



Défense nationale

National Defence



DROIT AU BUT

NOUVELLE TECHNOLOGIE

Canada 

DROIT AU BUT

DIRECTION DE LA SÉCURITÉ DES VOLS

DIRECTEUR, SÉCURITÉ DES VOLS
COLONEL J.C.Y. CHOINIÈRE

RÉDACTEUR EN CHEF

CAPITAINE JOHN W. DIXON

GRAPHIQUES, CONCEPTION ET MISE EN PAGE

D2K MARKETING COMMUNICATIONS
CAPORAL RAULLEY PARKS
CAPORAL ALEXANDRE PAQUIN

Une fois par an, la Direction de la sécurité des vols publie la revue *Droit au but*, qui traite d'un seul sujet d'intérêt. Cette publication est distribuée aux abonnés de la revue *Propos de vol*. Les articles publiés ne reflètent pas nécessairement la politique officielle et, sauf indication contraire, ne constituent pas des règlements, des ordonnances ni des directives. Votre appui et vos commentaires sont les bienvenus pour les numéros subséquents de la revue *Droit au but*. Les textes soumis deviennent la propriété de la Direction de la sécurité des vols et peuvent être modifiés quant à leur longueur ou à leur format.

Des efforts raisonnables ont été faits afin d'obtenir la permission des photographes pour inclure les photos contenues dans cette revue. Cependant, certaines sources n'ont pu être retracées. Prière de contacter l'éditeur si vous reconnaissez une photo dont vous êtes l'auteur et désirez être reconnu dans la version électronique de la revue.

Envoyez vos articles au :

Rédacteur en chef
Direction de la sécurité des vols
101, promenade du Colonel By
Ottawa, ON Canada
K1A 0K2

Courriel : dfs.dsv@forces.gc.ca
Téléphone : 613-992-0198
Télécopieur : 613-992-5187

Pour abonnement, contactez :

Éditions et services de dépôt, TPSGC, EGC
Ottawa (Ontario) K1A 0S5

Téléphone : 1-800-635-7943
Courriel : publications@pwgsc.gc.ca

Abonnement annuel : Canada, 19,95 \$;
chaque numéro, 7,95 \$; à l'étranger, 19,95 \$ US,
chaque numéro 7,95 \$ US. Les prix n'incluent
pas la TPS. Faites votre chèque ou mandat à l'ordre
du Receveur général du Canada. La reproduction
du contenu de cette revue n'est permise qu'avec
l'autorisation du rédacteur en chef.

Pour informer le personnel de la DSV d'un
événement **URGENT** relié à la sécurité des vols,
communiquez avec un enquêteur en tout temps,
au numéro 1-888-927-6337 (WARN-DFS).

La présente publication ainsi que tous les numéros
précédents se trouvent sur le site Web de la DSV à l'adresse
<http://www.airforce.forces.gc.ca/dfs-dsv/index-fra.asp>



Photo : Cplc Colin Aitken

Note de la rédaction

La Direction de la sécurité des vols remercie toutes les personnes qui ont collaboré à la présente revue. Les articles contenus dans la revue reflètent le point de vue de leur auteur.

Couverture : La conception met en avant-plan le nouveau chasseur de pointe F35, de cinquième génération, juxtaposé à une fractale (une forme géométrique infiniment complexe qui peut être divisée en partie, dont chacune s'avère une réplique exacte, mais plus petite, du tout). Le soleil levant confère la notion que la technologie en est toujours à ses débuts, mais que son usage s'accroît, telle une forme fractale. La silhouette d'un membre d'équipage se devine en arrière-plan pour évoquer l'interface entre les êtres humains et la technologie ainsi que les défis qui y sont associés.

Page couverture : Conçue par le Caporal Raulley Parks, technicien en imagerie de la DSV

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos du Directeur	4
PREMIÈRE PARTIE – ENQUÊTE SUR LES ACCIDENTS	6
<i>La représentation visuelle</i>	7
<i>Le Centre d'essais techniques de la qualité (CETQ), plus que du soutien technique</i>	12
<i>Gérer la sécurité « aux instruments » – Le programme MFOQA de la USAF</i>	16
<i>Enquêter sur des accidents d'aéronef à l'aide d'images de satellites commerciaux</i>	20
<i>L'imagerie spatiale comme moyen de faire un relevé des lieux pendant l'enquête consécutive à un accident aérien</i>	28
<i>Analyse d'une trajectoire de vol à l'aide de la localisation vidéo et du suivi du mouvement</i>	33
<i>Analyse des tendances et méthodes statistiques à la sécurité des vols</i>	39
<i>Enregistreurs de données de vol portatifs</i>	45
DEUXIÈME PARTIE – OPÉRATIONS	49
<i>Le projet ASTRA</i>	50
<i>La vision synthétique</i>	58
<i>Automatisation croissante : avantage ou inconvénient?</i>	64
<i>ADS-B. Génial... un autre sigle à connaître</i>	68
<i>Une maintenance des aéronefs plus sûre grâce à la technologie 3-D</i>	72
<i>La vidéo intelligente, une façon d'améliorer la sécurité des opérations de défense et d'assurer le futur de l'automatisation</i>	75



Colonel J.C.Y. Choinière
Directeur – Sécurité des vols, Ottawa

Avant-propos du Directeur

À titre de nouveau Directeur de la sécurité des vols (DSV), je suis heureux de vous présenter le présent numéro de *Droit au but* de 2011, qui traite de nouvelles technologies. La question est examinée en deux volets : la première partie traite des enquêtes sur les accidents et la deuxième, des opérations. En effet, ces domaines ont été grandement marqués par des améliorations technologiques qui ont toujours une incidence sur la sécurité des vols.

PREMIÈRE PARTIE – ENQUÊTE SUR LES ACCIDENTS

Les enquêtes sur les incidents et les accidents font intégralement partie du programme de la sécurité des vols depuis sa création après la Deuxième Guerre mondiale. Dans cette structure, il est essentiel que l'analyse des événements soit aussi précise que possible de façon à ce que les mesures de prévention pratiques et les techniques de gestion des risques réduisent les possibilités que l'événement se reproduise.

La première partie traite de solutions qui s'offrent ou qui s'offriront bientôt à nous à l'appui d'enquêtes sur les accidents, notamment l'utilisation d'imagerie satellite, la localisation vidéo, l'imagerie spatiale et d'autres technologies. À la suite de certains événements, nos enquêteurs doivent parfois faire face au défi découlant du fait que l'aéronef accidenté n'est pas équipé d'un enregistreur de

données de vol (FDR). La technologie nouvelle prévoit le développement de FDR portatifs, efficaces et relativement peu coûteux.

Une part essentielle de tout programme de la sécurité des vols consiste à adopter une approche proactive au lieu d'une approche réactive. Le programme d'assurance de la qualité des opérations aériennes (FOQA) fait appel à une technologie qui est utilisée au sein de l'industrie aéronautique civile depuis de nombreuses années, mais qui brille par son absence dans nos aéronefs. Le concept vise à télécharger périodiquement des données de vol pour déterminer ce que nous ignorons de nos plus récentes opérations aériennes, mais que nous devrions savoir. L'article traitant du sujet en question nous a gracieusement été fourni par la Force aérienne des États-Unis, et il offre des pistes sur la façon dont un tel système peut être mis en œuvre au sein de l'Aviation royale canadienne, en vue d'améliorer notre programme de la sécurité des vols.

DEUXIÈME PARTIE – OPÉRATIONS

Depuis la Deuxième Guerre mondiale, des progrès remarquables en matière de technologie ont touché tous les éléments des opérations aériennes. Des améliorations aux moteurs, à l'instrumentation, aux systèmes avioniques et à l'infrastructure ont tous contribué à la réduction au taux d'accidents. Il est à souhaiter

que la mise en place prudente de nouvelles technologies, comme la vision synthétique qui se révèle potentiellement importante, continue de contribuer à cette heureuse tendance.

La technologie de la formation a aussi considérablement évolué dans le domaine des opérations et de la maintenance, et ce, à un point tel que la transition entre les cours de formation et les opérations se fait maintenant en douceur et en sécurité, dans la mesure du possible. La technologie en question s'avère particulièrement importante, car le niveau moyen d'expérience diminue. L'article traitant d'*Une maintenance des aéronefs plus sûre grâce à la technologie 3-D* rend compte du succès d'un des programmes de formation actuellement en place.

Comme la circulation aérienne augmente partout dans le monde, des technologies rentables sont mises au point pour la contrôler efficacement.

Des fonctionnalités telles que l'ADS-B et la vidéo intelligente sont des choses à surveiller dans le futur immédiat.

Toutefois, l'arrivée de nouvelles technologies ne garantit pas l'amélioration de la sécurité. Accidents comme l'écrasement de l'hélicoptère *Cormorant* de 2006 (CH149914) et plusieurs accidents aériens civils mettent en relief les préoccupations entre les facteurs humains et les postes de pilotage ayant de la haute technologie. Ces inquiétudes sont particulièrement pertinentes si l'on étudie l'intégration de nouvelles flottes d'aéronef dans l'Aviation royale canadienne, au fur et à mesure que les anciennes flottes sont mises hors service. La création du Projet sur les normes de l'air, la formation, la disponibilité opérationnelle et l'automatisation (ASTRA) souligne certains des risques liés à la sécurité des vols, qui découlent de l'implantation de nouvelles technologies dans nos aéronefs. Pour la sécurité des vols, le

défi le plus important reste toujours l'interface entre l'être humain et la technologie. En réponse, de nouvelles techniques de formation et procédures opérationnelles sont élaborées et adoptées au fur et à mesure que de nouveaux aéronefs sont mis en service.

LA VOIE À SUIVRE

Il est primordial que notre programme de la sécurité des vols, bien que respecté de l'ensemble du monde de l'aviation, soit toujours appelé à évoluer. De nouveaux défis se poseront au fur et à mesure que de nouvelles technologies seront mises en place au sein de l'Aviation royale canadienne en vue d'améliorer le rendement, l'efficacité et la sécurité. Même si les avancées technologiques contribuent à une meilleure sécurité aérienne, il faut s'assurer de toujours bien comprendre l'interface entre la nouvelle technologie mise en place et l'être humain.

« Si nous continuons de développer la technologie sans faire preuve de sagesse ou de prudence, il se peut fort bien que le serviteur se transforme en bourreau. »

— Oman N. Bradley



PREMIÈRE PARTIE **ENQUÊTE SUR LES ACCIDENTS**



La représentation visuelle

par le Major Adam Cybanski, Adjoint au chef de section à la promotion et à l'information, Direction de la sécurité des vols, Ottawa

Le Major Cybanski est un pilote d'hélicoptère tactique qui possède plus de 20 ans d'expérience et qui totalise plus de 2500 heures de vol sur des appareils à voilure fixe ou tournante comme le CT114 Tutor, le CH139 Jet Ranger, le CH135 Twin Huey et le CH146 Griffon. Il a été affecté à Haïti comme spécialiste des lunettes de vision nocturne et pilote d'essai après maintenance, et il s'est occupé du simulateur de vol complet du CH146 Griffon. Diplômé du Cours sur les systèmes aérospatiaux, il est titulaire d'un baccalauréat en sciences spécialisé en mathématiques informatiques de l'université Carleton.

Aperçu

La représentation visuelle est une méthode moderne et peu coûteuse de formation, de transmission des leçons apprises et de documentation

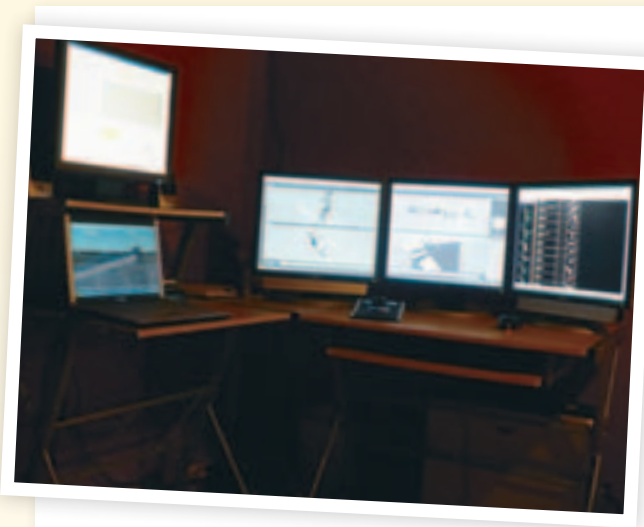
des événements importants. Une simulation reconstruisant la trajection d'un aéronef qui montre ce qui s'est passé en employant des images à partir de l'intérieur et de l'extérieur de l'avion peut grandement aider à comprendre pourquoi un événement s'est produit. Ces types de vidéos peuvent intégrer rapidement les différents aspects d'une enquête, en plus de faciliter la transmission des leçons apprises.

La représentation visuelle peut servir à deux fins, l'enquête et la promotion. Si elle sert à des fins d'enquête, elle présente à l'enquêteur des données détaillées qui sont intuitives et pertinentes aux opérations aériennes. Si elle sert à des fins de promotion, elle vise alors à présenter à des personnes peu au fait d'une situation la séquence des événements et les facteurs contributifs.

Mieux vaut analyser les énormes quantités de données générées par les aéronefs modernes au moyen d'un processus automatisé d'extraction et de représentation visuelle des différents paramètres. Dans une représentation visuelle à des fins d'enquête basée sur l'enregistreur de données de vol (FDR) d'un Griffon, des pilotes se sont servis de l'animation pour figurer les manœuvres qui étaient en train d'être faites, ce qui n'aurait pas été possible à la seule lecture des données. Les renseignements tirés du FDR ont été synchronisés à la représentation visuelle et affichés en bas à gauche de l'écran. Grâce à un code de couleurs, ils apparaissaient en jaune dans les plages d'avertissement, et en rouge en cas de dépassement.



Représentation visuelle obtenue à partir des données d'un FDR



temps de visualisation. Le système est capable de reproduire tous les avions pilotés par les FC, et a été employé sur plusieurs enquêtes, y compris la validation d'une trajectoire de vol d'un accident d'aviation mortel qui n'a pas eu une FDR (CT114 *Tutor*).

Des animations illustrant les accidents d'avion et d'incidents graves ont été employées à la DSV depuis plusieurs années maintenant. Les vidéos ont été présentés à des bases aériennes à travers le Canada afin que les membres d'équipage, de piste, et tout le monde impliqué dans les opérations aériennes pourrait comprendre les facteurs menant à l'accident. Ceci est essentiel dans la prévention des re-occurrences futurs.

Poste de représentation visuelle

Un poste de réalité virtuelle portatif a été assemblé à la DSV pour faciliter la validation trajectoire de vol avec les enquêteurs, et de produire des visualisations d'accidents. Il est capable de lire des FDR réels et provenant de n'importe quel angle, y compris à l'intérieur du cockpit ou du point d'observation sur le terrain. Tous les outils associés et les ressources nécessaires ont été assemblés dans un laboratoire de visualisation, ce qui diminue considérablement le

Les processus traditionnels de tournage d'un film sont employés dans le simulateur afin de produire les représentations visuelles. Ceci comprend un scénario décrivant le cadre, les personnages et la séquence des événements. Les personnages (les aéronefs) se déplacent dans la simulation de manière à reproduire la trajectoire de vol dans un environnement qui ressemble à celui du véritable accident. Les séquences sont filmées sous différents angles à l'aide de caméras virtuelles. Le film est monté pour donner la représentation visuelle finale, puis la séquence est projetée dans le simulateur à des fins de validation afin d'assurer qu'elle correspond aux déclarations des témoins ou aux enregistrements vidéo de l'événement. Des effets spéciaux comme des lunettes de vision nocturne (LVN), de la poussière, de la neige, du brouillard ou d'autres artifices peuvent également être ajoutés.

Cadre et environnement de vol

Reproduire l'espace aérien dans lequel un aéronef évolue peut être une opération simple ou très compliquée. Les vols à haute altitude peuvent se suffire de l'imagerie par défaut du simulateur et paraître relativement probants. Par contre, les vols à basse altitude obligent à importer différentes textures de sol, de créer des objets en arrière-plan et de les positionner correctement sur la carte du relief.

Les textures de sol proviennent de diverses sources. On peut les obtenir de fournisseurs d'images comme *Google Earth* ou *Virtual Earth*, de photographies aériennes ou encore d'autres sources comme le Service de cartographie.

Des images satellites ou d'autres images du sol sont rassemblées pour ne plus former qu'une seule image complète de la zone concernée. Il est possible de faire pivoter cette image afin de la faire correspondre aux coordonnées de latitude et de longitude. Il se peut qu'il faille mélanger les bandes bleue, verte et infrarouge du spectre satellitaire afin de produire des images ayant un aspect réaliste. Si les images en noir et blanc ont une plus haute résolution que celles en couleur, il est possible, grâce à un traitement spécial, de produire des images couleur à plus haute résolution. Le produit fini est ensuite divisé en pavés qui peuvent être importés dans le simulateur de vol.



Texture du sol obtenue par image satellite

Texture du sol obtenue par image satellite

Le cadre peut être agrémenté de modèles provenant de la bibliothèque du simulateur, ou de modèles dérivés de photos par photogrammétrie. On peut y trouver des avions, des véhicules au sol, des bâtiments, des structures et même des personnages fixes. Il est possible de se procurer sur Internet les bâtiments et les éléments caractéristiques des aéroports, des villes et des villages, ou alors il faut les créer de zéro à partir d'une application de modélisation 3-D. La photogrammétrie et la vidéogrammétrie ont déjà été utilisées pour extraire des modèles

3-D avec leurs textures de photographies et de vidéos des lieux de l'événement. Le nombre des modèles est important, mais ceux-ci ont été regroupés en bibliothèques d'objets.

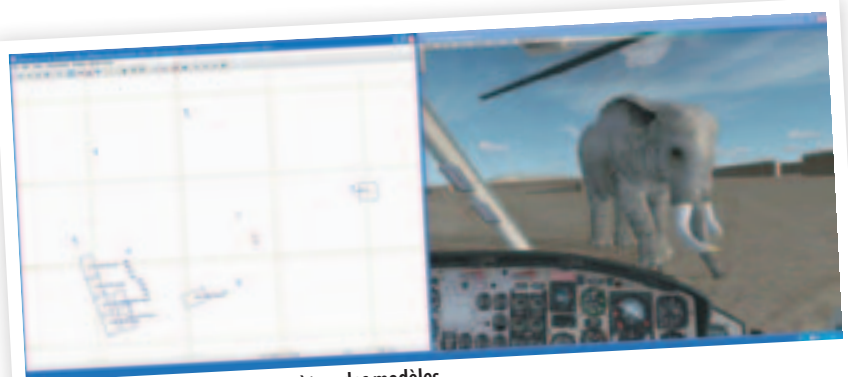
Bibliothèque d'objets

Les modèles peuvent être positionnés en place et mis à l'échelle dans

le simulateur à l'aide d'une carte de référence, ou même à partir d'une vue en perspective depuis le simulateur. Cette façon de faire peut donner un cadre plus réaliste, mais elle nécessite une validation de plusieurs point de vue différents.

Personnages ou avions

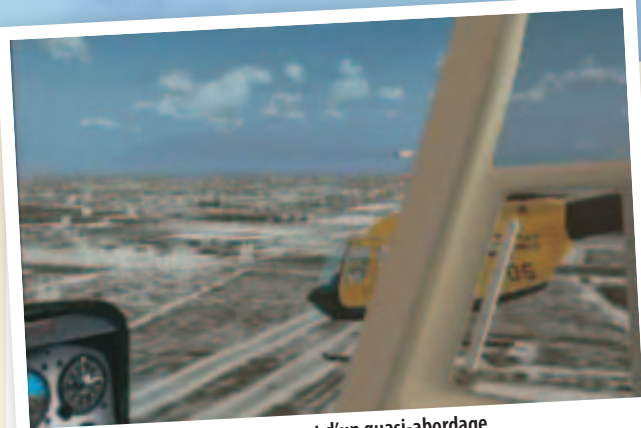
De nombreux modèles des appareils de l'ARC sont disponibles à bas prix auprès de développeurs privés. Comme les avions sont utilisés pour reproduire une trajectoire de vol, ce n'est pas l'aspect simulation qui compte, mais plutôt la représentation de l'extérieur et du poste de pilotage. Dans le cas d'un type d'avion non disponible dans le commerce, il a fallu le créer à l'aide d'une application de modélisation 3-D faisant appel à des photos et à des schémas en trois dimensions. Les progrès de l'extraction photogrammétrique des modèles et de la texture ont rendu cette opération encore plus facile.



Représentation visuelle des paramètres des modèles



Bibliothèque d'objets



Validation de la distance au moment d'un quasi-abordage

Vérifier la trajectoire de vol d'un aéronef dans un environnement simulé va généralement révéler des problèmes au niveau de l'analyse de ladite trajectoire. Le fait d'observer l'aéronef de différents points de vue (poste de pilotage, aéronef accompagnateur ou observateur au sol) va rendre évidentes toutes les manœuvres anormales ou irréalistes. C'est alors qu'il faudra reprendre les calculs de l'analyse de la trajectoire de vol, peut-être afin de tenir compte du vent ou de corriger une erreur mathématique.

