secteur du dessus. L'élève contrôleur organique s'exécute et renseigne le strip. L'élève radariste est en communication radio, son instructeur

concentré sur cet échange ; la révision de niveau pour l'A330 ne leur est pas explicitement signalée.

A 6 h 41, après avoir résolu un conflit qui empêchait de faire monter le B737, l'élève

radariste autorise ce dernier à monter vers le FL320. Il a toujours en tête la configuration secteurs regroupés, ce qui le conduit à donner un niveau qui n'est plus chez lui et à ne pas transférer l'avion au secteur supérieur. Dans sa représentation de la situation, l'A330 est attendu au FL330. Elève et instructeur organiques, occupés par le dégroupement, n'entendent pas la clairance donnée au B737.

A 6 h 42 min 46 s, le filet de sauvegarde se déclenche entre les deux avions. Élève et instructeur radaristes analysent la situation en fonction des données qu'ils ont en leur possession. Comme ils considèrent qu'un des avions est en montée vers le FL320 et que l'autre descend vers le FL330 et qu'ils sont à une minute trente du croisement, le déclenchement du filet de sauvegarde leur paraît cohérent. Il n'y a donc pas d'action supplémentaire lancée pour lever le doute.

A 6 h 43 min 41 s, le B737 passe le FL308 en montée, l'A330 le FL312 en descente. En utilisant la phraséologie d'urgence, l'instructeur radariste ordonne au B737 de redescendre immédiatement au FL290. L'équipage collationne, débute une manœuvre de mise en descente et signale qu'il aperçoit un avion au même niveau dans les 11 heures. C'est à cet instant que l'équipage de l'A330 passe sur la fréquence du secteur. A 6 h 43 min 52 s, toujours avec la phraséologie d'urgence, l'instructeur radariste lui ordonne de remonter au FL320. Le pilote collationne puis annonce immédiatement « and negative we are descending due to TCAS ». Les TCAS des deux avions se déclenchent en effet à 6 h 43 min 58 s. Celui du B737 émet un avis de résolution « Climb crossing climb » mais le pilote qui a débuté sa manœuvre de mise en descente choisit de ne pas le suivre. Dans le cockpit de l'A330, c'est un « Descend crossing descend » qui a été émis.

Le contrôleur, conformément aux procédures, n'intervient plus jusqu'à ce que le conflit soit résolu.

En fait, compte tenu du délai de réaction et des perceptions dans le plan vertical, le B737 atteint une altitude supérieure à celle de l'A330 avant de s'établir en descente.

De son côté, l'équipage de l'A330 qui ne voit pas l'autre avion est perturbé en constatant que l'écart vertical est toujours de zéro.

Quelques secondes plus tard, les avions se croisent à nouveau dans le plan vertical, le B737 passant à moins d'un mille marin devant l'A330 en effectuant un virage par la gauche. Le TCAS réagit en modifiant l'avis de résolution : l'A330 reçoit l'ordre à monter « Climb climb now » et le B737 l'ordre « Maintain vertical speed ».

Renseignements complémentaires

Le filet de sauvegarde

Le filet de sauvegarde est un outil logiciel à la disposition du contrôleur qu'il alerte de l'im-

minence du croisement de deux avions avec une séparation inférieure aux espacements réglementaires. Pour chaque paire d'avions, ce logiciel effectue une prédiction des trajectoires à partir des informations fournies par le STR (Système de Traitement Radar) et les compare pour vérifier que les espacements réglementaires sont respectés. Si tel n'est pas le cas, une alarme visuelle, sans alarme sonore

associée, est présentée dans l'étiquette de chacune des deux pistes radar (mention ALRT rouge clignotante). Le préavis donné par cette alarme est d'environ deux minutes mais peut être réduit en fonction de la configuration du conflit.

Les trajectoires prévues par le système ne prennent en compte ni les informations de niveau provenant du plan de vol ni les autorisations délivrées par le contrôleur. Par conséquent, il arrive que le filet de sauvegarde se déclenche alors que les instructions de contrôle données ne sont pas génératrices de conflits et que les clairances sont respectées par les équipages. A titre d'exemple, un avion en montée vers le FL140 qui conserverait une vitesse verticale importante à l'approche du niveau, face à un avion stable au FL150, serait susceptible de déclencher le filet de sauvegarde.