Des témoins peuvent étudier la représentation visuelle depuis divers points de vue afin de permettre l'obtention d'une trajectoire de vol validée. Dans un cas, plusieurs versions de la représentation visuelle d'un quasi-abordage ont été présentées à un pilote concerné. En sélectionnant plusieurs reprises la visualisation qui semblait mieux représenter l'événement réel, l'enquêteur a été en mesure d'estimer la distance entre deux aéronefs. Par la suite, une représentation visuelle de l'événement a été produite afin de mettre les équipages de vol en garde contre les risques des quasi-abordages.

Effets spéciaux

Il existe deux grands types d'effets spéciaux, ceux qui sont intégrés au moment de la simulation et ceux qui sont ajoutés

au moment de la postproduction. Les effets intégrés participent à la simulation même et on y trouve la météo (types de nuages et couverture, visibilité, pluie, neige, brouillard), des détails du décor, des effets d'eau, des nuages de poussière, la circulation à l'aéroport, la circulation routière et la luminosité ambiante de jour ou de nuit. Les effets ajoutés par la suite peuvent comprendre une simulation LVN, des effets météorologiques supplémentaires, une simulation du tableau de bord et des simulations du personnel. Afin de montrer des niveaux élevés de détail, la visualisation peut exiger d'être rendue en temps non réel.

Tournage

Une fois qu'une trajectoire de vol validée est utilisée dans le simulateur, des caméras virtuelles sont placées dans celui-ci, soit à l'intérieur du poste de pilotage, soit de manière fixe ou mobile par rapport à l'aéronef représenté, soit encore à un endroit arbitraire (tour, aire de virage de la

piste, position d'un observateur). Les images de la séquence sont enregistrées par ces caméras avant d'être archivées puis synchronisées en prévision du montage.

Montage

Les images des caméras virtuelles sont réunies dans une application de montage comme *Premier* ou *AfterEffects*. Si le but visé consiste à produire une vidéo éducative montrant un aperçu de l'événement, il est possible de faire des films en montant les images ensemble. Il est possible de voir les moments importants du film au ralenti. Les images d'au plus deux caméras sont montrées en même temps. Dans le cas d'une représentation visuelle destinée à une enquête, jusqu'à quatre caméras peuvent présenter simultanément leurs images au cours d'une séquence, auxquelles s'ajoutent les données du FDR et d'autres données de vol synchronisées. Si tant d'images



Effets de nuage de poussière

« ...elle peut révéler
des points pertinents
cachés dans des millions
de lignes de données, ... »

pourraient dérouter un spectateur occasionnel, elles permettent à l'enquêteur d'intégrer de nombreuses facettes de l'enquête dans une seule et même image et, peut-être, d'extraire de nouveaux faits établis ou de trouver des problèmes dans l'analyse de l'enquête. La version finale des vidéos est transformée puis sauvegardée dans un format vidéo utilisable, actuellement le format WMV2.

Vitesse de production de la représentation visuelle

Le déroulement des opérations de représentation visuelle est très absorbant et prend du temps. Cela étant dit, le but au début du projet consistait à produire une première ébauche de la vidéo dans une seule période de huit heures. Pour comprimer ce délai, il faut faire beaucoup de travail en amont, avant qu'un incident se produise. On y parvient grâce à l'intégration des bibliothèques de

représentation visuelle dans un seul poste de représentation visuelle. Dans ces bibliothèques, on trouve des aéronefs, des aéroports, des objets, des trajectoires de vol et des reliefs différents. Tous les aéronefs de l'ARC sont prêts à l'utilisation en un rien de temps. De la même façon, des représentations des terrains d'aviation de l'ARC et d'autres aéroports canadiens ont été recueillies afin de pouvoir être utilisées dans le simulateur. Des images satellite de la plupart des bases canadiennes ont été aussi recueillies et sont prêtes à être importées dans le simulateur. Il est également possible d'utiliser dans un projet des bibliothèques d'objets d'aéroport courants, d'arbres, de bâtiments, d'autres aéronefs, de personnes et d'objets divers.

Les bibliothèques et les nombreuses applications nécessaires à la représentation visuelle ont été réunies dans un laboratoire de représentation visuelle et tiennent dans un seul ordinateur portable haut de gamme. Ainsi, la totalité des moyens et des ressources indispensables à la représentation visuelle sont facilement accessibles, ce qui peut réduire de beaucoup le temps nécessaire à la préparation d'une représentation visuelle.

À l'heure actuelle, le gros du temps de la préparation d'une représentation visuelle est consacré à l'analyse de la trajectoire de vol. Chaque aéronef et

chaque accident posent leurs propres défis. Il a fallu du temps pour mettre sur pied l'organisation et les méthodes d'analyse des FDR, des trajectoires de vol et des accélérations, tout comme la photogrammétrie et la vidéogrammétrie, mais les enquêtes ultérieures devraient pouvoir être menées plus rapidement. Une bibliothèque d'analyse d'échantillons de trajectoire de vol de chaque type d'aéronef devrait permettre d'accélérer encore davantage le rythme des futures enquêtes et analyses.

Suivi

La représentation visuelle a montré qu'elle constituait un puissant outil, tant pour les enquêtes que pour l'éducation. Dans le cadre d'une enquête, elle peut révéler des points pertinents cachés dans des millions de lignes de données, ou elle peut montrer à un équipage de vol les dangers d'une certaine manœuvre en vol. La représentation visuelle nécessite des outils spéciaux et des personnes dûment formées pour pouvoir les utiliser. Les bibliothèques, les outils et les références ont été réunies dans un seul ordinateur portable afin que les enquêteurs et les témoins puissent plus facilement valider les trajectoires de vol. La représentation visuelle est un moyen utile à la prévention des accidents et à la formation qu'il serait bon de conserver.

Le Centre d'essais techniques de la qualité (CETQ), plus que du soutien technique

par M. Vince Horne et le Capitaine Hani Mustafa, Centre d'essais techniques de la qualité, Gatineau (Québec)

M. Vince Horne est le chef du groupe chargé de la sécurité des vols et des systèmes de véhicule du CETQ, et un officier du génie aérospatial à la retraite. Le Capitaine Hani Mustafa, officier du génie aérospatial, enquête sur les accidents d'aéronef au sein du CETQ.

Le Centre d'essais techniques de la qualité (CETQ) est une unité du ministère de la Défense nationale qui joue un rôle important dans les Forces canadiennes. Le mandat du CETQ consiste à offrir des services d'enquête, d'évaluation, de consultation et de représentation au MDN et aux Forces canadiennes pendant le cycle de vie du matériel, du point de vue de la technologie par

« Le mandat du CETQ consiste à offrir des services d'enquête, d'évaluation, de consultation et de représentation au MDN et aux Forces canadiennes... »



Photo : M. Julien Dupuis

rapport aux moyens, pour s'assurer que les exigences de rendement sont respectées et que les questions de sécurité, de fiabilité et de préparation opérationnelle sont prises en compte. Le CETQ offre des services de génie et de science appliquée multidisciplinaires, garantissant ainsi que le matériel et les services auxquels ont recours le ministère de la Défense nationale et les Forces canadiennes satisfont aux exigences liées aux opérations et au rendement pour toute la durée de leur cycle de vie. Le mandat et la mission du CETQ s'harmonisent

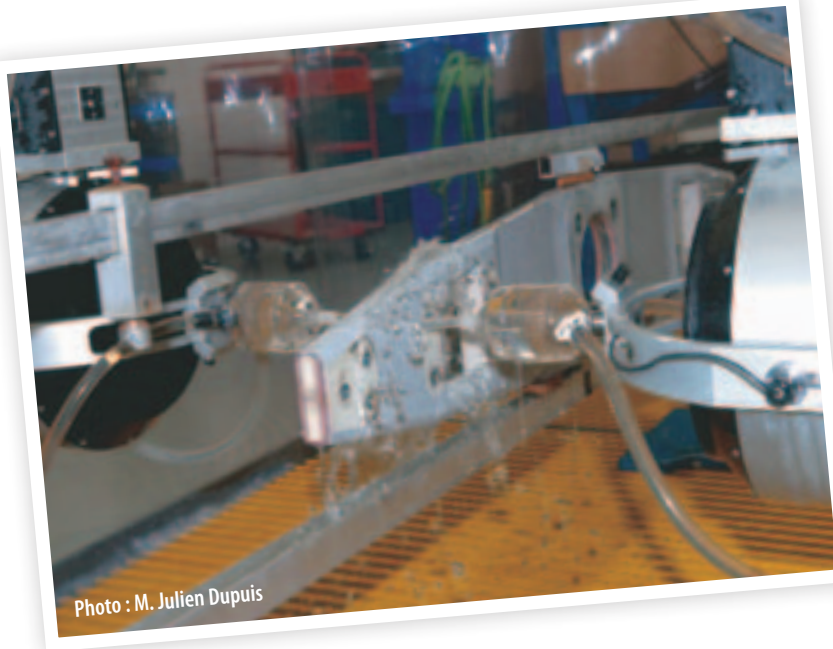


Photo : M. Julien Dupuis

bien aux objectifs de la Direction de la sécurité des vols (DSV), de la Direction de la navigabilité aérienne et du soutien technique ainsi que de la Gestion des systèmes d'armes.

Le CETQ comprend cinq sections techniques : génie mécanique et des matériaux, chimie appliquée, génie électrique, services de matériel d'essai et de métrologie ainsi que génie terrestre. Le groupe chargé de la sécurité des vols (faisant partie de la Section du génie mécanique et des matériaux) est le premier responsable des services d'enquête technique sur la sécurité des vols du CETQ, et il a recours à l'expertise d'autres sections du CETQ pour mener à bien son travail. C'est d'ailleurs ce qui confère un caractère unique au CETQ, car presque toutes les diverses capacités techniques nécessaires à une enquête sur la défaillance

d'un système autonome et d'un composant se retrouvent sous un même toit. Grâce à l'appui de tous les laboratoires du CETQ, les systèmes d'aéronef, notamment les moteurs, les commandes de vol, l'avionique et les fluides d'aviation, peuvent être analysés avec précision pour déterminer si la défaillance du matériel a contribué à un accident ou à un incident. En outre, l'expertise du CETQ dans des domaines comme les examens et les essais non destructifs permet à l'organisation de formuler des recommandations à l'égard de techniques d'inspection, de l'atténuation des risques et de mesures de prévention potentielles.

Le groupe chargé de la sécurité des vols emploie des ingénieurs et des technologues civils et militaires. L'effectif civil possède une grande expérience et expertise dans les

domaines de l'aéronautique, comme l'équipement de survie et les moteurs d'aéronefs. Les postes militaires comprennent un officier du génie aérospatial (capt/lt) et un militaire du rang (adj) en systèmes aéronautiques; outre leur expertise technique, ils possèdent des connaissances approfondies des pratiques militaires courantes concernant l'instruction, la maintenance et les opérations.

Tout comme c'est le cas lors d'enquêtes d'accidents d'aéronef civils, le groupe chargé de la sécurité des vols du CETQ travaille sur le terrain (le cas échéant) et en laboratoire. Le groupe de la sécurité des vols dispose d'un laboratoire technique permettant de remonter l'épave d'un aéronef et de procéder à des analyses approfondies de la structure endommagée d'un aéronef. Dans un tel milieu contrôlé, des caractéristiques comme le faciès de fracture, la déformation des matériaux, l'emplacement des composants endommagés, les

« Le groupe chargé de la sécurité des vols emploie des ingénieurs et des technologues civils et militaires. »



Photo : M. Julien Dupuis

débris, les éléments de preuve à l'état de traces et le tracé de la suie offrent des indices qui peuvent aider à déterminer la séquence des événements ainsi que la cause de l'accident ou de l'incident.

Dans le cadre de leur enquête, les enquêteurs du CETQ informent la DSV non seulement de la manière dont un composant s'est brisé, mais aussi, dans la plupart des cas, des raisons pour lesquelles il s'est brisé. Souvent, la défaillance d'un seul composant est le résultat d'une série d'autres défaillances des systèmes interagissant avec le composant en question.

Prenons, par exemple, la défaillance d'une aube de turbine à gaz. Cet élément, en définitive, peut se rompre en raison d'une fissure qui se propage jusqu'à son emplanture, réduisant ainsi son intégrité structurale; l'aube se séparera de

la roue de turbine et endommagera d'autres composants avoisinants. Dans le cadre d'une enquête, on peut déterminer que la défaillance peut être attribuée à la fatigue, mais l'enquête ne s'arrête pas là. La rupture par la fatigue de l'aube s'est probablement produite pour de nombreuses raisons. Notamment, l'aube de turbine n'était peut-être pas bien posée ou un problème de fabrication a faussé la géométrie de l'aube. L'aube ne pouvait peut-être pas résister aux conditions d'utilisation difficiles ou ces dernières ont peut-être changé en raison de la défaillance d'un autre élément du moteur.

Il est facile de constater comment une enquête sur la défaillance d'un seul composant peut suivre de nombreuses pistes lorsque l'on tente de déterminer les causes de la défaillance puis d'élaborer des mesures de prévention.

Le CETQ possède une bibliothèque riche en rapports d'enquête sur des défaillances qu'il a effectuée pour le compte de la DSV et d'autres organisations, et celle-ci est utilisée pour aider dans de nouvelles enquêtes. Comme la technologie aéronautique évolue constamment, le CETQ recherche et recueille continuellement des renseignements sur de nouveaux matériaux et processus de fabrication, apporte des changements dans les méthodes de maintenance et améliore les techniques d'enquête. Toutefois, dans la plupart des cas, les renseignements les plus utiles, dont il a besoin pour mener à bien une enquête sur une défaillance, proviennent des utilisateurs ou des spécialistes de la maintenance.

Tous les renseignements techniques, provenant notamment de l'imagerie et de bandes audio, de dossiers de maintenance, de plans et de témoins oculaires, sont recueillis auprès des intervenants, y compris (mais non de façon limitative) la DSV, les gestionnaires de systèmes d'armes,

« ...les renseignements les plus utiles, dont il a besoin pour mener à bien une enquête sur une défaillance, proviennent des utilisateurs ou des spécialistes de la maintenance. »

les escadrons de maintenance d'aéronefs, le fabricant d'origine et, non les moindres, les unités de campagne des Forces canadiennes. Ces dernières sont témoins des événements liés à la sécurité des vols et, comme telles, elles peuvent rendre compte avec précision de leur déroulement. Une recherche rigoureuse exige de bien comprendre les systèmes parfois complexes et la défaillance comme telle. Une saine communication des renseignements entre le CETQ et les intervenants permet de s'assurer que l'enquête sur une défaillance est valable et efficace, et que celle-ci mènera à des explications plausibles quant à la cause d'une défaillance.

Il est crucial d'assurer une bonne coordination des différentes pistes suivies durant une enquête sur une défaillance, et quiconque participe

« Les conditions du milieu, comme les conditions météorologiques, la saleté, la poussière ou tout autre contaminant, par exemple de l'huile ou de la graisse, devraient être documentés et photographiés... »

à ce type d'enquête devrait tenir compte de certains points (leçons apprises). Il est possible de perdre ou d'endommager une preuve essentielle à n'importe quelle étape de l'enquête, si les bonnes mesures de précaution ne sont pas prises pour la conserver. Il faut prendre des photos dès que possible, et celles-ci doivent non seulement comprendre le composant endommagé, mais aussi tout autre composant avec

lequel il interagit. Les conditions du milieu, comme les conditions météorologiques, la saleté, la poussière ou tout autre contaminant, par exemple de l'huile ou de la graisse, devraient être documentés et photographiés. Les déclarations des témoins devraient être recueillies dès que possible, et toutes les observations devraient être consignées, et ce, que ces renseignements soient jugés probablement pertinents ou non. Enfin, il faut s'assurer que les composants brisés ne sont pas endommagés ou contaminés davantage (ce qui se produit souvent au moment du démontage), avant d'être envoyés aux laboratoires du CETQ. Une fois au CETQ, les composants sont observés à l'aide de microscopes optique et électronique à balayage ainsi que d'autres appareils très sensibles permettant de faire une analyse approfondie d'une preuve souvent pertinente, mais qui n'est pas évidente à l'œil nu.

Que ce soit à l'appui d'une enquête sur un accident ayant des répercussions considérables sur les opérations ou d'une enquête sur un incident courant qui permet de mettre en lumière les améliorations potentielles d'un produit en vue d'acquisitions futures, le Centre d'essais techniques de la qualité est déterminé à offrir le meilleur soutien technique possible à ses clients et à l'ensemble des Forces canadiennes.



Photo : M. Julien Dupuis

Gérer la sécurité « aux instruments » –

le programme MFOQA de la USAF

par Antonio Cortés, Quartier général du Safety Center de l'U.S. Air Force, Albuquerque (Nouveau-Mexique)

M. Cortés a entamé sa carrière en pilotant le C-21 et le C-141 pour la USAF, où il était également un officier de la sécurité des vols. Il travaillait sur les questions liées à la sécurité pour la Air Line Pilots Association alors qu'il pilotait des MD-80 pour le compte de Midwest Airlines, après quoi il a enseigné la sécurité des vols à titre de professeur à la Embry-Riddle Aeronautical University. Il est actuellement un gestionnaire de la MFOQA dans la fonction publique fédérale au quartier général du Safety Center de la USAF.



Pouvez-vous vous imaginer exécuter votre prochaine mission sans instruments dans le poste de pilotage? Vous devrez alors vous fier à vos tripes et à vos sensations et estimer

vos paramètres de poussée. J'ai l'impression que la sortie risque de prendre fin abruptement et douloureusement, surtout si elle a lieu de nuit ou par mauvais temps. Les pilotes en sont venu à s'appuyer considérablement sur une rétroaction quantitative durant les vols il y a de cela de nombreuses années, si bien que l'expression « piloter aux instruments » a été retenue. De nos jours, l'expression signifie souvent la maîtrise précise d'un aéronef conformément aux exigences de rendement.

Avez-vous entendu parler de gérer un programme de sécurité aérienne « aux instruments »? C'est à dire en s'appuyant sur les chiffres? Les aviateurs tirent une grande fierté de piloter aux instruments, mais lorsqu'on revêt son couvre-chef de sécurité et qu'on tente de gérer un programme de sécurité aérienne, plus souvent qu'autrement ce sont l'instinct et la perception anecdotique des dangers sur lesquels on s'appuie. En tant que gestionnaires de la sécurité, nous faisons de notre mieux pour détecter tous les risques importants, mais nous négligeons

« ...l'expression "piloter aux instruments" a été retenue. De nos jours, l'expression signifie souvent la maîtrise précise d'un aéronef conformément aux exigences de rendement. »

« D'un point de vue philosophique, la prévention des événements se bute contre l'obstacle majeur voulant que la sécurité se mesure souvent par l'intensité de son absence. »

souvent les dangers invisibles parce que nous sommes concentrés sur les dangers évidents qui sont imminents et dangereux. Les psychologues nous disent que ce qui retient notre attention détermine nos actions. Malheureusement, ce qui retient notre attention ne devrait pas toujours déterminer nos actions. Notre attention est facilement retenue par ce qui nous semble être des questions importantes, mais dans les faits les dangers les plus graves qui mettent en cause la sécurité passent souvent inaperçus. « On ne sait pas ce qu'on ne sait pas ». Les dangers invisibles causent souvent plus de dommages que les dangers évidents.

Les commandants ignorent souvent qu'une mission court à la catastrophe parce qu'ils n'ont pas les moyens de détecter les nombreux signes peu évidents indiquant une défaillance précédant la plupart des événements. Par exemple, examinons la différence que peuvent faire quelques millimètres dans notre milieu. L'extrémité d'aile d'un avion peut passer à quelques

millimètres de heurter le sol à l'atterrissage, mais il n'y a pas d'éraflure, donc personne n'entend parler de l'événement. Par contre, si la même extrémité d'aile est bel et bien éraflée à l'atterrissage, même s'il ne s'agit que de quelques millimètres, tout le processus d'évaluation de l'événement se met en branle. D'un point de vue éthique, comment peut-on permettre que quelques millimètres déterminent si un événement est rapidement oublié ou se retrouve illico presto sur le bureau du commandant? Tout bien considéré, les actions et les états dangereux qui ont presque mené à l'éraflure sont probablement les mêmes que ceux ayant mené à de véritables éraflures. La seule différence entre les deux scénarios est la chance. Sommes-nous des professionnels de la sécurité si nous laissons la chance déterminer le signalement des dangers?