Manœuvre d'évitement à vue

On a vu que le B737 avait entamé sa manœuvre de mise en descente, conformément à l'instruction du contrôle, avant le déclenchement du TCAS. Il a décidé de ne pas inverser sa

manœuvre essentiellement parce qu'il voyait l'autre avion, distant à ce moment de 6 NM, et qu'il avait l'impression que l'ordre TCAS l'en

rapprochait. Notons que dans ces conditions, les dimensions de l'A330 vues du cockpit du B737 étaient équivalentes à celles d'un objet de cinq millimètres tenu à bout de bras (voir schéma).

Les vitesses des deux avions étaient

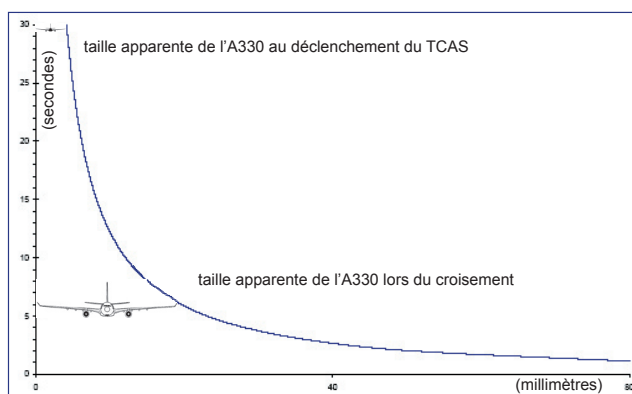
de 450 kt et ils se rapprochaient avec un angle de convergence de 120°, ce qui conduit à une vitesse de rapprochement de l'ordre de 660 kt (soit 11 NM/min).

Il n'est pas habituel pour des pilotes civils d'effectuer des évaluations de distance et de position en vue d'un évitement à cette altitude et à cette vitesse⁽²⁾. Il a semblé au pilote du B737 qu'il passerait sous l'A330.

Durant cette phase où les avions étaient sur des trajectoires évolutives, le pilote du B737, qui était le seul à voir l'autre avion, a mal évalué sa trajectoire relative, en partie parce que l'accroissement de la taille apparente en fonction du temps d'un objet en rapprochement est une courbe hyperbolique.

Consignes d'exploitation

Les consignes de l'exploitant de l'A330 sont de toujours suivre les RA TCAS. En ce qui concerne le B737, la documentation de l'exploitant laisse plus de place à l'appréciation des pilotes. Dans le chapitre sur le TCAS de la partie procédures de vol, il est dit de suivre



(2) La perception dans le plan vertical est délicate, fonction de l'attitude des deux avions, de la perception de l'horizon, et rend difficile l'élaboration d'une stratégie d'évitement.

Qu'est-ce qu'un dégroupement ?

Plusieurs secteurs peuvent être affectés à une même position de contrôle pour adapter la charge de travail à la quantité de trafic. On dit qu'ils sont regroupés. Sur la même position, et en dehors des situations d'instruction, deux contrôleurs travaillent en binôme :

- Le contrôleur organique (CO) reçoit les « strips » d'une imprimante intégrée dans la position. Il s'assure de la compatibilité des trajectoires des avions entrant dans son secteur et prévoit leurs conditions de sortie par des coordinations téléphoniques avec les contrôleurs des secteurs adjacents.
- Le contrôleur radariste (CR) surveille l'évolution du trafic et des conflits et délivre par radio les instructions de contrôle aux équipages.

À la demande des contrôleurs concernés, le chef de salle déclenche les actions de dégroupement ou regroupement. Il dispose des outils nécessaires pour mettre à jour la desserte des strips et rediriger les liaisons téléphoniques.