Au cours de la dernière décennie, l'U.S. Air Force a mis en œuvre une approche scientifique pour détecter les signes peu évidents précédant

un accident. Nous avons mis en œuvre la sécurité « aux instruments » afin d'être proactifs et de prendre le contrôle du signalement des dangers. L'initiative appelée *assurance qualité des opérations aériennes militaire* (MFOQA) est une version militaire des programmes civils d'assurance qualité des opérations aériennes (FOQA) et de gestion des données de vol (FDM). Peu importe comment on l'appelle, l'idée consiste à télécharger régulièrement les données de vol afin de détecter les signes avant-coureurs d'un événement. D'un point de vue philosophique, la prévention des événements se bute contre l'obstacle majeur voulant que la sécurité se mesure souvent par l'intensité de son absence. Autrement dit, nous tentons souvent de gérer la sécurité en mesurant la fréquence des événements. Il est triste de constater que, bien souvent, les tragédies sont l'unité de mesure traditionnelle de la sécurité. En se servant des événements comme



« Grâce aux données des quasi-accidents, les signes avant-coureurs d'une défaillance sont quantifiables, pas juste les défaillances réelles. »

unité de mesure, la gestion de la sécurité peut se comparer à conduire une voiture en regardant seulement dans le rétroviseur. La MFOQA nous permet de mesurer réellement les indicateurs principaux de la sécurité en examinant les quasi-accidents, que nous savons se produire beaucoup plus souvent que les événements, et ainsi disposer de beaucoup plus de données pour nos analyses que si on se reposait uniquement sur les événements. Grâce aux données des quasi-accidents, les signes avant-coureurs d'une défaillance sont quantifiables, pas juste les défaillances réelles.

Notre programme de la MFOQA est surveillé et encouragé par le Safety Centre de la USAF à la base de l'Air Force de Kirtland à Albuquerque (Nouveau-Mexique). Actuellement, les neuf flottes d'aéronef suivantes participent au programme, d'une manière ou d'une autre : F-16, C-17, T-6, KC-135, C-130J, C-32, RC-135, C-37 et C-40. Le C-5M sera la prochaine flotte à intégrer le programme. Quatre préalables doivent être respectés

afin de participer au programme de la MFOQA : l'aéronef doit disposer de la capacité d'enregistrer les types pertinents de données de vol, un pilote expérimenté ayant suivi une formation sur les processus de la MFOQA doit analyser les données pour détecter les signes avant-coureurs d'un événement, la structure de commandement doit savoir comment utiliser les analyses ainsi produites pour gérer le risque, et une culture de sécurité doit exister pour protéger le personnel navigant lorsque des erreurs se produisent.

Afin de promouvoir la bonne utilisation des données de vol et d'empêcher d'utiliser le programme pour punir le personnel navigant, le secrétaire de la Défense des É.-U. a stipulé en 2005 que les données générées par le processus de la MFOQA ne devront pas être utilisées pour surveiller le rendement du personnel navigant afin de prendre des mesures punitives ou négatives, à l'exception des cas où la réglementation et les procédures ont sciemment été enfreintes. Des mesures importantes ont été prises pour veiller à ce que le programme de la MFOQA soit avantageux pour tous. Les données de nombreux vols sont rassemblées et anonymisées avant que l'on tente de détecter les cas où un aéronef a été utilisé à l'extérieur de ses paramètres d'utilisation prédéfinis. Nous sommes particulièrement intéressés à trouver des états latents dangereux comme

la normalisation d'un écart qui peut indiquer des procédures mal conçues. Nous travaillons de près avec nos experts sur les facteurs humains pour déterminer les causes fondamentales des signes avant-coureurs d'événement détectés par la MFOQA.

Au cours de la décennie qui s'est écoulée depuis le début du projet de la MFOQA, la USAF a appris à reconnaître la valeur des analyses produites à partir des données de vol. Le personnel navigant pilotant les aéronefs participant au programme de la MFOQA est mis au courant des derniers dangers aux aires de déploiement et il utilise ces renseignements pour effectuer des exposés sur les dangers et les erreurs propres aux terrains d'aviation, à l'ATC et à la navigation. Les analyses de la MFOQA peuvent être utilisées pour valider l'efficacité de tactiques, d'entraînements et de procédures en mesurant ce qui s'est vraiment produit durant le vol par rapport à ce qu'on croit qui s'est produit.

« Les analystes peuvent déterminer si les modifications des procédures ont amélioré les opérations ou si les choses ont empiré. »

Les véritables données de rendement d'aéronef peuvent être utilisées pour valider ou corriger les données de rendement calculées. On peut savoir à quel point les profils de mission sont suivis à la lettre. Les officiers de la sécurité peuvent constater quels terrains d'aviation ont un nombre élevé d'approches non stabilisées et quels lieux ont le plus d'avertissements de décrochage, d'activations du TCAS ou d'avertissements du GPWS. Les profils de vol peuvent être examinés pour déterminer où les dépassements du facteur de charge et les surchauffes risquent le plus de se produire. Les analystes peuvent déterminer si les modifications des procédures ont amélioré les opérations ou si les choses ont empiré. Les planificateurs de mission peuvent optimiser les profils de vol pour économiser du temps et du carburant. En gros, la MFOQA nous permet de prendre des décisions étayées par des renseignements au lieu de nous fier à notre instinct, qui est souvent erroné.

J'aimerais bien que la USAF prenne le crédit d'avoir mis au point la MFOQA, mais nous ne sommes qu'une seule voix parmi tant d'autres qui vantent les vertus de l'analyse des données de vol. L'idée est venue de British Airways dans les années 1960. Les chercheurs universitaires ont noté d'importantes baisses dans la fréquence des événements et les



coûts de maintenance chez les compagnies aériennes qui avaient mis en place un programme sur les données de vol par rapport aux compagnies aériennes qui n'analysaient pas les données de vol. La Federal Aviation Administration des É.-U. estime que les programmes de FOQA permettent de dégager des économies nettes de 892 000 \$ par année par 50 appareils exploités. Ces chiffres expliquent en partie pourquoi plus de 40 compagnies aériennes civiles aux É.-U. ont un programme de la FOQA et pourquoi toutes les compagnies aériennes relevant de l'Organisation de l'aviation civile internationale exploitant un aéronef dont la masse maximale au décollage dépasse les 27 000 kg sont tenues par la loi d'avoir un programme sur les données de vol. Les exploitants commerciaux peuvent également bénéficier de réductions importantes de leurs primes d'assurance. Une compagnie aérienne britannique économise 8 millions de dollars

canadiens par année sur ses assurances en montrant que les analyses des données de vol améliorent la sécurité de ses vols. De telles économies montrent que les compagnies d'assurance voulant réduire les réclamations croient que la FOQA est une « pratique exemplaire ».

Pour conclure, je vais citer le commandant W.D. Lowe, ancien pilote du Concorde et pilote en chef de British Airways, qui a encensé la FOQA en déclarant : « Il s'agit de la manière la plus importante d'améliorer radicalement la sécurité aérienne ». De mon point de vue, je peux affirmer sans l'ombre d'un doute que je suis entièrement d'accord avec le commandant Lowe. En tant qu'aviateurs professionnels, nous devrions piloter aux instruments. En tant qu'officiers de la sécurité, nous devrions être tout aussi professionnels et gérer la sécurité « aux instruments ».

Enquêter sur des accidents d'aéronef à l'aide d'images de satellites commerciaux

par le Docteur Matthew Greaves et le Professeur Graham Braithwaite, Cranfield Safety and Accident Investigation Centre, université Cranfield

Matthew Greaves est chargé de cours au Safety and Accident Investigation Centre de l'université Cranfield. Il travaillait auparavant pour le compte de l'organisme de science et technologie QinetiQ. Diplômé en génie et titulaire d'un doctorat en bruit et vibrations des moteurs d'aéronef, il consacre ses recherches à l'application de la technologie au processus d'enquête sur des accidents.

Graham Braithwaite est chef du Department of Air Transport de l'université Cranfield, au Royaume-Uni. Il a été nommé directeur du Safety and Accident Investigation Centre en 2003 et est titulaire de la chaire de Safety and Accident Investigation depuis 2006. Il a été auparavant chargé de cours à l'université de la Nouvelle-Galles du Sud, à Sydney. Titulaire d'un doctorat en gestion de la sécurité aérienne de l'université Loughborough, il concentre ses recherches sur la sécurité, la culture et la formation des enquêteurs.

Introduction

Si, dans la majorité des accidents d'aéronef, il est facile de localiser l'épave afin de permettre aux enquêteurs de l'atteindre, il y a tout de même des exceptions notables.

La disparition de l'avion du vol 447 d'Air France au-dessus de l'océan Atlantique en 2009 et l'accident de celui du vol 574 d'Adam Air survenu en 2007 au large des côtes indonésiennes illustrent combien il peut parfois être difficile de localiser une épave d'aéronef. De la même façon, le *Nimrod* de la RAF qui s'est écrasé en Afghanistan en 2006 et l'avion du vol 772 d'UTA qui s'est désintégré en vol au-dessus du désert du Sahara en 1989 montrent tous les deux qu'il peut être difficile, voire impossible, d'atteindre une épave à cause de contraintes d'ordre géographique ou politique.

C'est pourquoi, on constate un intérêt croissant pour l'utilisation d'images aériennes générales dans le but de localiser et, par la suite, d'analyser certains accidents d'aéronef. Dans les régions peuplées, ces images peuvent provenir de la police, d'ambulances aériennes ou même d'hélicoptères affectés aux médias d'information, mais là encore, ces moyens seront absents dans les régions reculées. Un certain nombre d'agences et d'organismes peuvent avoir conclu des ententes qui leur permettent d'avoir accès à des images provenant de satellites militaires, dont les capacités

diffèrent parfois de celles des satellites commerciaux. À la suite de la disparition de l'avion du vol 447, le gouvernement américain a reçu une demande d'utilisation de la technologie satellitaire afin d'aider aux recherches de l'épave. Toutefois, la priorité d'acquisition de ces images ainsi que leur communication et leur utilisation ultérieures à des fins civiles font souvent l'objet de plusieurs questions. C'est ce qui explique pourquoi on s'intéresse plutôt aujourd'hui à l'utilisation des images de satellites commerciaux pour localiser les lieux d'accident et enquêter. Le présent article évalue la situation actuelle dans ce domaine en se concentrant sur les besoins et les priorités d'une enquête après accident et en faisant état de l'essai sur le terrain mené à Chypre en 2009.

« Un certain nombre d'agences et des ententes peuvent avoir conclu d'avoir accès à des images provenant de satellites militaires, dont les capacités diffèrent parfois de celles des satellites commerciaux. »

Les images des satellites commerciaux

Au cours des dernières années, la disponibilité et l'utilisation d'images de satellites commerciaux ont augmenté de façon marquée, le meilleur exemple étant fourni par l'omniprésent *Google Earth*. Toutefois, comme l'acquisition de ces images à la demande est plutôt onéreuse, il serait bon que les enquêteurs sachent ce qu'ils peuvent attendre de cette technologie. Par exemple, il pourrait être utile de savoir si un satellite en particulier est capable d'identifier, disons, un enregistreur de données de vol avant de dépenser des milliers de livres à l'acquisition des données de l'image à commander. Si les spécifications publiées d'un satellite imageur peuvent être d'une certaine utilité, elles ne donnent pas un tableau complet des possibilités!

Il existe une large gamme de satellites offrant des images dans le spectre visible, chacun d'entre eux ayant une résolution et des caractéristiques qui lui sont propres. Le tableau 1 montre certains des satellites ayant la résolution la plus haute et indique la meilleure de chacun d'entre eux. La résolution s'entend de la plus petite dimension discernable et, par conséquent, plus le chiffre est bas, mieux c'est. Les résolutions sont précisées tant pour les images panchromatiques (noir et blanc) que multispectrales (couleur et autres bandes). Il apparaît clairement que les résolutions panchromatiques sont beaucoup plus fines que les résolutions

Satellite	Panchromatique (m)	Multispectral (m)
OrbView-3	1	4
IKONOS	0,82	4
EROS-B	0,7	–
QuickBird	0,61	2,44
WorldView-1	0,5	–
WorldView-2	0,46*	1,84*
GeoEye-1	0,41*	1,64*

* Sous réserve des restrictions – voir ci-dessous

Tableau 1 – Résolutions disponibles des satellites commerciaux

Satellite	Résolution (m)
RADARSAT-2	3
COSMO-SkyMed	1
TerraSAR-X	1

Tableau 2 – Résolutions disponibles des satellites radar commerciaux

multispectrales. Il serait utile que ceux qui s'intéressent aux images satellitaires connaissent le concept de la taille du pixel (GSD), laquelle correspond à la surface au sol représentée par un pixel au nadir (à savoir, à la verticale). À mesure que l'angle de vision change en s'éloignant de la verticale, autrement dit que l'angle par rapport au nadir (ONA) augmente, la résolution disponible diminue.

Tandis que la résolution des satellites continue de s'améliorer, la diffusion et l'utilisation d'images de satellites des États-Unis ayant une GSD plus petite que 0,50 m en panchromatique et que 2,0 m en multispectral doivent faire l'objet d'une approbation préalable du gouvernement américain. Sans cette approbation, les images ayant des résolutions plus fines que 0,5 m seront rééchantillonnées afin de donner une résolution de 0,5 m. Même

si une telle approbation peut être accordée dans le cas d'une enquête consécutive à un accident et si les résolutions vont continuer de s'améliorer, il y a tout lieu de croire que des résolutions plus fines que celles offertes aujourd'hui ne seront pas disponibles dans un avenir rapproché.

La focalisation panoramique constitue une technique utile visant à maximiser les renseignements disponibles à partir d'images électro-optiques (EO), laquelle peut souvent être spécifiée au moment de demander les images. Cette technique consiste à fusionner les renseignements sur les couleurs obtenus d'une image multispectrale aux renseignements géométriques tirés de l'image panchromatique, ce qui donne en fin de compte une image en couleurs à haute résolution.

Proportionnellement à cette croissance du nombre de satellites EO, les images radar commerciales sont elles aussi devenues plus facilement accessibles, bien qu'elles offrent des résolutions légèrement moins fines. Le tableau 2 montre trois de ces satellites radar commerciaux disponibles ainsi que leur résolution. Contrairement aux satellites radar, les satellites EO sont incapables de générer des images à travers des nuages épais, point particulièrement important quand on sait que le mauvais temps est un facteur dans de nombreux accidents.

En général, pour obtenir des images satellite d'un endroit particulier, il est possible soit d'acheter des images « déjà en banque », soit de demander que le satellite obtienne de nouvelles images. Il est évident que si les images déjà en banque peuvent servir à des fins de planification, de récupération, de visualisation, etc., elles ne seront pas d'une grande utilité au cours de l'enquête même qui fera suite à un accident. Par conséquent, s'il faut obtenir des images à jour du lieu de l'accident, cela signifie que le satellite doit alors obtenir des images spécifiques. Le délai d'obtention de ces images dépend d'un certain nombre de facteurs, comme le budget, la priorité et l'orbite du satellite. Toutefois, en règle générale, le laps de temps minimal qui s'écoulera pour obtenir une image en particulier, entre le moment de la demande et la réception de l'image, devrait être de l'ordre de un à deux jours.

Les satellites imageurs sont des instruments scientifiques pour lesquels il faut préciser un grand nombre de paramètres avant de pouvoir obtenir une image. Il est possible de faire une analogie avec les appareils-photo réflex dotés d'une multitude de modes et de réglages dont certains peuvent avoir une très grande influence sur les résultats obtenus. Bien que le présent article n'ait pas pour but de traiter de la façon de procéder pour obtenir une image, disons que les paramètres que l'on peut régler comprennent le type de fichier; le mode d'imagerie (relié au territoire couvert et à la résolution); la référence et la projection; le post-traitement; la gamme dynamique, etc. Il convient de noter que tout comme pour un zoom monté sur un appareil-photo, la plupart des satellites peuvent obtenir des images couvrant un territoire plus ou moins grand (p. ex. 5 km x 5 km, 10 km x 10 km, etc.) mais que, souvent, plus le territoire couvert est grand, moins la résolution est fine.

Une fois qu'une image a été obtenue, elle est généralement livrée sous la forme de fichier numérique. Selon les dimensions du territoire couvert par l'image, la taille du fichier peut être importante, p. ex. 1 Gbit pour une image couvrant un territoire de 10 km x 10 km, ce qui a des conséquences au niveau de la gestion du fichier. La majorité des dispositifs portatifs actuels ne peuvent recevoir un fichier d'une telle taille. En outre, le format du fichier est la source d'une autre complication. S'il est souvent

« Le délai d'obtention de ces images dépend d'un certain nombre de facteurs, comme le budget, la priorité et l'orbite du satellite. »

possible de préciser le format de livraison, il se pourrait que le format par défaut soit, par exemple, le National Imagery Transmission Format (NITF) plutôt que les formats plus courants TIFF ou JPEG. Cela signifie qu'il serait bon également de s'intéresser à la chaîne de traitement au moment d'acquérir une image, car il faudra peut-être recourir à des logiciels spécialisés pour voir l'image. Dans certains cas, un post-traitement supplémentaire est nécessaire avant d'en arriver à quelque chose qui ressemble à une image.

Ce que nous venons de dire n'a pas pour objet de décourager l'enquêteur, mais plutôt de lui montrer l'importance de se préparer au cas où il serait amené à devoir utiliser de telles images dans le futur. Ce n'est plus au moment de chercher un aéronef disparu qu'il faudrait essayer de comprendre les différents paramètres des satellites. Par conséquent, il serait peut-être bon qu'un responsable entre en discussion avec un fournisseur d'images satellite afin de mettre au point un ensemble de paramètres « standard » ainsi que le déroulement des opérations avant d'être obligé de le faire en catastrophe.

Configuration d'essai

Afin d'évaluer l'éventuelle utilité des images satellite dans les enquêtes consécutives à des accidents d'aéronef, un essai a été mené en faisant appel à des cibles connues mises en place et observées par divers moyens. Cet essai a été réalisé en collaboration avec le *Ministry of Defence* (MoD) et la *Air Accidents Investigation Branch* (AAIB) du Royaume-Uni ainsi qu'avec le *Defence Science and Technology Laboratory* (DSTL). C'est l'île de Chypre qui a été retenue comme lieu de l'essai, compte tenu du ciel généralement dégagé et de l'espace aérien disponible.

Trois lieux d'essai ont été préparés : le premier faisait appel à des composants (de métal, de fibre de carbone et de matériaux mélangés) placés au milieu d'un relief représentatif, tandis que le deuxième consistait en une porte et une poutre de queue d'hélicoptère flottant à la surface de la mer. Quant au troisième lieu, il était composé d'une grille formée d'objets de différentes tailles et de différents matériaux comme des carrés de métal dont les dimensions allaient de 0,5 m x 0,5 m à 4 m x 4 m ainsi

que de véritables morceaux d'épave, le tout devant servir de « mire » pour le satellite. Ces lieux offraient un ensemble de problèmes représentant ce qu'il y a de plus difficile en matière de localisation et de représentation graphique d'une épave. Il est évident que trouver un fuselage intact de 50 m sera toujours plus facile que de localiser un panneau de 4 m x 4 m. Ces trois lieux ont également été patrouillés par le *Joint Aircraft Recovery and Transportation Squadron* (JARTS) utilisant la technique de la représentation graphique à l'aide du GPS différentiel.

Deux images du lieu ont été obtenues : une image électro-optique du satellite *QuickBird* et une image radar du satellite radar à synthèse d'ouverture *TerraSAR-X* (gracieuseté d'*Infoterra GmbH*).

L'image du *QuickBird* couvrait 10 km x 10 km et elle avait une dimension du pixel de 0,6 m (en panchromatique) et de 2,4 m (en multispectral) à un angle décalé moyen de 3° par rapport au nadir. Le fichier a été fourni en format NITF 2.1 et il avait une taille de

960 Mbit. L'image avait été demandée avec un résultat « assuré » pendant une fenêtre temporelle comprise entre le 17 et le 21 août 2009 et elle a été obtenue le lundi 17 août à 8 h 42 GMT (Ce point est important, car la peinture de la cible a été terminée vers 10 h GMT; en comparant les figures 1a et 1b, on peut voir que le carré orange de 4 m x 4 m n'est peint qu'aux trois quarts et que les deux autres carrés « orange » ne sont ni peints ni soulevés!). Le dossier a été visualisé à l'aide de *GeoGenesis Lite*, un visualiseur libre en format NITF d'IAVO. Compte tenu de la demande de résultat assuré et de la fenêtre d'acquisition relativement étroite, il aurait fallu environ 10 000 £ pour obtenir cette image dans le commerce.