Les fréquences radio sélectionnées sont basculées vers la nouvelle position. Auparavant, les avions qui vont être transférés au nouveau secteur auront reçu une demande pour changer de fréquence. Quelques instants avant le dégroupement ou le regroupement, les contrôleurs qui prennent en charge le secteur doivent prendre connaissance, auprès des contrôleurs qui s'en séparent, du trafic qui va leur être transféré. Cette coordination permet de transmettre les informations essentielles sur les conflits prévus et les actions particulières à entreprendre. Les quatre contrôleurs doivent également ajuster leurs interfaces (réglage de l'image radar, sélection des cartes affichées...) au nouveau volume qu'ils contrôlent.

le RA même s'il y a conflit entre le RA et une instruction du contrôle. Dans la même partie, au chapitre évitement des collisions, il est conseillé de maintenir une surveillance extérieure et indiqué que l'antiabordage ne peut entièrement reposer sur l'ATC et le TCAS, compte tenu de leurs limitations⁽³⁾.

Enseignements

Clairance conflictuelle

La clairance conflictuelle a une double origine. L'instruction de montée au FL320 a été donnée au B737 par l'élève radariste alors que ce niveau n'était plus dans son secteur après le dégroupement. L'instructeur radariste n'a pas détecté cette première erreur. Quand l'élève organique a modifié par téléphone les conditions d'entrée de l'A330 à la demande de l'instructeur organique, il n'y a pas eu de coordination formelle avec le binôme radariste, les changements de niveau n'ont donc pas été « intégrés » de part et d'autre. Ont contribué à ces omissions :

- le dégroupement récent du secteur supérieur, qui a engendré d'une part une activité de coordination importante avec des intervenants extérieurs à la position pour le binôme organique, d'autre part une charge de travail ponctuelle qui a conduit le binôme radariste à actualiser imparfaitement sa représentation de l'organisation de l'espace.
- la situation de double instruction, pendant laquelle la présence de quatre personnes autour de la même position augmente les difficultés de coordination ou de partage d'une même représentation mentale du trafic, d'autant que l'accès aux informations est physiquement plus compliqué pour les instructeurs.

Réaction au filet de sauvegarde

Comme on l'a vu, le filet de sauvegarde peut se déclencher sans que le conflit soit avéré. Une accoutumance à cette alarme s'est ainsi installée et l'application d'une procédure de vérification des clairances n'est pas systématique. Par ailleurs, une telle vérification peut être retardée par l'occupation de la fréquence.

Le jour de l'incident, le déclenchement du filet de sauvegarde n'a pas amené de réaction immédiate car il était explicable pour les contrôleurs radars, compte tenu de leur représentation de la situation. Ainsi, près d'une minute s'est écoulée avant que l'instructeur radariste ne réalise que l'alerte était justifiée et qu'il réagisse.

Coordination TCAS-filet de sauvegarde

Les TCAS des deux avions ont fonctionné correctement. La manœuvre du pilote du B737, contraire au RA, a conduit à une séparation inférieure à celle qu'aurait amené le suivi des avis de résolution⁽⁴⁾.

On constate que lorsqu'une clairance d'urgence du contrôle survient très peu de temps avant un RA TCAS et que les ordres sont contraires, la décision du pilote peut être altérée.

Cela pose la question de la coexistence entre deux systèmes de rattrapage, lorsque leurs temps de préavis respectifs se rapprochent. En effet, le filet de sauvegarde, qui est le premier à se déclencher, peut induire chez le contrôleur une stratégie de séparation différente de celle que proposera le TCAS. Ainsi, d'un point de vue contrôle, il était logique de stopper la montée du B737 et la descente de l'A330 pour résoudre le conflit. Le TCAS, lui, élabore les RA afin de minimiser le rapprochement des deux avions et peut notamment proposer des manœuvres où les avions se croisent. La quasi simultanéité d'une clairance d'urgence et d'un RA TCAS est favorisée par l'accoutumance à des alarmes non pertinentes du filet de sauvegarde qui tend à retarder la réaction des contrôleurs.