L'image de *TerraSAR-X* a été obtenue en mode « Spotlight » donnant une GSD de 1 m, et elle couvrait une superficie de 10 km x 10 km. Toutefois, de la façon dont il fonctionne, ce satellite offre les meilleurs angles d'acquisition dans la plage de 20 à 55°, l'image de l'essai ayant quant



Figure 1a – Photographie de la grille prise depuis un hélicoptère



Figure 1b – Image de la grille obtenue à partir d'un satellite commercial

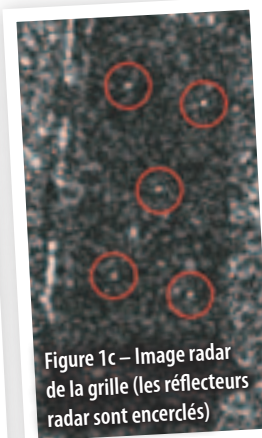


Figure 1c – Image radar de la grille (les réflecteurs radar sont encerclés)



Figure 2a – Photographie de l'emplacement du Harrier prise depuis un hélicoptère (les deux ailes et l'empennage horizontal sont encerclés)

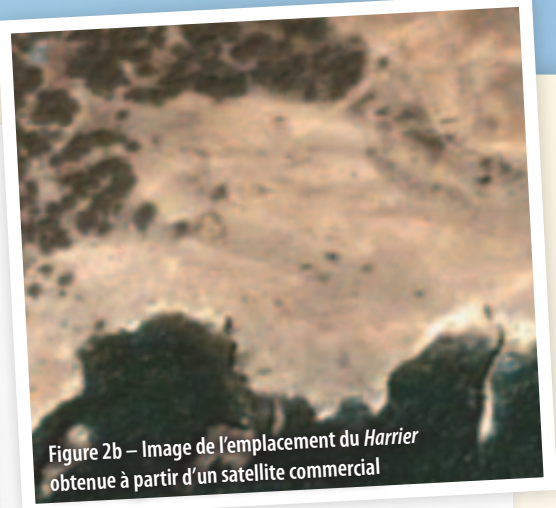


Figure 2b – Image de l'emplacement du Harrier obtenue à partir d'un satellite commercial



Figure 3a – Photographie du lieu en mer prise depuis un hélicoptère



Figure 3b – Image du lieu en mer obtenue à partir d'un satellite commercial

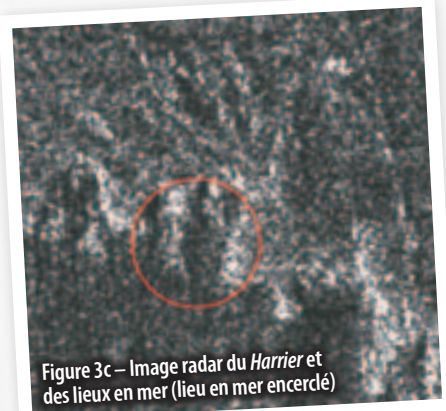


Figure 3c – Image radar du Harrier et des lieux en mer (lieu en mer encerclé)

à elle été obtenue à un angle de 48°. Cet angle d'acquisition entraîne une diminution de la résolution à environ 1,5 m. Le fichier a été livré comme une image en format Complex SAR et sa taille était d'environ 220 Mbit. L'analyse a été effectuée à l'aide de *Radar Tools*, un logiciel en libre accès. Acquérir cette image dans le commerce aurait demandé environ 7000 £.

Les figures 1 à 3 montrent les images des trois lieux obtenues à l'aide d'un appareil-photo depuis un hélicoptère, ainsi que les images électro-optiques correspondantes en rehaussement panchromatique tirées de l'image du satellite *QuickBird* et les deux images tirées de l'image du satellite *TerraSAR-X*.

Analyse

Chaque élément de la grille a fait l'objet d'une analyse d'interprétabilité consistant à examiner l'image et à décider si un élément se distinguait du fond, autrement dit s'il y avait « quelque chose à cet endroit-là ». Il n'y a eu aucune tentative d'interprétation des détails d'un élément.

Des 50 cibles de la grille, 20 étaient bien visibles, 7 à peine visibles et 23 pas du tout. Parmi les cibles bien visibles se trouvaient un carré noir de 2 m x 2 m, un carré blanc de 1 m x 1 m ainsi qu'un panneau d'empennage et une cloison (mesurant chacun environ 2 m x 1 m). Dans les cibles à peine visibles figuraient un carré noir de 1 m x 1 m, un carré blanc de 0,5 m x 0,5 m, une section de verrière et

deux sièges. Quant aux cibles jugées indétectables, on y trouvait un carré noir de 0,5 m x 0,5 m, un carré en Perspex de 4 m x 4 m, une pale de rotor d'hélicoptère et un enregistreur de données de vol.

Ces résultats mettent en évidence les autres facteurs qui ont une incidence sur l'interprétabilité d'une image. Si la GSD panchromatique de 0,6 m donne une bonne indication des résultats que l'on peut espérer obtenir, ceux-ci sont toutefois fortement influencés par d'autres facteurs, comme la surface environnante, la couleur de l'objet, l'angle de vue, etc. Fait intéressant à signaler, par exemple, le carré noir de 2 m x 2 m est clairement visible et occupe une surface

« Afin de mesurer la précision des positions géographiques établies par l'image satellite, 20 éléments de la grille ont été choisis, l'emplacement de leur centre a été estimé et les coordonnées ont été notées... »

d'environ 4 pixels sur 4 pixels, tout comme le carré blanc de 1 m x 1 m qui occupe une surface de 2 pixels sur 2 pixels, alors que le carré noir de 1 m x 1 m est réputé être à peine visible. À cause des couleurs présentes dans la surface environnante, un pixel blanc offre un bien meilleur contraste qu'un pixel noir, ce qui le fait davantage ressortir.

Afin de mesurer la précision des positions géographiques établies par l'image satellite, 20 éléments de la grille ont été choisis, l'emplacement de leur centre a été estimé et les coordonnées ont été notées telles qu'elles étaient affichées par le logiciel en fonction des renseignements géographiques intégrés dans l'image. Ces coordonnées ont ensuite été comparées aux données d'arpentage.

Une comparaison des coordonnées visant à établir la précision absolue (autrement dit, une simple comparaison des coordonnées précises) a montré une erreur moyenne de 10,25 m vers l'est et de 3,56 m vers le nord, les erreurs maximales étant respectivement de 10,80 m et de 3,75 m. Quant à l'évaluation de la précision relative (autrement dit, la distance entre

divers éléments), elle a révélé une erreur moyenne de 0,20 m vers l'est et de 0,08 m vers le nord, les erreurs maximales étant respectivement de 1,05 m et de 0,23 m.

Compte tenu des distances entre le capteur et l'objet ainsi que des erreurs potentielles dues à la pixellisation et à l'estimation du centre de l'objet, de telles précisions sont exceptionnelles. Hormis les questions d'interprétabilité évoquées plus haut, une erreur maximale typique de 20 cm serait jugée d'une précision amplement suffisante pour représenter une épave à distance.

Une technique souvent évoquée en analyse des images s'intéresse à la détection des changements. Il s'agit de prendre une image « avant » et de la comparer à une image « après » afin de mettre en évidence les différences. Cette opération peut se faire visuellement ou à l'aide d'un logiciel. La méthode visuelle peut être très simple, par exemple afficher les deux images à l'écran simultanément et les observer tour à tour avec un certain synchronisme afin de repérer les différences ou les anomalies. Bien que cette méthode demande du temps, elle peut être extrêmement efficace.

L'utilisation d'un logiciel repose sur des algorithmes qui comparent l'image avant et après. Toutefois, cette technique donne de meilleurs résultats quand elle utilise des images « jumelles », à savoir des images prises avec le même capteur, à la même résolution

et selon le même angle, seules les différences dignes d'intérêt étant présentes. Il est évident que, comme le lieu d'un prochain accident n'est pas connu, la probabilité de disposer d'images « jumelles » est faible. C'est ainsi que la détection automatisée des changements a été tentée sur l'image de la grille provenant du satellite *QuickBird*, une image du satellite *GeoEye* servant de référence à partir de laquelle détecter les changements. Bien qu'il soit possible de régler les paramètres de détection afin de mettre en évidence les endroits où se trouvent des changements connus, la raison d'être de cette technique consiste à détecter des changements à des endroits inconnus. Par conséquent, la détection des changements a été effectuée à l'aide de paramètres standard.

Un logiciel du nom de *Matisse* préparé par dstl a été utilisé pour essayer de détecter les changements. Une fois la détection des changements réalisée, le logiciel a mis en évidence un des panneaux de la grille comme étant le changement le plus significatif

« Il ne fait aucun doute que cette technique ne pourra être utilisée sous la forme d'un processus entièrement automatisé, mais plutôt comme une façon de mettre en évidence des zones intéressantes pour un analyste en imagerie. »

dans une zone de 700 m x 700 m autour de la grille. Après le passage à une zone de 4 km x 3 km, le logiciel a mis en évidence le même panneau comme étant l'un des 50 changements les plus significatifs de la scène.

Il ne fait aucun doute que cette technique ne pourra être utilisée sous la forme d'un processus entièrement automatisé, mais plutôt comme une façon de mettre en évidence des zones intéressantes pour un analyste en imagerie. Par conséquent, compte tenu des résultats précédents, il est envisageable qu'un analyste puisse traiter en une journée les changements mis en évidence sur une scène de, disons, 10 km x 10 km, bien que, comme l'algorithme classe les détections possibles, plus une trouvaille sera bien classée, plus l'analyste aura de chances de la découvrir tôt dans le processus.

L'examen de l'image radar de la grille met en évidence certaines difficultés inhérentes à l'utilisation du radar. Les cinq réflecteurs radar (disposés comme sur la face d'un dé) sont

visibles et encerclés dans la figure 1c, tout comme d'autres composants, par exemple l'empennage horizontal. Toutefois, la résolution est telle que chaque élément n'occupe pas plus d'un pixel sur l'image, ce qui rend cette dernière très difficile à interpréter.

Les figures 2a et 2b montrent le lieu du « *Harrier* ». Si le parachute bleu vif est bien visible dans le coin supérieur gauche de l'image, la comparaison des deux images met clairement en évidence combien il est difficile de distinguer l'épave du terrain environnant parsemé d'arbustes. Les morceaux d'épave visibles sur cette image comprennent les deux ailes, le fuselage arrière et les deux réservoirs largables d'un *Harrier*. Il y a également de nombreuses autres pièces plus petites sur les images, comme des tuyaux et une jambe de train avant, mais celles-ci ne sont visibles que sur l'image zoomée prise de l'hélicoptère et elles sont invisibles sur l'image satellite.

Les figures 3a et 3b montrent l'image du lieu en mer prise depuis l'hélicoptère et par le satellite. L'image photographique montre une poutre d'hélicoptère flottant dans l'eau et une porte rouge sur la plage. Toutefois, il est impossible de distinguer des morceaux d'épave sur la mer ou le sol environnants. De la même façon, la résolution offerte par l'image radar de la figure 3c, couplée au bruit et aux retours de la surface environnante, rend impossible toute identification de l'épave à un point tel qu'il est même difficile de reconnaître la géographie du lieu.

Exemple concret

Le 10 avril 2010, un *Tupolev* 154 s'est écrasé près de Smolensk, en Russie, accident au cours duquel les 96 occupants, dont le président polonais, ont tous péri. Des images satellite du lieu de l'accident ont été prises par le satellite *WorldView-2* et archivées. *DigitalGlobe* a ensuite gracieusement mis ces images à la disposition de l'université Cranfield à des fins de recherche.

WorldView-2 est un satellite multispectral à haute résolution et il est l'un des plus récents satellites commerciaux utilisables. Il a été lancé en octobre 2009 et il est en mesure de produire des images de haute qualité avec une résolution de 0,46 m en panchromatique et de 1,84 m en multispectral. En plus des bandes traditionnelles rouge, verte et bleue, il offre également deux bandes en proche infrarouge, une bande en bordure rouge, une bande jaune et une bande côtière. Grâce à cette dernière, *WorldView-2* a la possibilité de faire de la bathymétrie (des mesures de profondeur dans l'eau).

L'image de la figure 4a montre clairement le sillon laissé par l'épave dans le coin supérieur droit. Elle montre également les véhicules, les tentes et les chemins d'accès utilisés par les services de secours et les enquêteurs. Il est clair qu'à partir d'une image de ce genre à une telle résolution, un analyste entraîné pourrait facilement identifier le sillon laissé par l'épave comme le lieu d'un accident. Toutefois, cette image représente une surface d'environ

« Il ne fait aucun doute que cette technique ne pourra être utilisée sous la forme d'un processus entièrement automatisé, mais plutôt comme une façon de mettre en évidence des zones intéressantes pour un analyste en imagerie. »



Figure 4a – Sillon laissé par l'épave et surface environnante



Figure 4b – Agrandissement du sillon laissé par l'épave

150 m sur 100 m. Il est évident qu'à un tel grossissement, il faudrait un temps considérable à l'analyste pour scruter visuellement une surface de, disons, 20 km par 20 km, bien que cela ne soit pas complètement impossible.

La figure 4b montre la même image zoomée sur le sillon laissé par l'épave, la section arrière de l'avion se trouvant au centre de l'image. D'autres images du lieu de l'accident permettent de penser que la longueur de ce morceau est de l'ordre de 10 m, ce qui est cohérent avec le nombre de pixels qui sert à sa représentation. Il est toutefois dommage qu'il s'agisse assurément d'un accident survenu à haut niveau d'énergie, ce qui a entraîné une destruction majeure de l'avion au point où il est difficile de distinguer beaucoup d'autres morceaux de l'appareil.

Bien que les images satellite n'aient joué aucun rôle dans l'analyse de cet accident en particulier, elles apportent néanmoins une preuve intéressante du concept, notamment parce qu'elles proviennent de l'un des satellites commerciaux à la plus haute résolution utilisables, le satellite *WorldView-2*.

Conclusion

La croissance de l'imagerie satellitaire commerciale se traduit par un accès de plus en plus large à cette imagerie. Toutefois, comme nous l'avons dit plus haut, la commande et l'acquisition de ces images ne sont pas une mince affaire, car un grand nombre de facteurs et de paramètres entrent en ligne de compte. Les organismes qui souhaitent se procurer des images prises par des satellites commerciaux auraient tout intérêt à communiquer avec un fournisseur d'images satellite afin d'établir leurs exigences spécifiques avant de commander des images. Ce point est particulièrement important si les images sont demandées dans un délai très court, par exemple à la suite d'un accident en mer où le facteur de flottabilité peut être une contrainte temporelle.

Les images prises par des satellites commerciaux n'ont pas encore la qualité suffisante pour remplacer celles prises au sol ou depuis un hélicoptère. Toutefois, les résultats de cet essai et un exemple concret ont montré que les images prises par des satellites commerciaux ont une utilité potentielle tant pour la localisation que pour la représentation graphique

d'une épave dans des situations bien précises. Il existe toutefois un grand nombre de facteurs hors du contrôle de l'enquêteur qui peuvent avoir une incidence sur les résultats, comme la couleur de l'épave et du milieu environnant, la taille de l'épave, l'angle d'acquisition, etc. Compte tenu de ces facteurs, le risque de recueillir des images inutiles que percevra l'enquêteur dépendra bien évidemment de la situation à laquelle il sera confronté.

Les futurs plans de recherche dans ce domaine comprennent de nouveaux essais avec des satellites multispectraux à plus haute résolution et l'utilisation possible de capteurs radar et hyperspectraux capables de détecter les nappes de carburant et d'huile afin de localiser les lieux d'accident en mer.

Remerciements

Les auteurs aimeraient exprimer toute leur reconnaissance au *Ministry of Defence* et à la *Air Accidents Investigation Branch* (AAIB) du Royaume-Uni, au *Defence Science and Technology Laboratory* (DSTL) ainsi qu'à Infoterra (UK et GmbH) pour l'aide qu'ils leur ont apportée.

L'imagerie spatiale comme moyen de faire un relevé des lieux pendant l'enquête consécutive à un accident aérien

par le Capitaine de corvette John Edward Shallcroft, Royal Navy, RU et le Docteur Matthew Greaves, Safety and Accident Investigation Centre de l'université Cranfield, RU

Au cours de ses 27 ans comme pilote dans la Royal Navy, Captc Shallcroft a accumulé 5500 heures de vol. Il a été instructeur sur voilures fixe et tournante, en plus d'être enquêteur d'accident qualifié. Il est titulaire d'une maîtrise en sciences spécialisée en sécurité et en enquête d'accident de l'université Cranfield.

Matthew Greaves est chargé de cours au Safety and Accident Investigation Centre de l'université Cranfield. Il travaillait auparavant pour le compte de l'organisme de science et technologie QinetiQ. Diplômé en génie et titulaire d'un doctorat en bruit et vibrations des moteurs d'aéronef, il consacre ses recherches à l'application de la technologie au processus d'enquête sur des accidents.

Introduction

Il a toujours été de tradition que les enquêteurs se servent de rubans à mesurer et des techniques et procédures d'arpentage pour consigner tout ce qui trouvait sur les lieux d'un accident et pour produire

à la main un relevé indiquant la position des divers morceaux de l'épave.

Les techniques

Les enquêteurs se servent depuis de nombreuses années d'appareils-photo pour consigner les éléments de preuve sur les lieux d'un accident. La *Air Accidents Investigation Branch* (AAIB), dans ses conseils à la police et aux services de secours, indique que « la couverture des lieux devrait comprendre une vue d'ensemble du site ainsi que des gros plans de l'épave, notamment du poste de pilotage, et des corps »¹.

Les petits appareils-photo conviennent parfaitement à cette tâche, puisqu'ils sont légers, peu coûteux et relativement faciles à utiliser. Non seulement ces appareils donnent des images en couleur à haute résolution, mais l'arrivée des appareils numériques ayant d'importantes capacités de stockage permet maintenant de prendre des centaines d'images de haute qualité. Grâce aux avancées de la photographie

numérique et des programmes d'analyse des données, de telles images permettent d'obtenir des données beaucoup plus détaillées. Non seulement on peut photographier les lieux, mais l'utilisation de logiciels de photogrammétrie comme *PhotoModeler™* permet d'obtenir des mesures de haute précision pendant la phase d'analyse qui se déroule hors des lieux de l'accident. Ce type d'analyse des données fournies par les images est appelé photogrammétrie, que l'on définit comme « le processus qui consiste à obtenir des renseignements sur la position d'objets par dérivation des mesures d'un objet faites sur des photographies »².

« Les petits appareils-photo conviennent parfaitement à cette tâche, puisqu'ils sont légers, peu coûteux et relativement faciles à utiliser. »

De nos jours, les équipes de la police britannique chargées des enquêtes sur les accidents de la route utilisent couramment des stations totales (des instruments d'arpentage de précision qui mesurent les distances et les angles jusqu'à une cible donnée) et on voit de plus en plus souvent de telles stations sur les lieux d'importants accidents aériens. Grâce à ces stations totales, il est possible de faire un relevé des lieux d'un accident à partir d'un rayon laser qui permet de calculer les angles et les distances entre une position connue et une cible.

Si le balayage par faisceau laser ne peut en lui-même produire un relevé précis d'une épave, il permet néanmoins d'obtenir une modélisation tridimensionnelle précise. Par conséquent, si cette technique n'est pas utilisée comme moyen de faire un relevé sur place, elle sert à la reconstitution d'accidents.

Spatial Imaging est le nom donné par *Trimble™* à son système qui utilise des vues tridimensionnelles et des mesures de positionnement captées à la hauteur des yeux. Autrement dit, il s'agit de stations totales, de scanners laser et d'appareils-photo numériques réunis en un seul instrument d'arpentage de précision. Bien que n'étant pas utilisés actuellement comme moyen de produire un relevé pendant les enquêtes sur les lieux d'accidents aériens, les systèmes *Spatial Imaging* servent dans d'autres genres

d'enquête et pourraient avoir les capacités et les fonctionnalités nécessaires pour que l'enquêteur chargé d'un accident aérien puisse faire un relevé des lieux.

Scénario d'évaluation

La présente recherche visait à établir si l'imagerie spatiale était un moyen approprié de faire un relevé des lieux pendant l'enquête sur un accident aérien. Pour ce faire, un scénario bien précis a été créé de manière à ce que l'imagerie spatiale et les techniques de photogrammétrie puissent servir à faire un relevé des lieux et que les résultats obtenus puissent ensuite être comparés à ceux obtenus par les moyens traditionnels de production de relevé des lieux.

Afin que l'évaluation puisse reposer sur des données crédibles, les lieux d'un accident simulé ont été préparés sur le terrain d'aviation de Cranfield, dans le Bedfordshire, au R.-U. Grâce au *Safety and Accident Investigation Centre* de l'université Cranfield, les lieux d'un petit accident typique de l'aviation générale ont été reproduits sur le terrain adjacent à la piste principale à l'aide de l'épave d'un *Piper Saratoga*. Si l'épave était celle d'un avion ayant été réellement accidenté, elle n'avait d'autre but que de fournir une épave réaliste comme on en trouve dans les petits accidents de l'aviation générale.



Pour évaluer la précision des deux systèmes soumis à l'essai, un certain nombre de mesures témoins ont été faites sur l'épave. Ces mesures ont été obtenues avant le balayage laser et la prise de photographies, et elles ont fait appel aux traditionnels rubans à mesurer et techniques d'arpentage. Ces mesures ont fait l'objet d'une vérification et d'un contrôle indépendants et elles n'ont été communiquées ni aux techniciens chargés du balayage laser ni au photographe s'occupant de la photogrammétrie.

Photographie

Rassembler les images destinées à la photogrammétrie numérique a été la technique la plus simple de l'essai. Il a suffi que l'assistant en charge de l'essai utilise un appareil-photo *Canon EOS 400D* ordinaire réglé en mode automatique et qu'il prenne une série de photos tout autour des lieux de l'accident, tant au niveau des yeux que depuis l'arrière d'un camion. L'assistant n'a eu besoin ni de préparation ni de formation préalables. Au total, plus de 100 photos ont été prises, mais seules 12 ont été importées dans le logiciel *PhotoModeler* afin de pouvoir en extraire les mesures. Il a fallu



Matériel d'arpentage

20 minutes pour prendre ces photos, une durée qui a été jugée réaliste. Malgré une température relativement froide de + 4 °C, la pile ordinaire a tenu le coup pendant toute la durée de l'essai.

Balayage laser

Il a fallu environ 20 minutes aux techniciens chargés du balayage laser pour évaluer les lieux et installer leur matériel en vue du premier balayage. Ils ont décidé de faire trois balayages des lieux depuis trois angles différents afin d'obtenir un nuage complet de points tridimensionnels. La programmation des lieux dans le scanner a pris environ 5 minutes à l'aide du boîtier de commande portatif, après quoi l'instrument a été laissé en mode automatique pour procéder aux balayages. Pour chacun d'entre eux, la capture des données a duré 20 minutes. Il a également fallu 15 minutes entre chaque balayage pour repositionner le scanner. Au total, il a fallu passer deux heures et demie sur place pour effectuer les balayages et obtenir le relevé des lieux et de l'épave.

Si ce sont des techniciens qui ont effectué les balayages laser, il est apparu clairement tout au long de l'opération qu'un seul opérateur dûment formé aurait été en mesure

de s'acquitter de cette tâche. Malgré un processus ayant semblé complexe au début, des

discussions avec les techniciens à la fin de l'opération ont montré que le processus était hautement automatisé et que n'importe qui devrait être capable d'effectuer les balayages laser après aussi peu qu'une journée de formation.

Résultats

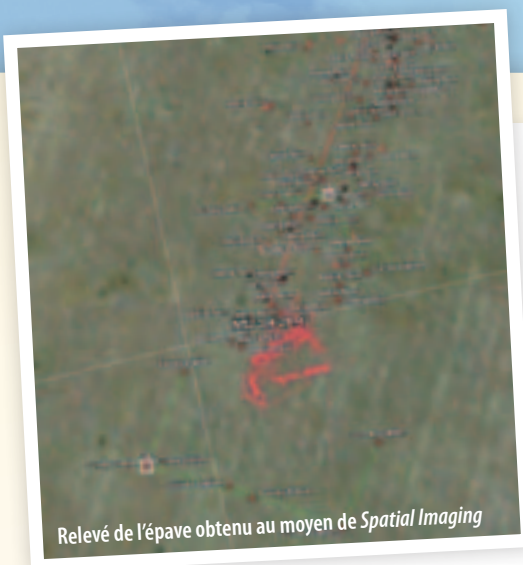
Les deux méthodes mises à l'essai ont permis d'obtenir un relevé des lieux, mais en fonction de normes différentes. Pour ce qui est de la capacité d'extraire des mesures, les deux méthodes ont été en mesure de produire des mesures extrêmement précises, bien que la photogrammétrie ait demandé 10 fois plus de temps dans la phase de post-traitement. La capture des images destinées à l'analyse photogrammétrique a été rapide et n'a exigé que très peu de moyens, simplement un petit appareil-photo numérique et un opérateur peu ou pas formé.

La méthode de la photogrammétrie a souffert d'une grave contrainte, à savoir l'impossibilité de convertir les données captées en une représentation graphique de l'épave. Bien que les images aient bien capté une partie du sillon laissé par l'épave et que la photogrammétrie puisse mesurer les positions de certains des gros débris, cette dernière n'a pas pu donner une représentation graphique de la qualité de celle obtenue grâce aux systèmes utilisant l'imagerie spatiale. La photogrammétrie est avant tout conçue pour permettre aux mesures d'être extraites de photographies hors des lieux de l'accident.

Compte tenu de la précision du récepteur GNSS *Trimble™* R8, la représentation graphique a été d'une précision exceptionnelle. D'après les données enregistrées, la précision des positions était de l'ordre de 20 mm ou moins horizontalement. Non seulement cette précision a permis d'obtenir une représentation graphique précise de l'épave, mais elle a aussi permis d'obtenir un



Capture d'écran de PhotoModeler 6.5



relevé de la forme et du relief de l'épave. Une telle propriété pourrait se révéler très utile pour un enquêteur devant travailler ailleurs que sur un terrain d'aviation plat. Les techniciens ont été capables d'allouer des codes à chaque morceau bien précis de l'épave à l'aide d'un appareil-photo *Bluetooth* et ils auraient pu télécharger automatiquement une photographie corrélée à un fichier connexe. Ce type d'enregistrement à l'aide d'un appareil-photo *Bluetooth* n'a pas été évalué au cours de l'essai, mais voilà un domaine de recherches futures qui pourrait permettre de savoir s'il s'agit là d'une méthode adaptée au relevé des lieux d'un accident faisant l'objet d'une enquête.

Une fois les données dans l'ordinateur, *RealWorks™* a automatiquement créé les nuages de points tridimensionnels et, bien qu'au début l'ensemble logiciel ait paru un peu déconcertant, il n'a pas fallu beaucoup de temps à l'enquêteur pour savoir comment utiliser le logiciel pour voir et extraire des données très utiles.

Les mesures présentées dans le tableau 1 ont été très faciles à obtenir et il a fallu à peine 30 minutes au système d'imagerie spatiale pour procéder à leur extraction complète. La photogrammétrie a quant à elle demandé plus de temps.

Conclusions

L'imagerie spatiale présente un certain nombre d'avantages par rapport à la photographie numérique et à la photogrammétrie classique. Cette méthode permet d'obtenir une représentation extrêmement détaillée des lieux et, en superposant les images numériques captées aux données du nuage qui sont générées, l'enquêteur dispose d'une véritable représentation tridimensionnelle des

lieux de l'accident. Une fois réglé, le scanner peut fonctionner sans que l'enquêteur ait à intervenir beaucoup, et le scanner peut capter la scène pendant que l'enquêteur prépare une représentation graphique de l'épave en utilisant un récepteur GNSS. Si la représentation ainsi obtenue est d'une précision remarquable, on peut toutefois se demander si une telle précision est absolument nécessaire au cours d'une enquête d'accident aérien, mais cette méthode donne une représentation graphique de l'épave beaucoup plus précise que celle obtenue avec un ruban à mesurer et les techniques d'arpentage classiques que l'on utilise aujourd'hui³.

« Cette méthode permet d'obtenir une représentation extrêmement détaillée des lieux et, en superposant les images numériques captées aux données du nuage qui sont générées, l'enquêteur dispose d'une véritable représentation tridimensionnelle des lieux de l'accident. »

Critères	Mesures faites sur place (m)	Mesures obtenues en photogrammétrie à images multiples (<i>PhotoModeler™</i>) avec étalonnage de l'appareil-photo (m)	Mesures obtenues avec la station <i>Spatial Imaging Trimble™ VX</i>
A	0,5000	0,532 (+0,032) ou +6 %	0,517 (+0,017) ou +3,2 %
B	0,250	0,264 (+0,014) ou +5,3 %	0,261 (+0,011) ou +4,1 %
C	0,500	0,499 (-0,001) ou -0,2 %	0,498 (-0,002) ou -0,4 %
D	0,250	0,274 (+0,024) ou +8,7 %	0,262 (+0,012) ou +4,5 %
E	0,500	0,515 (+0,015) ou +2,9 %	0,492 (-0,008) ou -1,6 %
F	0,860	0,867(+0,007) ou +0,8 %	0,867 (+0,007) ou +0,8 %
G	1,060	1,073 (+0,013) ou +1,2 %	1,064 (+0,004) ou +0,3 %
		Pourcentage d'erreur : 3,5 %	Pourcentage d'erreur : 1,55 %

Tableau 1 – Comparaison des mesures sur les lieux avec les résultats de la photogrammétrie à images multiples

Par rapport à l'utilisation d'un appareil-photo numérique ordinaire et à l'analyse photogrammétrique, l'imagerie spatiale présente l'inconvénient de ne pas se suffire d'un équipement portatif. Sans un bon accès aux lieux de l'accident, les enquêteurs risquent d'avoir du mal à amener tout l'équipement nécessaire sur place. Et pendant le balayage laser, le dispositif ne doit être soumis à aucune influence extérieure. Au cours de l'essai, l'enquêteur a touché par mégarde un montant du trépied du scanneur, et le léger déplacement de ce montant a suffi pour rendre le balayage inutilisable, ce qui a obligé à recommencer l'opération.

La technologie de l'imagerie spatiale n'est pas bon marché, et un dispositif comme celui utilisé dans la présente recherche coûte environ 80 000 £. Il ne faut pas s'attendre à ce qu'un grand nombre de services d'enquête sur des accidents aériens puissent s'offrir suffisamment de dispositifs pour pouvoir en utiliser dans tous les accidents aériens⁴. De tels systèmes ont pourtant des qualités

exceptionnelles et pourraient offrir aux enquêteurs des moyens additionnels lorsque les lieux d'accident ont de grandes dimensions.

La photogrammétrie numérique ne convient pas parfaitement à la création d'une représentation graphique des lieux et de l'épave, et elle sert généralement quand l'enquêteur a besoin d'une mesure qui n'a pas été faite sur les lieux de l'accident. Dans de telles situations, l'enquêteur sait les mesures dont il a besoin et il peut alors recourir à la photogrammétrie pour les extraire. Cette méthode se prête d'elle-même à ce genre d'utilisation. Contrairement au système d'imagerie spatiale où les mesures peuvent être faites de n'importe quel point avec un minimum de traitement, l'opérateur qui fait appel à la photogrammétrie doit savoir quoi mesurer avant de commencer à bâtir une image. Compte tenu de cette contrainte, il est probable que la photogrammétrie continuera à être utilisée pour fournir à l'enquêteur les mesures qui n'ont pas été faites sur place.

On peut se dire que tant l'imagerie spatiale que la photogrammétrie ont leur place dans les enquêtes sur des accidents aériens. Avec ses ressources illimitées, l'imagerie spatiale a montré qu'elle pouvait produire des modèles fiables permettant d'effectuer des mesures précises, en plus d'avoir l'avantage par rapport à la photogrammétrie de pouvoir créer une représentation graphique très précise

« ... l'opérateur qui fait appel à la photogrammétrie doit savoir quoi mesurer avant de commencer à bâtir une image. »

de l'épave. Bien que ne convenant pas à tous les lieux d'accident, l'imagerie spatiale fait appel à une technologie qui offre à l'enquêteur de nombreux avantages par rapport aux techniques d'arpentage traditionnelles. Plutôt que de remplacer les rubans et les moyens d'arpentage ordinaires et la photogrammétrie, l'imagerie spatiale devrait plutôt être vue comme une méthode complémentaire offrant des avantages considérables par rapport aux moyens traditionnels dans certains scénarios d'accident.

Références

1. Department for Transport, Air Accidents Investigation Branch, *Aircraft Accidents – Guidance for the Police, Emergency and Airfield Operators*, Farnborough, 2008.
2. MM. Mickhail, Bethel et McGlone, *Introduction to modern photogrammetry*, Wiley, New York, 2001.
3. G. Poole et P. Venter, *Measuring accident scenes using laser scanning systems and the use of scan data in 3-D simulation and animation*, rapport de recherche, TRL, Wokingham, 2000.
4. Entretien de M. Graham Hamilton menée par M. John Shallcroft, enquêteur sur les accidents aéronautiques, Royal Navy Flight Safety and Accident Investigation Centre, le 1^{er} juin 2010.

« La technologie de l'imagerie spatiale n'est pas bon marché, et un dispositif comme celui utilisé dans la présente recherche coûte environ 80 000 £. »

Analyse d'une trajectoire de vol à l'aide de la localisation vidéo et du suivi du mouvement

par le Major Adam Cybanski, Adjoint au chef de section à la promotion et à l'information, Direction de la sécurité des vols, Ottawa

Le Major Cybanski est un pilote d'hélicoptère tactique qui possède plus de 20 ans d'expérience et qui totalise plus de 2500 heures de vol sur des appareils à voilure fixe ou tournante comme le CT114 Tutor, le CH139 Jet Ranger, le CH135 Twin Huey et le CH146 Griffon. Il a été affecté à Haïti comme spécialiste des lunettes de vision nocturne et pilote d'essai après maintenance, et il s'est occupé du simulateur de vol complet du CH146 Griffon. Diplômé du Cours sur les systèmes aérospatiaux, il est titulaire d'un baccalauréat en sciences spécialisé en mathématiques informatiques de l'université Carleton.

Dans le cadre d'une enquête sur la sécurité des vols, les représentations visuelles des trajectoires de vol extraites des enregistreurs de données de vol (FDR) peuvent servir à confirmer les déclarations des témoins, à déterminer des profils de vol, à établir les tracés au sol, à harmoniser les données radar aux renseignements des témoins et aux données du FDR ainsi qu'à présenter les leçons apprises de manière rapide et intuitive, non seulement aux pilotes du type

d'aéronef visé, mais aussi à un public élargi. Malheureusement, nombre d'aéronefs ne sont toujours pas équipés de FRD polyvalents et leurs pilotes utilisent uniquement un affichage tête haute (HUD) ou une caméra vidéo dans le poste de pilotage pour documenter les vols. Pour cette raison, la Direction de la sécurité des vols des Forces canadiennes a mis au point un nouvel outil pour extraire des données positionnelles tridimensionnelles des séquences vidéos en question à l'aide de photogrammétrie et du suivi du mouvement, et elle utilise l'outil en question pour établir la représentation visuelle d'un événement dans le cadre d'enquêtes ou de promotions.

Atterrissage d'une formation de CT155 Hawk, Sioux Falls (Dakota du Sud)

La mission en question visait une formation de deux avions Hawk décollant de Moose Jaw à destination de Sioux Falls (Dakota du Sud) où les appareils devaient atterrir aux fins d'avitaillement. En finale, tout juste avant l'arrondi, l'avion numéro deux est



entré dans le sillage aérodynamique du premier appareil, et l'extrémité de son aile a heurté la piste. Son équipage a donc remis les gaz, déclaré une situation d'urgence et réintégré le circuit d'aérodrome pour exécuter un nouvel atterrissage en toute sécurité.

« En finale, tout juste avant l'arrondi, l'avion numéro deux est entré dans le sillage aérodynamique du premier appareil, et l'extrémité de son aile a heurté la piste. »

Le CT155 *Hawk* n'est pas équipé d'un FDR, mais, heureusement, l'incident en question avait été enregistré au moyen du HUD. La vidéo du HUD pouvait s'avérer utile pour témoigner des dangers du sillage aérodynamique lors de vols en formation, mais une animation présentant l'incident vu de l'arrière, de haut en bas, de la tour et du poste de pilotage donnerait une bien meilleure idée de l'ensemble des conditions, de la situation et des mesures d'intervention.

Extraction informatisée des données du HUD

Le logiciel *SynthEyes* a été utilisé pour analyser la vidéo. Des capteurs de position ont été placés aux points marquant une inclinaison de -45, -30, -15, -5, 0, 5, 15, 30 et 45 degrés, et leurs positions sur les axes x et y ont été exportées à l'aide du logiciel. Ensuite, un capteur mobile a été placé à l'extrémité de l'indicateur d'inclinaison triangulaire, ce qui a donné un chiffrier électronique présentant la position de l'indicateur triangulaire dans chacune des images de la vidéo. À l'aide d'une formule mathématique qui tenait compte de la courbe de l'échelle d'inclinaison, on a calculé par interpolation la valeur des inclinaisons pour chacune des images de la vidéo. La localisation d'autres symboles du HUD a également permis d'obtenir, image par image, des paramètres semblables à ceux du FDR d'un aéronef.

Des capteurs ont également été placés aux points séants des volets et des ailes de l'avion de tête, et les données des axes x et y correspondants ont été étudiées. À certains endroits dans la vidéo, l'avion ne pouvait pas être vu dans son ensemble, en raison d'une hyperluminosité

qui empêchait les capteurs de rester sur l'objectif. Grâce à une amélioration du contraste, il a été possible de localiser les composants de l'avion. Un modèle tridimensionnel du *Hawk* a été importé du logiciel et superposé à l'avion de la vidéo. Même si l'avion n'était pas assez près de la caméra pour pouvoir mesurer sa distance et son orientation tout au long de la séquence, on a tout de même atteint l'objectif visé en partie, ce qui indique que la méthode en question pourrait être utile pour établir la position et l'orientation d'un avion dans l'espace en se fondant uniquement sur une vidéo.

Une fois la représentation visuelle versée dans le simulateur de vol, il s'est avéré que la perspective du pilote correspondait étroitement à celle de la vidéo du HUD. La représentation visuelle a été sauvegardée dans le simulateur de vol selon divers angles de la caméra, vue notamment de haut en bas, de l'arrière, de la tour et d'une caméra virtuelle située au point de toucher des roues sur la piste. Les plans ont été synchronisés et mixés à la séquence HUD originale, à l'aide du logiciel *AfterEffects* d'Adobe. Il était évident que l'analyse pouvait donner une représentation visuelle tridimensionnelle du contenu de la vidéo, offrant ainsi beaucoup plus de renseignements sur l'incident que la vidéo originale du HUD.



Localisation de l'angle d'inclinaison



Localisation informatisée de l'avion



Représentation visuelle finale



Photo prise par un témoin



Localisation des traits caractéristiques du terrain dans la vidéo n° 1



Sélection de traits caractéristiques du terrain

CF188738 Hornet, Lethbridge (Alberta)

Durant une répétition en vue d'un spectacle aérien à l'aéroport du Comté de Lethbridge, CF188738 a perdu la poussée de son moteur droit alors qu'il effectuait un passage à angle alpha élevé, à 300 pieds au-dessus du sol. Le pilote n'était pas au courant du problème, mais il sentait que l'appareil perdait de l'altitude; il a donc réglé

les deux manettes des gaz à la puissance militaire pour freiner la descente. L'avion a continué à perdre de l'altitude, et le pilote a appliqué une pleine postcombustion à l'aide des deux manettes des gaz. L'avion a immédiatement commencé à dériver vers la droite dans l'axe de lacet et a rapidement poursuivi son mouvement de lacet et de roulis vers la droite malgré les compensations faites par le pilote au manche et au palonnier. L'avion se trouvait à environ 150 pieds AGL et à une inclinaison de près de 90 degrés, lorsque le pilote s'est éjecté. L'avion a poursuivi son mouvement de lacet et de roulis vers la droite, et il est descendu en spirale

jusqu'à ce que le nez heurte le sol. L'éjection et la séparation siège-pilote se sont déroulées sans heurt, mais le pilote a été blessé dans le cadre d'un atterrissage dur sous une voilure complètement ouverte et stable.

L'avion CF188 Hornet n'est pas équipé d'un FDR, ni d'instrumentation de suivi de la manœuvre de combat aérien (ACMI). Une bonne partie

des données de maintenance a été détruite dans l'écrasement de l'avion. Seules des vidéos et des photos prises de l'extérieur offraient des détails sur le vol et la trajectoire de l'avion accidenté. Heureusement, c'était la journée des médias à l'aéroport, et l'écrasement a été saisi sous divers angles. On a donc décidé que, tout au long de l'accident, la position de l'avion serait déterminée à l'aide de la triangulation.

Triangulation

Le *Petit Robert* définit la triangulation comme étant une « opération géodésique consistant à diviser un terrain en triangles (canevas) dont on opère successivement la résolution, à partir d'un côté directement mesuré (base) en utilisant le nivellement trigonométrique ». Dans le cas présent, on connaissait la position de deux vidéographes, et il était possible de calculer le cap de chacun d'eux par rapport à l'avion accidenté grâce à l'interpolation de points de repère connus au sol.

« Le *Petit Robert* définit la triangulation comme étant une "opération géodésique consistant à diviser un terrain en triangles (canevas) dont on opère successivement la résolution, à partir d'un côté directement mesuré (base) en utilisant le nivellement trigonométrique." »



Sélection des traits caractéristiques dans la première image panoramique



Points de référence de la vidéo n° 2

Il fallait d'abord passer en revue la vidéo n° 1 au moyen de *Syntheyes* pour localiser le centre de l'avion. Des traits caractéristiques du terrain, comme les deux arbres et un buisson, ont été localisés tout au long de la vidéo.