Séparation à vue

Les consignes des exploitants aux équipages concernant les réactions aux alarmes RA ne sont pas harmonisées. Dès lors qu'un RA n'est pas suivi, les risques de collision augmentent sensiblement. La manœuvrabilité des avions, les limitations sensorielles, le manque de formation pour les manœuvres d'évitement à vue et leur rareté rendent aléatoire le succès de ces dernières.

Précision des images radar

L'incertitude sur la position des avions entre deux rafraîchissements d'image radar intervient directement dans le choix des normes de séparation ; elle est fondamentale pour déterminer la stratégie de rattrapage lorsque ces normes ont été franchies. Cette incertitude dépend essentiellement de la vitesse de l'avion et de la vitesse de rotation de l'antenne, c'est-à-dire de la fréquence avec laquelle l'aéronef est « vu » et l'information STR mise à jour. En fonction, entre autres, de la vitesse de rotation des radars concernés, cela peut donner des intervalles de rafraîchissement de 4, 5, 8 secondes, voire plus.

Par exemple, un radar avec une vitesse de rotation de dix tours par minute mettra à jour toutes les six secondes la position indiquée d'un avion. Si l'avion a une vitesse sol de 420 kt, il se sera déplacé d'environ 1 300 mètres entre deux rafraîchissements et sa position sur l'écran radar pourra être faussée de cette valeur. De même, un avion en montée à 3 000 ft/min peut être à trois cents pieds au-dessus de l'altitude à laquelle le contrôleur le voit.

⁽³⁾ Ces limitations s'entendent lorsque ATC et TCAS ne peuvent pas détecter le conflit, en l'absence de transpondeur dans l'autre avion notamment. Quand le TCAS s'est déclenché, les autres moyens d'évitement ne sont jamais aussi efficaces.

⁽⁴⁾ L'accident d'Überlingen a souligné le danger de réaction inverse au TCAS.

Le délai de traitement associé à la transmission des données entre les équipements radar intervient également dans la précision des images radar. En pratique, la distance entre la position affichée de l'avion et sa position réelle est difficile à estimer.

TCAS

ACAS et TCAS sont utilisés pour désigner les systèmes d'antiabordage embarqués. Par convention, le BEA utilise ACAS pour les normes relatives à ces systèmes et TCAS pour les systèmes eux-mêmes.

L'antiabordage embarqué est fondé sur une logique prédictive. A partir de plusieurs réponses successives du transpondeur d'un autre avion, en divisant la distance par la vitesse de rapprochement, le TCAS calcule le temps disponible avant que soit atteint le point de rapprochement maximal, ou CPA (Closest Point of Approach). Ce temps est le paramètre principal pour la génération des alarmes. La période de rafraîchissement des données transpondeur est de l'ordre de la seconde ; la logique TCAS est basée sur un cycle d'actualisation d'une seconde .

Le TCAS est capable de gérer une situation à risques multiples : il peut traiter simultanément jusqu'à trente « intrus » avec une portée nominale de 14 NM pour les avions équipés d'un transpondeur mode A/C et 30 NM pour ceux en mode S.

ADJUST VERTICAL SPEED représentation variomètre

Déroulement des vols

Un CRJ, entre Autun et Nevers, est en descente vers Orly avec une vitesse verticale de 2 500 ft/min. Il est autorisé au FL200. Alors qu'il passe le FL210, le contrôleur l'informe d'un trafic de la gauche vers la droite, mille pieds au-dessous de sa clairance. Peu de temps après, le TCAS émet un avis de résolution. L'équipage qui a entendu « Descend, Descend » débraye le pilote automatique et, après une courte hésitation, augmente à 4 000 ft/min le taux de descente tout en informant le contrôleur. A l'annonce « Clear of conflict », l'avion se trouve au-dessous de son niveau autorisé. Il remonte au FL200 et poursuit son vol vers Orly.

L'autre avion, un Beech 90, stable au FL190, effectuait un vol entre Orléans et Strasbourg. Son pilote a vu un avion légèrement plus haut qui a croisé devant lui son niveau de vol puis est passé en dessous.