On a ensuite marqué sur une image satellite l'emplacement de chaque caméra et la localisation des principaux traits caractéristiques du terrain.

Afin de déterminer le cap de l'avion, sa position devait être interpolée entre deux caps connus sur chacune des images. Malheureusement, la vidéo comportait rarement deux traits caractéristiques importants dans une même image. Par conséquent, on a eu recours à des nuages aux traits distinctifs pour établir une référence

du cap de l'avion. Comme les nuages ne s'étaient pas beaucoup déplacés au cours des trente secondes que durait la vidéo, on pouvait utiliser ceux-ci comme points de repère relativement stables. Par conséquent, ces nuages ont également été localisés à l'aide de *Syntheyes*.

Un modèle des images vidéo a été assemblé à l'aide de *Photoshop*

pour former une toile de fond panoramique comprenant tous les traits caractéristiques du sol et des nuages. Le cap pouvait donc être ainsi déterminé par une interpolation des caps relatifs aux traits caractéristiques au sol ou dans les nuages.

La vidéo n° 2 a été soumise au même processus, et on y a relevé d'importants traits caractéristiques au sol et dans les nuages. Les données des points de localisation ainsi relevés ont été sauvegardées et importées dans le logiciel *Excel*.

Les données ont été transférées dans un chiffrier électronique qui contenait la position horizontale et verticale de l'avion, la position et le cap d'un point de repère au sol ou dans les nuages à gauche

de l'avion, de même que la position et le cap d'un point de repère au sol ou dans les nuages à droite de l'avion, pour chacune des images de la vidéo. Le cap de l'avion a ensuite été déterminé par une interpolation, au moyen des caps des points de repère au sol ou dans les nuages.

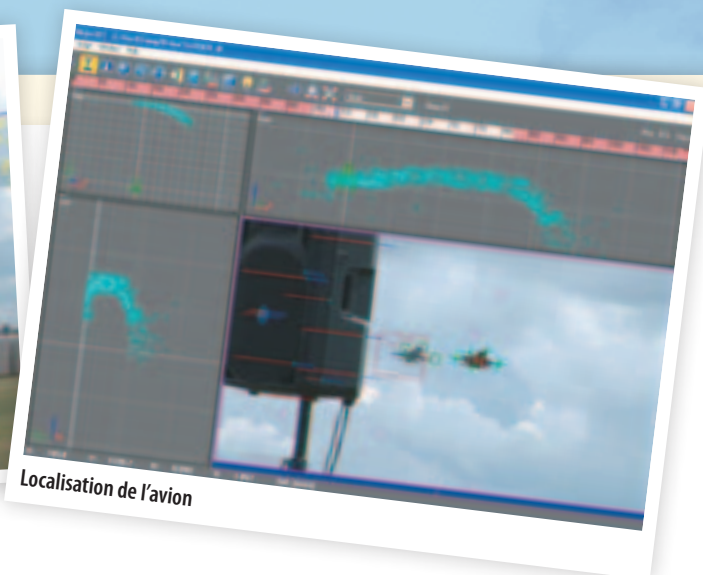
Par la suite, on a procédé à la synchronisation des données provenant des deux caméras. L'image 1574 de la vidéo n° 1 et l'image 800 de la vidéo n° 2 montrent distinctement l'éjection du siège du pilote. À l'aide de la latitude, de la longitude et du cap déterminant l'emplacement de chacune des deux caméras, on a calculé la latitude et la longitude de l'avion pour chacune des images, au moyen de la formule des lignes radiales sécantes qui est fondée sur la Règle du cosinus sphérique.

Les données, notamment les références temporelles, la latitude, la longitude et le cap, ont été

« Un modèle des images vidéo a été assemblé à l'aide de *Photoshop* pour former une toile de fond panoramique comprenant tous les traits caractéristiques du sol et des nuages. »



Suivi du mouvement de la caméra



Localisation de l'avion

versées dans le simulateur de vol (Microsoft *Flight Simulator X*). On a établi une séquence du vol, vu de haut en bas. Durant le traitement qui a suivi (Adobe *AfterEffects*), on a tracé une ligne orange entre l'avion et l'emplacement de la caméra vidéo n° 1 ainsi qu'une ligne jaune entre l'avion et l'emplacement de la caméra vidéo n° 2. Les séquences vidéo synchronisées provenant de chacune des caméras étaient également affichées dans les coins, délimitées par un cadre correspondant aux mêmes couleurs. La trajectoire de vol ainsi créée semblait acceptable, et elle correspondait à la trajectoire sud-ouest réelle de l'avion.

Suivi du mouvement

Il est possible de déduire beaucoup plus que les seules position et altitude au moyen des vidéos. Depuis longtemps, Hollywood utilise une technique de suivi du mouvement dans le tournage de ses films, afin d'ajouter des effets numériques réalistes aux prises de vues saisies à l'aide d'une caméra à l'épaule. Dans le procédé en question, on suit les pixels un à un dans le film ou la séquence vidéo, puis le panoramique horizontal, le panoramique vertical, le zoom et le mouvement de la caméra par rapport à la scène sont calculés mathématiquement. On a donc eu recours au processus de suivi du mouvement en question pour déduire la hauteur, la position, l'assiette en tangage, l'inclinaison et le cap de l'avion tout au long de la séquence vidéo traitant de l'écrasement.

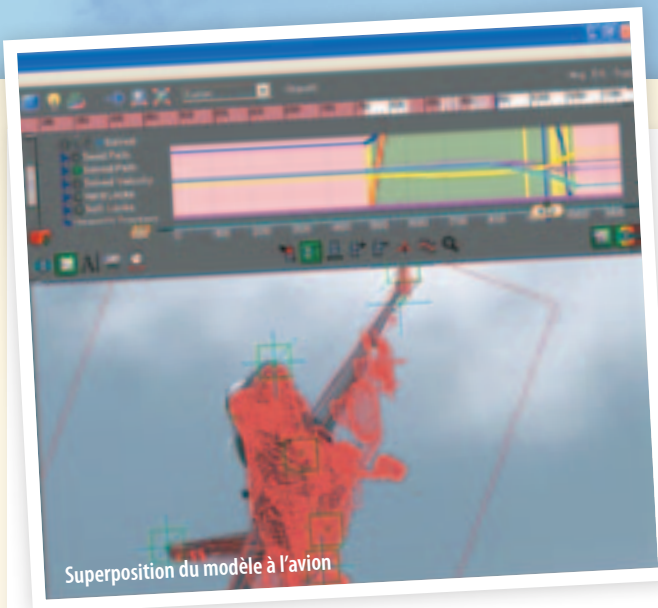
Avant de pouvoir calculer le déplacement de l'avion, il faut établir le mouvement de la caméra. On peut ainsi s'assurer qu'un tremblement de la caméra ne sera pas interprété comme étant un brusque mouvement

vertical de l'avion. Comme l'avion se déplace indépendamment de la caméra et de l'arrière-plan, on dessine un rectangle autour de l'appareil pour exclure ce dernier et l'empêcher d'avoir une incidence sur les capteurs qui servent à calculer le mouvement de la caméra.

Une fois l'analyse de la caméra achevée, le logiciel connaît exactement les mouvements de la caméra pendant le tournage de la vidéo, et ce, sur le plan vertical et horizontal, vers l'avant et l'arrière, selon le panoramique vertical, le panoramique horizontal, l'inclinaison latérale et le zoom. Une fois ces paramètres établis, on peut commencer l'analyse des mouvements de l'avion (suivi du mouvement de l'objet).

Cette fois, on n'assure pas le suivi de la scène; des capteurs sont placés sur l'avant, l'empennage, l'extrémité des ailes, les tuyères d'éjection et d'autres points de repère bien visibles de l'avion. Un modèle tridimensionnel de l'avion est importé, et l'on fait correspondre les capteurs de l'avion

« Depuis longtemps, Hollywood utilise une technique de suivi du mouvement dans le tournage de ses films, afin d'ajouter des effets numériques réalistes aux prises de vues saisies à l'aide d'une caméra à l'épaule. »



aux mêmes points du modèle, c'est-à-dire l'avant, l'empennage, l'extrémité des ailes, etc. On programme ensuite le logiciel pour qu'il règle le modèle en fonction de la position, de la hauteur ainsi que des mouvements en tangage, en roulis et en lacet de l'avion dans la vidéo.

Le logiciel superpose le modèle fil de fer à l'avion dans la vidéo pour valider visuellement la position des capteurs et le suivi du mouvement. La position, la hauteur et l'assiette ainsi calculées par le logiciel peuvent être utilisées comme le seraient les données du FDR, et analysées

« La triangulation et le suivi du mouvement sont complémentaires. La triangulation est utile pour établir un modèle de la trajectoire de vol lorsque l'avion est très petit dans l'image. »

pour calculer les paramètres de vol comme la vitesse sol, le cap, la vitesse angulaire de roulis et d'autres renseignements.

La triangulation et le suivi du mouvement sont

complémentaires. La triangulation est utile pour établir un modèle de la trajectoire de vol lorsque l'avion est très petit dans l'image. À une telle distance, le logiciel de suivi du mouvement n'est pas en mesure de relever les changements d'assiette ou de distance de l'aéronef. Le suivi du mouvement est utile lorsque l'avion remplit l'image, et qu'il est relativement près de la caméra.

Il peut donner des renseignements détaillés sur l'assiette, qui pourront servir à la représentation visuelle ou être fusionnés à d'autres données, comme dans une simulation.

Conclusion

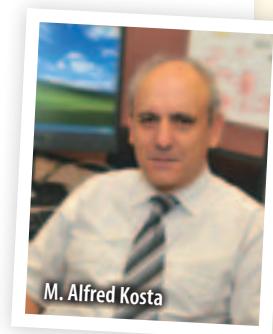
Il y a de plus en plus de sources vidéo pouvant saisir un incident aérien : des caméras et des appareils-photos, des téléphones intelligents ou des iPod, de même que des systèmes de surveillance de la sécurité et de l'aéroport. De nombreux aéronefs sont équipés de systèmes embarqués permettant d'enregistrer le HUD ou des images du poste de pilotage. L'analyse d'une seule vidéo peut

produire un nombre considérable de données qui seront utiles à l'enquête. On peut avoir recours à l'analyse d'images vidéo pour confirmer des données de vol extraites du FDR et, en l'absence de ce dernier, elle peut même le remplacer.

Une seule vidéo peut contenir nombre de renseignements, mais d'autres vidéos ou photos prises de divers endroits peuvent révéler, par la triangulation ou d'autres processus, d'autres renseignements qui, à défaut, passeraient inaperçus. Une telle fusion des données issues de diverses sources peut être bonifiée en la jumelant à des données extraites d'un FDR, d'un radar ou d'une simulation pour produire une représentation optimale de l'événement.

Même une simple vidéo peut révéler les paramètres du dernier vol d'un avion, grâce au suivi du mouvement. Ces données peuvent être versées dans un simulateur pour obtenir une représentation visuelle de l'événement sous tous ses angles, y compris du poste de pilotage. La représentation visuelle est essentielle pour comprendre les circonstances qui ont mené à l'accident et pour aider d'autres intéressés à éviter que l'accident se reproduise. À titre d'outils complémentaires, l'analyse de la vidéo et la représentation visuelle offrent un potentiel énorme pour appuyer les enquêtes et améliorer la sécurité des vols.

Analyse des tendances et méthodes statistiques à la sécurité des vols



par M. Alfred Kosta, Statisticien, Direction de la Sécurité des vols, Ottawa

M. Kosta travaille actuellement comme statisticien pour le compte de la DSV. Il est titulaire d'une maîtrise en mathématiques du « Institute of Mathematics and Statistics » d'Ottawa-Carleton. Il a enseigné les mathématiques à l'université de Tirana et il a été analyste du contrôle de la qualité des logiciels d'intelligence décisionnelle [Business Intelligence] pour Cognos à IBM.

Les données sur les événements sont tirées du Système de gestion d'événements liés à la sécurité des vols (SGESV) et d'autres bases de données. Le présent article décrit certaines méthodes de statistique descriptive et déductive utilisées par la DSV. La statistique descriptive est la branche des statistiques qui décrit et analyse un groupe donné sans tirer de conclusions sur un groupe plus important. Les méthodes graphiques et les mesures descriptives numériques font partie de la statistique descriptive. Si des conclusions importantes sur une population sont déduites à partir de l'analyse d'une partie donnée de la population (l'échantillon), la branche des statistiques alors utilisée est la

statistique déductive. Les valeurs estimatives des intervalles de confiance, les tests statistiques et le niveau du caractère aléatoire d'une série de données font partie de la statistique déductive.

Les statistiques suivantes ont été calculées à partir de données réelles du SGESV.

Méthodes graphiques

Voici certaines techniques graphiques utilisées à la Sécurité des vols : graphiques à secteur, graphiques à barre, graphiques chronologiques, histogrammes, etc.

Graphiques à secteurs

Les données d'un graphique à secteurs devraient être disposées de façon à ce que chaque observation tombe dans une catégorie de la variable. Par exemple :

	Rapports initiaux
Derniers 3 mois	134
Derniers 6 mois	46
Derniers 9 mois	48
Derniers 12 mois	26
Total	254

Tableau 1 – Nombre de rapports initiaux

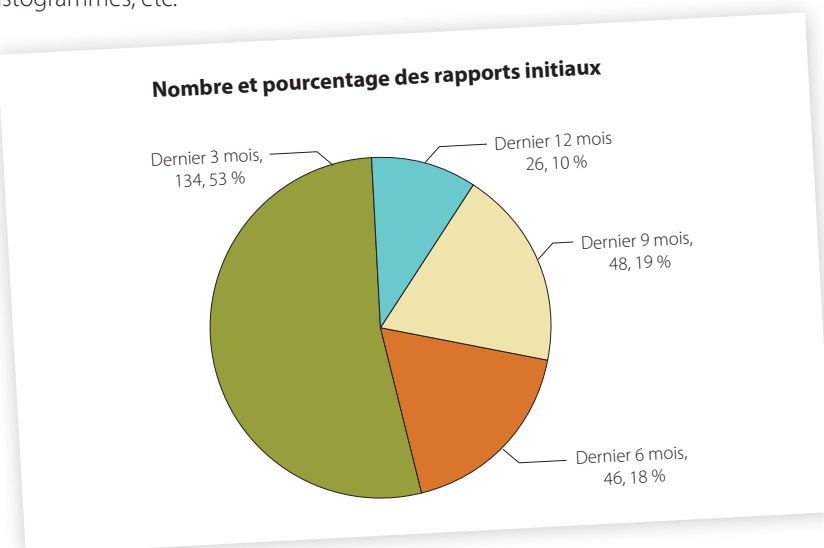


Figure 1 – Graphique à secteurs des rapports initiaux

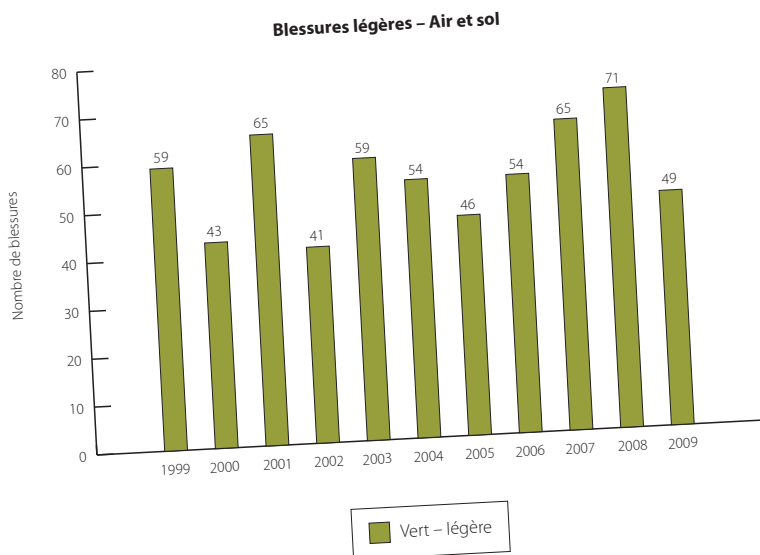


Figure 2 – Blessures légères de 1999 à 2009

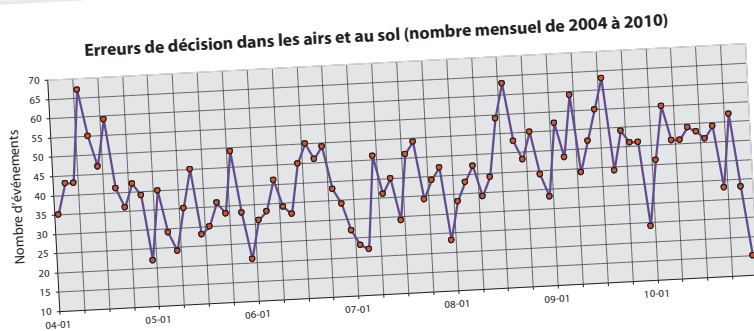


Figure 3 – Nombre mensuel d'événements causés par des erreurs de décision (dans les airs et au sol)

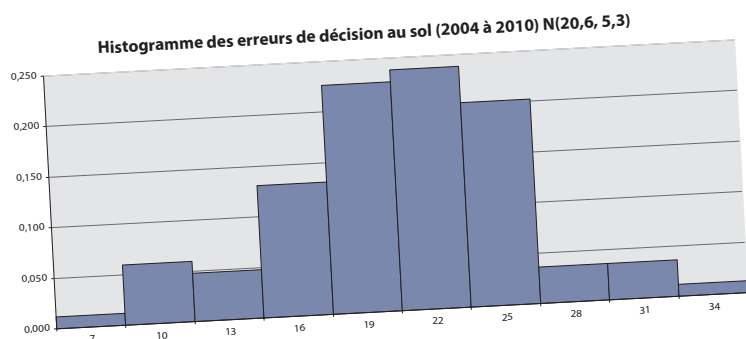


Figure 4 – Histogramme du nombre mensuel d'événements au sol causés par des erreurs de décision (2004 à 2010)

Graphiques à barres

Les graphiques à barres sont souvent utilisés dans les rapports annuels. La figure 2 montre le nombre de blessures légères de 1999 à 2009.

Graphiques chronologiques

Un graphique chronologique est une méthode qui permet de présenter les changements d'une variable au fil du temps (Figure 3).

Histogrammes

Un histogramme est établi en regroupant les données par intervalle et en calculant la fréquence relative de chaque intervalle. L'axe des X constituant le centre des intervalles et l'axe Y, la fréquence relative, un histogramme dont l'espacement est de 0 est créé. L'histogramme est une approximation de la distribution théorique. Il pourrait être en cloche, symétrique, asymétrique, en biais, etc. En se fondant sur l'histogramme, des études précédentes ou des éléments théoriques, une hypothèse sur la distribution théorique est formulée et mise à l'essai. La figure 4 présente un histogramme lié à la distribution normale $N(20,6, 5,3)$.

Mesures de tendance centrale et variation

La statistique descriptive comprend également des mesures descriptives numériques comme les moyennes ou les *mesures de la tendance centrale*

Année	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Moyenne
Rapports remplis	2774	2811	3045	2904	2786	2844	2990	2637	2691	2931	2841

Moyenne = (2774 + 2811 + [...] + 2931) / 10 = 2841

Les valeurs 5, 5, 7, 9, 11, 12, 15, 18 ont une médiane de (9+11)/2=10, un mode de 5 (la plus grande fréquence) et une moyenne de 10,25.

Tableau 2 – Les moyennes statistiques

et les *mesures de variation*. Plusieurs types de moyenne peuvent être définis, le plus commun étant la *moyenne (arithmétique)*, la *médiane* et le *mode*. Le tableau 2 ci-dessus clarifient ces concepts.

Il existe de nombreux types de mesures de variation : *intervalle*, *centiles*, *variance*, *écart-type*, etc. La variance et l'écart-type sont les deux mesures les plus utiles.

La *variance* d'un ensemble de n mesures $y_1, y_2, \dots, y_n, \bar{y}$ étant la moyenne, s'obtient par la formule suivante :

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_i (y_i - \bar{y})^2$$

Par définition, l'*écart-type* d'un ensemble de mesures est la racine carrée positive de la variance, c.-à-d. la valeur s.

La DSV utilise principalement la moyenne et l'écart-type dans le rapport annuel. L'*écart-type empirique* est souvent utilisé pour interpréter les données.

Dans le cas d'un ensemble de mesures créant un histogramme aux allures de monticule :

l'intervalle $\bar{y} \pm s$ contient environ 68 % des mesures;

l'intervalle $\bar{y} \pm 2s$ contient environ 95 % des mesures;

l'intervalle $\bar{y} \pm 3s$ contient environ toutes les mesures.

« Il existe de nombreux types de mesures de variation : intervalle, centiles, variance, écart-type, etc. »

Nous prenons les données de l'année pour laquelle nous voulons faire des estimations (2009) et des dix années précédentes (voir l'exemple au tableau 3). Ensuite nous calculons la moyenne et l'écart-type de l'échantillon des valeurs des dix années et déterminons la valeur du coefficient D grâce à la formule :

$$D = (\text{valeur de 2009} - \bar{y}) / s$$

Étapes où l'événement est survenu	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	\bar{y}	s	D
Remorquage	46	46	60	48	47	43	44	44	46	55	65	48	5,4	3,2
Circulation au sol	92	115	95	92	87	82	105	91	92	89	121	94	9,4	2,9
Décollage	128	180	182	164	124	148	165	144	125	140	163	150	21,8	0,6
Stationnement	192	197	264	254	218	248	326	242	275	323	362	254	46,0	2,3
														1,3

Tableau 3 – Événements par certaines étapes des opérations

La valeur de *Remorquage* de 2009 se situe à l'extérieur de l'intervalle $\bar{y} + 3s$. Selon l'écart-type empirique, presque toutes les valeurs doivent se situer à l'intérieur de cet intervalle, donc cette valeur est très inattendue. Il est recommandé d'effectuer une enquête détaillée et probablement de prendre des mesures. Les valeurs de 2009 plus grandes que $\bar{y} + 3s$ sont surlignées en brun. Dans le cas de la valeur de *Circulation au sol*, on voit que $\bar{y} + 2s < (\text{valeur de 2009}) < \bar{y} + 3s$. Environ 95 % des données doivent se situer dans l'intervalle $\bar{y} \pm 2s$, donc la valeur de 2009 a une probabilité de $(100\% - 95\%)/2 = 2,5\%$; toutefois, il s'agit quand même d'un événement rare. Une enquête et/ou une analyse plus poussée sont recommandées. Ces valeurs sont surlignées en orange. Il en va de même dans le cas de la valeur de *Stationnement*. Si, par exemple $D = 1,3$, la valeur est surlignée en jaune et il est recommandé de faire attention. La probabilité dans ce cas serait approximativement de : $(95\% - 68\%)/2 \approx 14\%$. Si $0 < D < 1$, comme dans le cas de l'étape *Décollage*, la probabilité est de $(68/2)\% = 34\%$ et la valeur est surlignée en vert foncé.

Graphiques de contrôle de la qualité (CQ)

La Figure 5 montre un graphique de CQ pour les données d'événements causés par des erreurs de décision s'étant produits de 2004 à 2010. Habituellement un graphique de

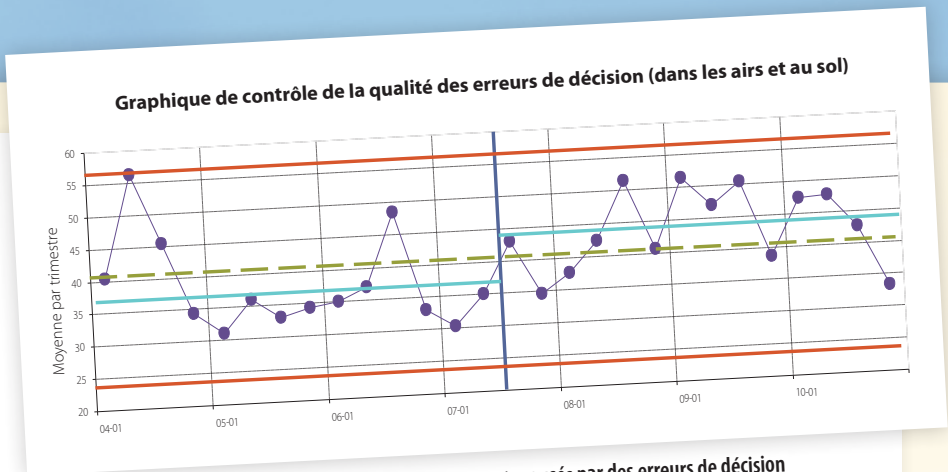


Figure 5 – Graphique de contrôle de la qualité des événements causés par des erreurs de décision (dans les airs et au sol)

contrôle est composé de trois lignes : une *ligne centrale* (ligne pointillée de moyenne en vert foncé), une *limite supérieure de contrôle* et une *limite inférieure de contrôle* (toutes les deux en rouge). La ligne centrale représente la moyenne des moyennes de l'échantillon k , chacune fondée sur des échantillons n . Dans le présent exemple, $n = 3$ (échantillon de trois mois) et $k = 28$ trimestres en 7 ans. Le processus est jugé *sous contrôle* lorsque les données se situent à l'intérieur des limites inférieure et supérieure de contrôle, autrement il est hors de contrôle. La *limite de contrôle supérieure* (UCL) et la *limite de contrôle inférieure* (LCL) sont calculées de la manière suivante :

$$UCL = \bar{y}_c + 3 \frac{s}{\sqrt{n}}$$

$$LCL = \bar{y}_c - 3 \frac{s}{\sqrt{n}}$$

où s est l'écart-type des moyennes de l'échantillon. Selon l'écart-type empirique, l'intervalle

$$\bar{y}_c \pm (3s/\sqrt{n})$$

devrait contenir presque toutes les moyennes d'échantillons lors d'échantillonnages subséquents. Si la moyenne d'un échantillon se situe à l'extérieur de cet intervalle, il s'agit d'un événement extrêmement improbable ou la qualité du processus a changé et il ne s'agit plus d'une mesure exacte de la véritable moyenne.

La cohérence des facteurs humains (HFACS) a également été analysée. En vérifiant l'hypothèse statistique $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ voulant que la moyenne de 2004 à 2007 (juin) est la même que la moyenne de 2007 (juillet) à 2010, on vérifie la différence entre ces deux périodes. L'hypothèse H_0 peut être acceptée ou rejetée avec un niveau de confiance de 95 % (niveau

« La valeur de Remorquage de 2009 se situe à l'extérieur de l'intervalle $\bar{y} \pm 3s$. Selon l'écart-type empirique, presque toutes les valeurs doivent se situer à l'intérieur de cet intervalle, donc cette valeur est très inattendue. »

« Il est recommandé d'effectuer une enquête plus poussée et de tenir des discussions lorsque deux périodes diffèrent sur le plan statistique. Les causes de cette différence doivent être expliquées et comprises. »

de signification de 0,05). Si elle est acceptée, les deux périodes sont cohérentes. Si l'hypothèse $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ est rejetée, deux lignes en bleu pâle sont ajoutées dans les graphiques, lesquelles signifient respectivement les moyennes de deux périodes de l'échantillon. Il est recommandé d'effectuer une enquête plus poussée et de tenir des discussions lorsque deux périodes diffèrent sur le plan statistique. Les causes de cette différence doivent être expliquées et comprises.

Niveau du caractère aléatoire d'une série de données

Le niveau du caractère aléatoire est une mesure qui a été introduite dans les rapports annuels de la DSV depuis les deux dernières années; il est défini en termes statistiques/probabilistes. La façon intuitive de représenter le caractère aléatoire est l'inverse d'une tendance. Moins le caractère aléatoire est présent, plus la chance de détecter une tendance augmente, et le contraire est

Erreurs au sol fondées sur les habiletés (2004 à 2010)	
Hypothèse nulle H_0 :	La série est aléatoire
Hypothèse alternative H_a :	La série n'est pas aléatoire
Moyenne de la série :	53,16667
Médiane de la série :	53
Écart-type de la série :	11,88786
Nombre de runs V :	35
Moyenne des runs :	41,49382716
Écart-type des runs :	4,4711
Test Z :	-1,22874
Confiance de rejeter H_0 :	78,08 %
Niveau du caractère statistique :	21,92 % moyen

Tableau 4 – Rapport statistique sur le caractère aléatoire

également vrai. Il est à noter que l'existence d'une tendance ne constitue pas nécessairement un problème. Par exemple, si on sait que le nombre d'événements signalés augmente seulement en raison des habitudes de signalement, la tendance a augmenté et donc le caractère aléatoire est moins présent, mais cela ne constitue pas un problème.

La méthode de vérification utilisée à la DSV est connue sous l'appellation « *Above and Below Median Test for Randomness of Numerical Data* » (évaluation de la valeur médiane d'une distribution statistique en vue de déterminer le caractère aléatoire des données numériques). Il faut d'abord placer les données dans l'ordre dans lequel elles ont été

recueillies, puis déterminer leur valeur médiane et remplacer chaque entrée par le symbole + or - selon que la valeur est supérieure ou inférieure à la médiane. Il s'agit de groupes précis appelés des « runs ». Un programme écrit en *Visual Basic* sert aux calculs et il génère un rapport comme le tableau 4.

« Il s'agit de groupes précis appelés des "runs". Un programme écrit en Visual Basic sert aux calculs et il génère un rapport. »

Niveau de confiance p (%) de rejeter H ₀	Niveau du caractère aléatoire	Décision/interprétation
p < 70 %	Haut	Il y a peu de raisons de rejeter le caractère aléatoire
70 % ≤ p < 90 %	Moyen	Il n'y a pas suffisamment de raisons de rejeter le caractère aléatoire
90 % ≤ p < 95 %	Bas	Il y a de bonnes raisons de rejeter le caractère aléatoire
p ≥ 95 %	Très bas	Il y a d'excellentes raisons de rejeter le caractère aléatoire

Tableau 5 – Déterminer le niveau du caractère aléatoire

Le niveau de caractère aléatoire est déterminé en fonction de la probabilité de rejeter l'hypothèse H₀ (dans ce cas, 78,08 %) selon les critères suivants (voir le tableau 5).

Il est à noter que la méthode analytique permettant de déterminer le niveau du caractère aléatoire est meilleure pour détecter les tendances dans une série de données que l'utilisation

du graphique chronologique. La tendance n'est pas toujours visuellement évidente dans le graphique, alors que le niveau du caractère aléatoire lui est clair. Il s'agit également d'un exemple montrant l'importance et les avantages de la statistique déductive.

Les méthodes statistiques sont appliquées dans la sécurité des vols pour détecter les problèmes et formuler des recommandations. Nous avons fourni quelques exemples pour illustrer leur potentiel, et d'assigner un sens aux données. Entre les statistiques descriptives et inférentielles, les méthodes descriptives sont plus populaires et plus faciles à comprendre, en particulier les représentations

« Entre les statistiques descriptives et inférentielles, les méthodes descriptives sont plus populaires et plus faciles à comprendre, en particulier les représentations graphiques. »

« Il s'agit également d'un exemple montrant l'importance et les avantages de la statistique déductive. »

graphiques. L'inférence statistique est plus puissante et va plus loin dans l'analyse des données et leur interprétation. Il va sans dire qu'une bonne méthodologie statistique continuera à fournir des données inestimables pour constamment améliorer notre Programme de la Sécurité des vols.

Enregistreurs de données de vol portatifs

par le Major Adam Cybanski, Adjoint au chef de section à la promotion et à l'information, Direction de la sécurité des vols, Ottawa

Le Major Cybanski est un pilote d'hélicoptère tactique qui possède plus de 20 ans d'expérience et qui totalise plus de 2500 heures de vol sur des appareils à voilure fixe ou tournante comme le CT114 Tutor, le CH139 Jet Ranger, le CH135 Twin Huey et le CH146 Griffon. Il a été affecté à Haïti comme spécialiste des lunettes de vision nocturne et pilote d'essai après maintenance, et il s'est occupé du simulateur de vol complet du CH146 Griffon. Diplômé du Cours sur les systèmes aérospatiaux, il est titulaire d'un baccalauréat en sciences spécialisées en mathématiques informatiques de l'université Carleton.

Aperçu

L'enregistreur de données de vol (FDR) est un dispositif électronique permettant d'enregistrer les paramètres d'un aéronef en vol. Il est habituellement utilisé dans le cadre d'enquêtes sur un accident, mais il sert également à vérifier l'usure des composants d'un aéronef et à assurer le suivi de leur durée de vie, de même qu'à surveiller les opérations dans le cadre d'un programme d'assurance de la qualité des opérations aériennes (FOQA).

Ces « boîtes noires » contiennent un support d'enregistrement (pellicule photographique, ruban magnétique ou mémoire à semi-conducteurs) et elles sont reliées aux capteurs et aux systèmes de l'aéronef. Il peut être complexe et difficile d'intégrer complètement un FDR à un ancien aéronef, puisque toute modification apportée à la configuration d'un aéronef nécessite des essais et une attestation de navigabilité.

Nombre d'aéronefs des Forces canadiennes ne sont pas équipés d'un FDR intégral, ou ce dernier fournit des données limitées (les données des manœuvres en vol stationnaire du FDR de l'hélicoptère CH146 Griffon ne sont pas fiables). Certains aéronefs, comme le planeur SZ-2 utilisé par les Cadets de l'air et le CT114 Tutor exploité par les Snowbirds, ne sont équipés d'aucun dispositif d'enregistrement des données de vol. Il n'y a aucun doute que les FDR peuvent améliorer la sécurité et la capacité opérationnelle ainsi que réduire les coûts liés au cycle de vie. Néanmoins, de nombreuses flottes ne peuvent tout simplement pas assumer les frais associés à la pose dans leurs appareils de FDR intégrés.

Un des éléments les plus importants du FDR est sans contredit les données sur la trajectoire de vol. Le fait de connaître l'emplacement, l'altitude et l'assiette d'un aéronef tout juste avant un accident peut s'avérer critique dans l'enquête qui suivra. La séquence vidéo du poste de pilotage et des instruments est précieuse, car elle présente aux enquêteurs ce qui se passait durant un incident, indiquant même parfois les décisions critiques qui ont été prises. Récemment, les avancées technologiques ont commencé à offrir des solutions de rechange efficaces aux systèmes de FDR coûteux et complexes pour enregistrer les données associées à la trajectoire de vol. Il s'agit de FDR portatifs ou d'enregistreurs autonomes du mouvement inertiel et de données GPS.

« Ces "boîtes noires" contiennent un support d'enregistrement (pellicule photographique, ruban magnétique ou mémoire à semi-conducteurs) et elles sont reliées aux capteurs et aux systèmes de l'aéronef. »

Éléments du FDR portatif

Un FDR portatif comprend trois principaux éléments : des capteurs, un calculateur et une pile. Les capteurs peuvent inclure des accéléromètres et des gyroscopes de référence inertielle, un compas magnétique, un appareil GPS, une caméra, un baromètre et nombre d'autres capteurs autonomes portatifs. Le calculateur collecte les données provenant des divers capteurs; il procède à leur traitement et à leur intégration avant de sauvegarder les résultats et les données temporelles dans une puce mémoire ou tout autre support, comme une microcarte mémoire SD. Toute l'alimentation est assurée par la pile.

Les enregistreurs de données de vol des aéronefs commerciaux sont munis de boîtiers renforcés pouvant résister à des forces d'impact élevées, au feu et à l'immersion dans l'eau. Bien que les FDR portatifs ne soient pas habituellement protégés de la sorte,

les puces mémoires témoignent d'un niveau de tolérance considérablement élevé à l'égard de ces menaces, et des données ont été extraites de cartes SD même si ces dernières avaient été exposées à une chaleur intense, à des forces d'impact élevées et à une immersion dans l'eau salée.

Version 1 (V1) du FDR portatif

Un prototype d'enregistreur de données de vol portatif, de type ordinateur de poche, a été assemblé à la DSV. Il comprenait des capteurs d'assiette, d'altitude et de position ainsi qu'une caméra vidéo dans le poste de pilotage (aux fins de validation des données recueillies). Le petit ordinateur de poche était relié à un ensemble de capteurs, notamment un GPS, un altimètre, un appareil indiquant le mouvement inertiel et une caméra vidéo USB. L'appareil était conçu de manière à pouvoir se glisser dans une poche ou se fixer à l'intérieur de l'aéronef pendant un



vol VFR de jour. L'appareil permettrait d'enregistrer la position, l'altitude et l'assiette de l'aéronef, ainsi qu'une séquence vidéo des activités dans le poste de pilotage. Le projet a obtenu une autorisation de navigabilité en vue de mettre l'appareil à l'essai; le matériel en question avait été classé dans la catégorie des dispositifs électroniques personnels à bord d'un planeur ou d'un avion remorqueur. On a procédé à la vérification de la forme et du montage du matériel (FDR portatif V1), puis ce dernier a été utilisé dans le cadre d'un vol de validation de concept à bord d'un planeur SZ-2, à l'aéroport de Smiths Falls. On a pu établir que les données ainsi collectées étaient valides.

FDR portatif V3

En tout, trois versions du FDR portatifs ont été conçues; chacune d'elles plus simple et moins coûteuse que la version précédente. Le câble d'attache constituait une des limites du FDR portatif d'origine. L'ensemble des capteurs devait être fixé à l'aéronef au moyen de rubans Velcro et d'attaches autobloquantes. Les capteurs posaient ainsi un risque de se transformer en projectile en cas d'écrasement, et ils pouvaient devenir un obstacle à l'évacuation. La connexion entre les capteurs et l'enregistreur était fragile, et elle était susceptible de se défaire. Elle a d'ailleurs été à l'origine d'une

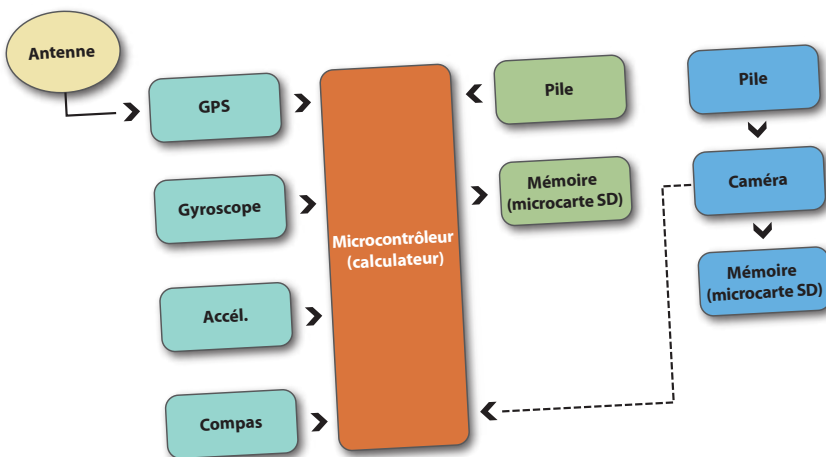
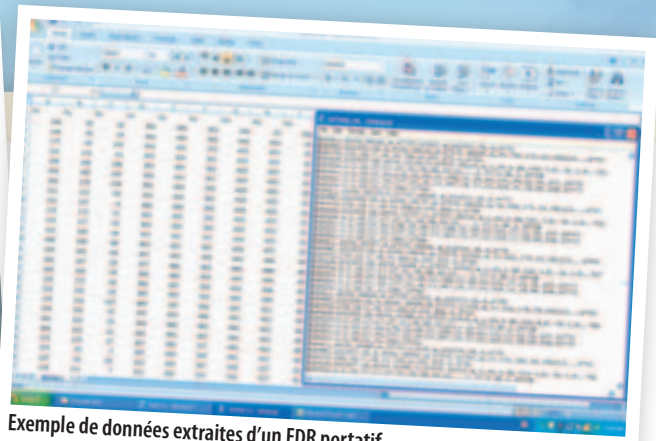


Schéma des éléments du FDR portatif



Caméra et FDR V3 portable



Exemple de données extraites d'un FDR portable

défaillance à au moins une reprise. On a procédé au développement, à l'assemblage et à la programmation des deuxième et troisième versions de FDR miniatures autonomes. Les dispositifs en question comprenaient un microenregistreur SD, un système de navigation inertielle, un appareil GPS de 50 canaux et une pile, le tout logé dans un petit boîtier de 4 cm sur 4 cm qui pouvait se glisser dans une poche. Ils étaient accompagnés d'une microcaméra vidéo de 2 cm sur 7 cm, qui pouvait aussi se glisser dans un manteau ou une poche, ou être fixée à un casque.

La dernière version du FDR portable est le Sparkfun Ultimate IMU, qui comprend des gyroscopes et accéléromètres sur tous les axes, un magnétomètre tridimensionnel, un microcontrôleur programmable LPC2148 (calculateur miniature) et un microconnecteur SD pour la sauvegarde des données. Ses fonctions sont programmées en langage C, et téléchargées du calculateur au moyen d'un câble USB miniature. L'appareil peut sauvegarder des données sur l'assiette et l'accélération sur une fréquence de 30 Hz. Le module GPS comporte 66 canaux, et il fonctionne sur une fréquence de 10 Hz, mais il fait

seulement la mise à jour de la position sur 2 Hz. Le FDR n'a pas encore été mis à l'essai à bord d'un aéronef habité, mais les essais effectués à bord d'un appareil télécommandé se sont avérés prometteurs.