Renseignements complémentaires

Examens et simulations

Le Beech 90, non soumis à l'obligation d'emport, n'était pas équipé de TCAS. Les examens techniques effectués d'une part sur l'altimètre du Beech 90, d'autre part sur le TCAS et la chaîne altimétrique du CRJ, n'ont montré aucun dysfonctionnement.

Sur la base des données du QAR du CRJ, la séparation a été de trois milles marins et de zéro pied au point de rapprochement maximal.

A partir des enregistrements radar, une simulation a été réalisée au CENA à l'aide du logiciel OSCAR. L'avis de résolution restitué a été

« Adjust vertical speed » et non « Descend Descend ».

Témoignages des pilotes du CRJ

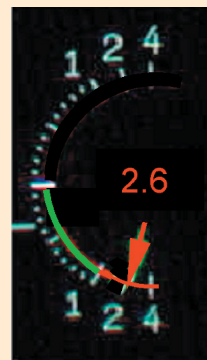
Au moment du déclenchement de l'alarme, le copilote du CRJ était pilote en fonction. Le commandant de bord prenait au casque les informations météorologiques du terrain de destination. Le copilote est certain d'avoir entendu le message d'alarme « Descend, Descend ». Comme cela semblait en contradiction avec l'information de trafic reçue, l'équipage a cherché à confirmer à partir des informations affichées que le TCAS donnait un ordre à descendre. Selon le souvenir des deux pilotes, le variomètre synthétique était entièrement rouge, à l'exception d'une petite partie de l'arc qui était verte aux alentours de la graduation 2, ce qui correspond à une vitesse verticale en descente de 2 000 ft/min. Ils ont ajouté qu'ils n'ont pas compris « la manœuvre demandée par le TCAS » et qu'ils étaient « tétanisés par cette situation, en totale contradiction avec le bon sens ». « Cette situation a généré une peur et un stress énormes », ont-ils ajouté.

Procédures TCAS

Les procédures de l'exploitant du CRJ imposent de suivre toutes les manœuvres d'évitement demandées par le TCAS.

Ergonomie

Dans le cas du CRJ, l'alarme visuelle du TCAS se matérialise sur le variomètre de l'écran de pilotage (PFD) par l'apparition d'un arc rouge et d'un arc vert qui se superposent à l'arc gradué. L'aiguille du variomètre prend la couleur de l'arc devant lequel elle se trouve.



Variomètre synthétique du CRJ - « Adjust vertical speed »

Enseignements

L'équipement TCAS a fonctionné. L'alarme « Adjust vertical speed » s'est déclenchée normalement mais l'équipage ne l'a pas comprise. Il s'agit d'un type d'alarme qui se rencontre rarement en avis de résolution initial et auquel les pilotes n'avaient pas été confrontés au cours de leur entraînement. L'équipage a interprété l'indication de son variomètre comme un ordre à descendre. Il s'est donc conformé à la consigne de suivre la résolution TCAS, malgré l'incohérence par rapport à l'information de trafic.

En fait, l'avis de résolution demandait de ramener la vitesse verticale de l'avion à 1 000 ft/min en descente, ce qui est souvent le cas à l'approche du niveau de vol autorisé pour une séparation à mille pieds.

Lors de la vérification effectuée par les pilotes sur le PFD, ceux-ci ont vraisemblablement été victimes d'un biais de confirmation, en interprétant, dans le cadre de leur représentation mentale erronée, l'information qui leur était présentée. Si l'on tient compte de la difficulté de lecture de l'instrument, du fait de sa taille et de l'échelle non linéaire, et de la nécessité d'interpréter une information de vitesse verticale pour la convertir en variation d'assiette, si l'on y ajoute le stress qu'occasionne toujours l'apparition d'une alarme, on comprend que la capacité de l'individu à gérer cette situation d'urgence soit dépassée, en particulier lorsqu'elle n'a pas été rencontrée en entraînement. La reconstruction d'une nouvelle analyse, en cas d'erreur initiale de représentation, est consommatrice de ressources et l'individu se retrouve souvent figé, ce qui ressort dans la manière dont l'équipage relate cet incident.

Par ailleurs, l'alarme verbale n'étant émise qu'une fois, il était difficile pour l'équipage de réaliser qu'il l'avait confondue avec une autre et qu'il venait d'effectuer une correction dans le mauvais sens.

Toute correction inverse au sens du RA est particulièrement dangereuse. Or cet incident n'est pas unique. Le BEA a établi un rapport détaillé sur un incident pratiquement identique survenu en mars 2003, dont voici le résumé :

Sur le trajet Marseille - Paris Orly, un A319 est en montée vers le FL260 conformément à la clairance du contrôle aérien. Son TCAS émet un avis de trafic relatif à un avion situé au-dessus sur une route opposée. Dix-huit secondes plus tard, un avis de résolution Adjust Vertical Speed se déclenche, invitant l'équipage à réduire sa vitesse verticale. Le pilote augmente l'assiette de l'avion.

Le trafic opposé est un A320, stable au FL270 sur le trajet Paris Orly - Marseille. Environ dix secondes après le déclenchement du RA de l'A319, un avis de résolution Climb est émis à bord de l'A320. Il est suivi par l'équipage.

Lors du croisement, chacun des deux équipages voit l'autre avion. Le pilote de l'A319 effectue un virage d'évitement à gauche. Les enregistrements des paramètres de vol permettent d'estimer les écarts latéraux et verticaux minimums respectivement à environ 0,8 NM et 300 ft.

MONITOR VERTICAL SPEED représentation ADI

Déroulement du vol

Alors que l'avion est stabilisé en vent arrière du circuit d'aérodrome, l'alarme TCAS « Monitor Vertical Speed » retentit et l'affichage ci-contre apparaît sur l'écran.

L'équipage n'avait pas reçu d'information de trafic de la part du contrôle ni constaté de Traffic Advisory. Il corrige immédiatement l'assiette de l'avion pour amener la maquette sur le trait rouge, ce qui fait descendre l'avion.

Il repère en même temps l'intrus sur les écrans de navigation et est surpris de constater que celui-ci se trouve au-dessus et que l'action entreprise diminue la séparation. L'équipage transmet un compte-rendu de re-

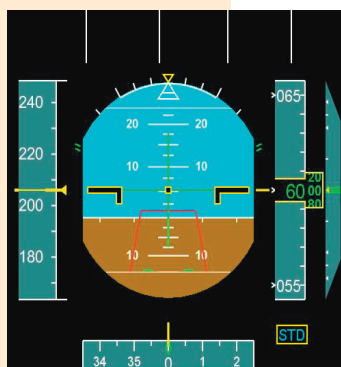
tour d'expérience à l'exploitant, persuadé que le TCAS a mal fonctionné.

Renseignements complémentaires

La procédure TCAS décrite dans le manuel d'exploitation demande d'« ajuster doucement l'assiette et la poussée pour satisfaire les ordres du RA ».

Sur l'écran, le trapèze rouge indique la zone d'assiette à éviter. Il s'agit donc de placer la maquette en dehors de cette zone. Dans la pratique, pour limiter l'amplitude des changements d'assiette, on essaie de placer la maquette sur la barre horizontale du trapèze.

Il existe neuf cas d'avis de résolution TCAS. Sept nécessitent une action immédiate à cabrer



Types d'avis	Sens vers le bas	Sens vers le haut
Préventif initial	Monitor vertical speed	Monitor vertical speed
Correctif	Descend, descend	Climb, climb
Se renforçant	Increase descent, increase descent	Increase climb, increase climb
Faiblissant	Adjust vertical speed, adjust	Adjust vertical speed, adjust
S'inversant	Descend, descend NOW	Climb, climb NOW
Avec croisement d'altitude	Descend, crossing descend, Descend, crossing descend	Climb, crossing climb, Climb, crossing climb
Avec maintien de la vitesse	Maintain vertical speed, maintain	Maintain vertical speed, maintain
Avec maintien de la vitesse verticale et croisement d'altitude	Maintain vertical speed, crossing maintain	Maintain vertical speed, crossing maintain
Avec réduction de la vitesse verticale	Adjust vertical speed, adjust	Adjust vertical speed, adjust

ou à piquer. Deux, « Monitor vertical speed » et « Maintain vertical speed », par ailleurs peu fréquents, n'appellent pas forcément de modification de trajectoire. Le tableau ci-dessus récapitule ces avis.

Enseignements

Les avis de résolution TCAS indiquent la manœuvre à entreprendre et l'affichage permet

au pilote de quantifier la correction à apporter. Dans la plupart des cas, celui-ci va devoir faire sortir l'avion de la zone rouge : son action consiste donc à placer la maquette en dehors du trapèze rouge superposé à l'horizon. En revanche, dans le cas du RA préventif « Monitor vertical speed », l'avion est déjà en dehors de la zone rouge : il n'y a donc rien à faire. Mais comme l'affichage est le même que pour les autres cas de RA, le pilote aura tendance à réagir de la même manière et à amener la maquette vers la barre horizontale du trapèze.

Dans ce cas, cela a eu pour seule conséquence de réduire la séparation au minimum prévu par le TCAS. Toutefois, l'événement a aussi conduit l'équipage à mettre en cause le fonctionnement du TCAS.

Il est important que les pilotes soient bien informés de toutes les alarmes possibles du TCAS et qu'ils soient formés pour y répondre. En effet, un principe fondamental d'un système de dernier recours est que l'opérateur lui fasse confiance. Un doute ou une incompréhension sur son fonctionnement peut engendrer une réaction inappropriée pouvant avoir des conséquences graves.

Alarme TCAS avec un VFR

Déroulement des vols

Un Boeing 737 est en approche sur Toulouse Blagnac. A 15 h 59 min 21 s, en contact avec le contrôle d'approche, il est autorisé à descendre du FL70 vers 3 000 ft, avec un guidage radar pour une procédure ILS 14 droite.

Pendant ce temps, un instructeur effectue un vol avec deux élèves à bord d'un DR 400. Il décolle de Castelsarrasin pour Toulouse Lasbordes vers 15 h 55. A 16 h 00 min 07 s, une minute trente avant de pénétrer dans la CTR de classe D et alors qu'il est stable à une altitude de 3 500 ft dans une portion de la TMA classée E, l'élève aux commandes contacte la fréquence de Toulouse-information. Il se signale comme « un DR 400 en provenance d'Agen et à destination de Toulouse Lasbordes, à sept minutes du point E à 3 500 ft QNH avec 7000 au transpondeur ».

Le contrôleur en charge de la fréquence de Toulouse-information n'aperçoit pas de plot affichant 7000 en provenance d'Agen. Il détecte par contre un plot primaire (donc sans identification et sans indication d'altitude) en limite de CTR, avec une trajectoire convergente avec

celle du Boeing. A 16 h 00 min 25 s, il assigne un code transpondeur au DR 400 et demande à son collègue de l'approche d'arrêter la descente du Boeing à 4 000 ft. Le pilote du DR 400 collationne et affiche le code transpondeur. A 16 h 01 min 04 s, le contrôleur d'approche demande au Boeing de stopper sa descente. L'équipage répond qu'il vient d'avoir un RA TCAS et qu'il est en train de remonter.

Le Boeing atterrit sans autre incident et le DR 400 poursuit son vol en direction du point E. L'espacement minimal des deux avions a été de 1,3 NM et 200 ft.

Renseignements complémentaires

Trajectoire du DR 400

Le plot secondaire, reprenant le code assigné au DR 400, son altitude et sa vitesse, est apparu sur le radar du contrôleur au moment même où le pilote du B737 annonçait la manœuvre TCAS.

L'instructeur a indiqué que le transpondeur était sur 7000 avec le mode altitude durant tout le vol. En étudiant les traces radar et les communications radio du vol aller, il a été établi que

la réception par le radar du transpondeur du DR 400 était intermittente.

Conditions d'entrée dans la CTR

La carte VAC de Toulouse Blagnac indique que « le premier contact doit être établi au moins cinq minutes avant le survol des points d'entrée (par exemple N), en attente d'une clairance ». Le DR 400 a effectivement appelé à cinq minutes environ du point N mais, du fait de sa trajectoire, il était alors sur le point de pénétrer dans l'espace de classe D. La réglementation indique que « pour pénétrer et évoluer dans un espace aérien contrôlé de classe B, C, D ou A s'il a obtenu une dérogation, un aéronef en vol VFR doit avoir obtenu une clairance », sans autre indication, par exemple sur un délai d'anticipation.



Le DR 400 n'a pas formellement reçu de clairance avant de pénétrer dans la CTR de classe D et l'assignation d'un code transpondeur a implicitement eu valeur de clairance pour le pilote et le contrôleur.

Profil de descente des avions

L'espace aérien autour de Toulouse-Blagnac, comme c'est le cas pour beaucoup d'aérodromes, est organisé en volumes de taille décroissante au fur et à mesure que l'on se rapproche du sol. Les avions lissant généralement la trajectoire en escalier lors de l'approche, il est possible qu'ils traversent des espaces de classe E⁽⁵⁾. C'est ce qui s'est produit pour le B737.

Phraséologie

A 16 h 01 min 04 s, le contrôleur a demandé à l'équipage du Boeing « stop des-

cent 4 000 ft, 4 000 ft ». Celui-ci a répondu « Negative stop descent 4 000 ... that's TCAS ». Le contrôleur a alors fait une information de trafic « Copy an unknown traffic twelve o'clock from the right to the left », ce à quoi l'équipage a répondu « TCAS climb stand by » avant d'annoncer quinze secondes plus tard « Clear of traffic ».

Enseignements

Le TCAS a rempli sa fonction de récupération urgente de la situation à la marge de zones VFR et IFR. La phraséologie utilisée par le pilote du Boeing pour signaler la résolution TCAS n'était pas standard. Bien que le contrôleur s'en soit tenu aux consignes en faisant une information de trafic, le pilote a cru à une intervention de sa part et a alors utilisé la phraséologie standard « TCAS Climb ». Cela montre l'importance aussi bien pour les pilotes que pour les contrôleurs de l'entraînement aux procédures TCAS, des incompréhensions dans ces phases pouvant être néfastes.

Cet événement montre aussi que dans les zones où il y a mixité entre les trafics IFR et VFR, la connaissance au plus tôt par les contrôleurs de la présence des vols VFR est essentielle et souligne l'utilité du transpondeur. C'est grâce à cet équipement que l'équipage du Boeing a reçu le RA TCAS. La vérification du bon fonctionnement de cet équipement avant le vol est fondamentale.

La descente du Boeing du FL70 vers 3 000 ft s'est faite en volant à la limite d'une zone classée E. Cela montre qu'il est parfois difficile pour des pilotes en IFR de connaître la classe d'espace dans laquelle ils se trouvent. Le découpage des zones est fait pour protéger les trajectoires IFR. En voulant optimiser les trajectoires, les marges sont réduites et la ségrégation n'est plus garantie.

Références et liens utiles

www.bfu-web.de/berichte/index.htm

rapport d'enquête et ses annexes sur la collision survenue au-dessus d'Überlingen le 1^{er} juillet 2002.

www.caa.co.uk/docs/CAP717.pdf

document CAP717 qui résume les limites de l'efficacité des instructions d'urgence données par les contrôleurs.

www.cena.fr/pages/4publ/div_sas.html

www.eurocontrol.int/acas/

beaucoup d'informations sur la législation, la formation, ACAS bulletins...

www.stna.aviation-civile.gouv.fr/actualités/revues/frrevues.html

revues techniques n° 62 et n° 66 « vol au-dessus d'un essaim de planeurs » sur l'usage du TCAS en aviation générale.

Ministère de l'Équipement, des Transports, de l'Aménagement du Territoire, du Tourisme et de la Mer
Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la sécurité de l'aviation civile

Directeur de la publication : Paul-Louis Arslanian - Responsable de la rédaction : Pierre Jouniaux

Conception-réalisation : Division Information et Communication du BEA

incidents@bea-fr.org

⁽⁵⁾ Rappel : dans un espace de classe E, les avions en VFR ne sont pas tous connus du contrôle.