Analyse des données

La saisie des données du FDR ne constitue qu'une seule étape du processus. Il faut ensuite analyser et utiliser les données. Les données provenant de diverses sources sont multiplexées en un seul fichier texte sur la microcarte SD. Après le vol, les données sont de nouveau réparties en fichiers distincts indiquant l'accélération, l'assiette, l'assiette magnétique et la position GPS. Ces fichiers sont ensuite fusionnés en un seul fichier donnant la trajectoire de vol en fonction de paramètres de base, notamment la latitude, la longitude, l'assiette en tangage et en roulis ainsi que le cap. Ce fichier peut être analysé sous forme graphique ou versé dans un simulateur, comme *Google Earth* ou *Microsoft Flight Simulator*, pour obtenir une représentation visuelle de la trajectoire.

Les données GPS sont relativement faciles à utiliser. Elles indiquent la latitude, la longitude et l'altitude

avec une précision réduite. Le cap est habituellement estimé en fonction de la trajectoire de l'aéronef. Pour calculer l'assiette en tangage et en roulis, ou même la position de l'aéronef à un degré plus précis, il faut analyser les données inertielles.

Lors de l'utilisation d'un système inertielle fixé à la structure, on connaît l'orientation des capteurs par rapport au fuselage de l'aéronef. Par conséquent, il est facile de déterminer l'assiette en tangage et en roulis ainsi que le cap. Par contre, on ne connaît pas l'orientation initiale d'un système portable qui se trouve tout simplement dans une poche : les capteurs peuvent se trouver sur le côté, à l'envers ou dirigés vers l'arrière. Par conséquent, il faut régler les capteurs après le vol pour que les relevés collectés alors que l'aéronef effectue un vol rectiligne en

« Les dispositifs en question comprenaient un microenregistreur SD, un système de navigation inertielle, un appareil GPS de 50 canaux et une pile, le tout logé dans un petit boîtier de 4 cm sur 4 cm qui pouvait se glisser dans une poche. »



Représentation visuelle à l'aide d'un simulateur de vol



FDR portatif commercial

palier soient soustraits de tout relevé qui suit. On peut ainsi déterminer l'assiette réelle de l'aéronef, mais comme la dérive des capteurs est fréquente, ceux-ci doivent être réglés périodiquement pour assurer la qualité des relevés.

L'appareil GPS fournit seulement une position approximative, et la fréquence de ses mises à jour est basse. Les accéléromètres peuvent fournir des données à très haute résolution et fréquence pour une petite zone, mais ils sont également portés à la dérive. Heureusement, à long terme, on peut utiliser les données positionnelles issues d'un appareil GPS pour corriger les données des accéléromètres. Des filtres spéciaux, comme le filtre de Kalman et un régulateur proportionnel-intégral-différentiel, fusionnent les données en une solution intégrée unique qui est beaucoup plus précise que l'un ou l'autre des éléments.

C'est au moment de la représentation visuelle des données de la trajectoire de vol que l'on reconnaît vraiment la valeur des FDR portatifs. L'intéressé peut observer le vol d'un aéronef accidenté comme s'il se trouvait dans

le poste de pilotage ou au sol. Un vol insatisfaisant peut être revu encore et encore, puis comparé à une approche et à un atterrissage exemplaires. Les pilotes peuvent observer les divers angles et les références visuelles d'une trajectoire de vol bien avant de prendre les commandes; ils peuvent ainsi se familiariser avec un environnement aérien avant même d'y être. Nous commençons à peine à explorer les façons dont la saisie des données des trajectoires de vol peut améliorer la sécurité et les capacités opérationnelles.

Solutions commerciales

Les entreprises lancent sur le marché des FDR portatifs commerciaux ayant des capacités semblables. Les systèmes *Appereo*, LLC, sont entièrement autonomes, montés dans l'aéronef et alimentés par l'aéronef. Le *Wi-Flight* de General Aviation Safety Network est un système simple et convivial qui peut être transporté dans une poche durant le vol, puis qui se synchronise automatiquement par Internet une fois au sol, de manière à pouvoir assurer une représentation visuelle du vol au moyen de *Google Earth* sur n'importe quel ordinateur ayant accès à Internet.

Résumé

L'achat des capacités d'un enregistreur de données de vol était autrefois limité par leurs coûts exorbitants, tandis qu'on peut maintenant se les procurer à peu près au prix d'un téléphone cellulaire. La plupart des téléphones intelligents vendus de nos jours peuvent accueillir ses éléments de base, notamment les capteurs, une pile et un calculateur, et tout porte à croire que les capacités des futurs FDR portatifs augmenteront tandis que leurs coûts diminueront. Les FDR portatifs offrent de nouvelles capacités que l'on peut utiliser pour régler les lacunes actuelles des enregistreurs de trajectoires de vol. Dans le cas d'enquêtes sur la sécurité des vols, ils peuvent offrir des avantages, car ils révèlent la façon dont l'aéronef était piloté avant un accident. Les FDR portatifs peuvent également améliorer la capacité opérationnelle en donnant aux équipages en formation une récapitulation du vol. L'Aviation royale canadienne prévoit mener une étude des FDR portatifs pour déterminer si ces derniers pourront être utilisés dans de petits aéronefs et des appareils non équipés de FDR intégrés.



DEUXIÈME PARTIE OPÉRATIONS

Photos : Cpl Willie Langer, Cpl Pierre Habib et Sgt Rick Ruthven

Le projet ASTRA

par le Major Darryl Shyiak, Normes de la Force aérienne, Quartier général de la 1^{re} Division aérienne du Canada, Winnipeg

Après avoir servi pendant plus de 32 ans dans les FC, l'auteur a pris récemment sa retraite pour devenir pilote de ligne chez WestJet. Au cours de sa carrière, le Lieutenant-colonel Shyiak a accumulé presque 5800 heures de vol sur hélicoptères, avions à réaction et avions multimoteurs. Il a notamment été commandant de l'équipe des Snowbirds, commandant de la 3^e EPFC, commandant de l'ECV et officier responsable des Normes de la Force aérienne. Il a participé de très près au projet ASTRA depuis son lancement en 2009 et, dans l'avenir immédiat, il va poursuivre ses activités de gestion du projet comme réserviste à temps partiel (au grade de major).

Le Projet sur les normes de l'air, la formation, la disponibilité opérationnelle et l'automatisation (ASTRA) est une initiative de la 1^{re} Division aérienne du Canada (1 DAC)

destinée à faire de l'ARC une force aérienne hautement compétente, fortement intégrée et des plus moderne qui soit en mesure d'exploiter pleinement une technologie en constante évolution. Compte tenu des effets combinés des niveaux d'expérience de plus en plus faibles, des pénuries de personnel, du rythme opérationnel élevé et de l'introduction de nouvelles flottes d'appareils hautement automatisés, il ne pourra y avoir amélioration de la sécurité des opérations aériennes que si l'on procède rapidement à une normalisation, à l'échelle de l'ARC, de la formation, des publications de vol, des procédures et des pratiques d'automatisation ainsi que des mesures et des normes relatives aux Performances humaines dans l'aviation militaire (PHAM).

Le projet ASTRA est la conséquence de l'accident tragique du *Cormorant* 914 en juillet 2006. L'enquête de la sécurité des vols relative à la perte de Tusker 914 a mis en évidence de nombreuses préoccupations liées aux facteurs humains ainsi que des « lacunes systémiques sur la façon dont les aéronefs modernes sont mis en service par une force aérienne et dans les normes selon lesquelles les équipages doivent les piloter ». À la suite des interrogations qui sont apparues après

l'accident de Tusker 914, la 1 DAC a adopté, pour les opérations aériennes menées avec des aéronefs hautement automatisés, la méthode des « 4 P » du Ames Research Center de la NASA, à savoir : la philosophie, les politiques, les procédures et les pratiques. Pour qu'il soit possible d'en arriver aux pratiques souhaitées dans le poste de pilotage, il faut que la philosophie, les politiques et les procédures d'une organisation soient élaborées (et/ou révisées) de façon structurée et en séquence de façon que ces trois éléments soient bien alignés les uns avec les autres pour que les équipages de vol puissent disposer d'instructions complètes et cohérentes sur la façon de mener les missions opérationnelles et de formation au pilotage.

Le 22 juin 2007, le commandant de la 1 DAC a paraphé une lettre d'étape portant sur la modernisation de la flotte et la philosophie de l'automatisation des aéronefs de la Division aérienne :

Un certain nombre d'accidents et d'incidents récents ont mis en évidence la nécessité de procéder à un examen fondamental des pratiques et des procédures opérationnelles utilisées par l'ensemble du personnel navigant de la Force aérienne, ainsi que des

« Le 22 juin 2007, le commandant de la 1 DAC a paraphé une lettre d'étape portant sur la modernisation de la flotte et la philosophie de l'automatisation des aéronefs de la Division aérienne... »



Photo : Cpl James Nightingale

politiques et de la philosophie qui sous-tendent le leadership de la Force aérienne dans leur établissement...

L'exploitation des aéronefs modernes repose largement sur l'automatisation des systèmes et des fonctions de pilotage, ce qui permet de bénéficier d'un avantage tactique et d'accroître l'efficacité des opérations. L'acquisition d'appareils modernes et la modernisation de certains anciens appareils nous obligent à changer nos attitudes et à acquérir de nouvelles compétences et de nouvelles connaissances qui nous permettront de remplir notre mission avec succès. L'utilisation de techniques de pilotage classique à bord d'appareils dotés de systèmes automatisés de pointe est une pratique à la fois inefficace et dangereuse.

Les systèmes de pilotage automatisé doivent faire l'objet de normes régissant leur utilisation dans toutes les phases du vol, et ce, de façon discipliné et entièrement intégrée. Comme le pilote détient le pouvoir de décider de l'emploi optimal de

ces systèmes, il doit savoir utiliser avec compétence les diverses fonctions de pilotage automatisées et pouvoir déterminer lesquelles des fonctions automatisées conviennent le mieux dans une situation donnée.

Les consignes de vol, les programmes de formation au pilotage, les critères d'évaluation, les instructions permanentes d'opération, les guides d'exposés, les listes de vérifications, les manuels de vol et les opérations de vol doivent tous être conformes à cette philosophie de l'automatisation.

Durant l'automne 2007, la 1 DAC a lancé le Projet d'élaboration de la politique et de la planification en matière d'automatisation (EPPA) afin de déterminer l'état et l'efficacité des politiques, des procédures et des pratiques en vigueur à ce moment-là dans toute la Force aérienne. Un contrat a été octroyé à deux entreprises civiles ayant une très bonne connaissance de l'ergonomie et des compétences en exploitation de l'automatisation en aéronautique – CMC Électronique et Convergent Performance – afin que celles-ci fassent un examen critique de la manière dont la Force aérienne s'acquittait de ses tâches de formation et de ses opérations de vol. Ces spécialistes de l'industrie ont volé avec des équipages lors de missions opérationnelles et de formation (en

simulateur et sur aéronef), ils ont interrogé un nombre important de membres d'équipage de vol et d'officiers d'état-major, et ils ont examiné en détail la totalité des manuels et des publications de vol afin d'évaluer le niveau général de préparation au passage à des aéronefs hautement automatisés. Le rapport complet de l'analyse d'automatisation du projet EPPA publié le 29 septembre 2008 renfermait un certain nombre de constatations et de recommandations, dont voici un aperçu :

- Mesures du rendement en automatisation
 - Manque de mesures uniformes du rendement en automatisation au sein de la Force aérienne
 - Manque de mesures communes de l'automatisation d'une communauté à une autre
 - Manque d'une « langue d'automatisation » commune au sein de la Force aérienne
- Formation et évaluation
 - Trop d'importance accordée aux évaluations en monopilote
 - Formation négative en ce qui concerne les aéronefs pilotés à deux
 - Évaluations limitées du concept d'équipage
 - Utilisation non uniforme des simulateurs

- Manque de normalisation qui mène à des lacunes pendant la formation et qui a un impact sur la capacité à absorber de nouveaux pilotes

- PHAM

- L'équipe a constaté une utilisation limitée des principes du programme PHAM dans le poste de pilotage
- Pourquoi ce programme ne marche-t-il pas?
 - « *Il est enseigné, mais il ne sert pas pendant la formation* »
 - « *Aucune mesure du rendement du programme PHAM* »
 - « *Le programme PHAM n'est pas évalué* »
 - « *Culture des évaluations en monopilote* »

- « L'excellence en vase clos »

- De nombreux secteurs font du bon travail, mais bien souvent à l'insu des autres

- Manque de normalisation d'une communauté d'aéronefs à une autre

Le rapport sur l'EPPA ainsi que l'ébauche du plan de mise en œuvre de l'automatisation faisant suite à l'EPPA contenaient des recommandations détaillées permettant de traiter des questions soulevées par les auteurs de l'étude. Voici un résumé des points de travail les plus importants contenus dans le plan de mise en œuvre proposé :

- Créer un service des Normes de la Force aérienne
- Intégrer de nouvelles politiques sur l'automatisation dans les consignes de vol
- Préparer un guide et des normes de mise en œuvre
- Préparer une définition des tâches d'automatisation dans le poste de pilotage
- Élaborer des mesures du rendement de l'automatisation et du programme PHAM

- Incorporer les pratiques d'excellence dans les évaluations en vol
- Produire des procédures et des manuels pour chaque flotte
- Diffuser les nouvelles mesures et les nouvelles normes
- Restructurer les consignes de vol

Le commandant de la 1 DAC ainsi que le commandant adjoint de la MFP ont lu en entier le rapport sur l'EPPA et ont été breffés sur les constatations et les recommandations les plus importantes. Le 4 décembre 2008, le commandant a publié un message (Cmdt 143) sur le projet EPPA et sur la restructuration de l'École centrale de pilotage (ECP) :

2. LE RAPPORT D'ANALYSE SUR L'AUTOMATISATION A ÉTÉ PRÉSENTÉ ET J'AI ACCEPTÉ EN TOTALITÉ SES CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS. IL PRÉSENTE UN EXAMEN APPROFONDI DE LA CULTURE ACTUELLE DE LA FORCE AÉRIENNE AU CHAPITRE DES PRATIQUES EN MATIÈRE D'AUTOMATISATION ET MET EN RELIEF LES POINTS FORTS ET CEUX QUI DEMANDENT UNE ATTENTION PARTICULIÈRE POUR RÉALISER UNE TRANSITION RÉUSSIE VERS DES AÉRONEFS MODERNISÉS OU NEUFS ...

- Produire un guide de rédaction et de points à aborder destiné aux MMS
- Moderniser la formation sur aéronef et en simulateur



Photo : Cplc Rebecca Bell

4.G. ...LA PLUPART DES RECOMMANDATIONS FORMULÉES DANS LE CADRE DU PROJET EPPA SONT CENTRÉES SUR LA POSSIBILITÉ DE DÉFINIR ET D'APPLIQUER UNE SEULE CONCEPTION DE L'AUTOMATISATION, APPUYÉE PAR DES MESURES ET DES NORMES DE RENDEMENT EN MATIÈRE D'AUTOMATISATION CLAIRES ET ARTICULÉES. LA MISE SUR PIED D'UNE TELLE ÉQUIPE DANS LE CADRE DE LA RESTRUCTURATION DE L'ECV PERMETTRA LA CRÉATION D'UNE ORGANISATION CENTRALISÉE CHARGÉE DE METTRE EN ŒUVRE LES RECOMMANDATIONS DU RAPPORT DU PROJET EPPA AINSI QUE LES ACTIVITÉS DE SUIVI.

Le commandant a demandé de continuer à faire appel à du personnel contractuel pour entreprendre la mise en œuvre du plan résultant du projet EPPA. Bien que ce travail ait été retardé à plusieurs reprises à cause de difficultés liées aux contrats, des experts de CMC Électronique et de Convergent Performance ont fini par pouvoir se lancer dans l'exécution

« Le commandant de la 1 DAC ainsi que le commandant adjoint de la MFP ont lu en entier le rapport sur l'EPPA et ont été breffés sur les constatations et les recommandations les plus importantes. »

de leur plan de mise en œuvre. Tout en respectant le modèle des quatre P adopté par la 1 DAC, le personnel contractuel a travaillé en étroite collaboration avec l'ECP et les Équipes d'évaluation et de normalisation (EEN) à la conférence des EEN qui s'est tenue en mars 2009, puis une réunion de suivi du groupe de travail sur les politiques d'automatisation a eu lieu en juin 2009 afin de rédiger de nouvelles politiques en la matière destinées au B-GA-100 et aux Ordonnances de la Division aérienne. De plus, le personnel contractuel a fait bénéficier de son savoir-faire l'EENPLP, qui était en train d'effectuer un important travail sur les avions de bloc II dans le cadre du Projet de modernisation progressive du CP140 *Aurora* (PMPA), ainsi que le personnel du Bureau de gestion de projet (BGP) principal qui travaillait sur le Projet des hélicoptères maritimes (PHM).

Au printemps 2009, le projet EPPA s'était transformé en Projet sur les normes de l'air, la formation, la disponibilité opérationnelle et l'automatisation (ASTRA). Voici ce que le commandant attendait du projet ASTRA :

Dans le cadre du projet ASTRA, la Force aérienne élaborera des politiques, des consignes de vol, des programmes de formation au pilotage, des critères d'évaluation, des instructions permanentes d'opération, des guides d'information, des listes de vérifications et des manuels

de vol nouveaux afin de mettre en œuvre et de soutenir les opérations aériennes qui appuient la philosophie d'automatisation, et d'atteindre un haut niveau de compétence en exploitation d'automatisation aéronautique.

Les objectifs du projet ASTRA sont les suivants :

- Transformer les politiques, les procédures et les pratiques de la Force aérienne de manière à renforcer les pratiques communes entre les diverses communautés, à harmoniser les attentes en matière de rendement des équipages de vol et à obtenir une très bonne adaptabilité aux changements technologiques.
- Quatre grands domaines assujettis à des objectifs stratégiques :
 1. Simplifier et réorganiser les normes de la Force aérienne tout en unifiant les fonctions opérationnelles et de gestion de la Force aérienne;
 2. Moderniser les programmes de formation en les dotant de systèmes d'instruction et de moyens de simulation répondant aux opérations du 21^e siècle;
 3. Renforcer les mesures du rendement, les mécanismes d'évaluation et les programmes d'évaluation des unités de manière à en arriver à des hauts niveaux de disponibilité opérationnelle;

4. Instiller une culture de l'automatisation afin de garantir une utilisation sûre et efficace des systèmes d'arme modernes hautement automatisés.

Bien que l'automatisation ait été le catalyseur et qu'elle demeure l'un des quatre objectifs stratégiques du projet ASTRA, ce dernier a aujourd'hui une vision plus large et plus radicalement transformatrice de la Force aérienne. Conséquence de cette portée plus vaste, c'est du projet ASTRA que sont venus le personnel et le savoir-faire nécessaires à la formation de trois équipes de projet intégrées (EPI) distinctes, à savoir l'EPI des normes FA, l'EPI du CP140 et l'EPI du PHM. L'EPI des normes FA a permis à la 1 DAC de disposer d'une cellule temporaire de normes FA chargée de diriger et de coordonner le projet ASTRA. Débutant par ce qui correspondait au point central des efforts de normalisation à déployer dans les diverses communautés, l'EPI des normes FA a travaillé de concert avec les EEN à la mise au point des nouvelles politiques sur l'automatisation destinées au

« Bien que l'automatisation ait été le catalyseur et qu'elle demeure l'un des quatre objectifs stratégiques du projet ASTRA, ce dernier a aujourd'hui une vision plus large et plus radicalement transformatrice de la Force aérienne. »

B-GA-100 et aux Ordonnances de la Division aérienne, elle s'est chargée de la surveillance et de la coordination des autres EPI, elle a donné de nombreux exposés sur le projet, elle a fourni aux EEN des lignes directrices sur les sujets liés à l'automatisation, et elle a développé le site Web du projet ASTRA. De son côté, l'EPI du CP140 a examiné les procédures et les pratiques utilisées sur les avions du bloc II du PMPA et a rédigé un rapport de base sur les procédures d'automatisation afin « d'indiquer les points sur lesquels il faudra insister pour que les avions puissent répondre à la philosophie de la 1 DAC en matière d'automatisation et aux nouveaux énoncés de la politique sur l'automatisation du projet ASTRA. » Des lignes directrices et de l'aide ont ensuite été fournies afin que le travail de révision nécessaire des listes de vérifications et des instructions permanentes d'opération du CP140 puisse débuter. Quant à l'EPI du PHM, elle a accompli un important travail centré sur trois domaines clés : les publications de vol (IEA, listes de vérifications et MMS), un examen des analyses des missions et des tâches du PHM et, enfin, la préparation d'un programme de formation et d'évaluation.

Bien que, à cause de problèmes contractuels, le projet ASTRA n'ait pu être mis à contribution pendant bien longtemps, il n'empêche qu'un travail considérable a été accompli de l'été 2010 à l'été 2011. Le 1^{er} juin 2010, une

« L'EPI des normes FA a permis à la 1 DAC de disposer d'une cellule temporaire de normes FA chargée de diriger et de coordonner le projet ASTRA. »

nouvelle cellule des normes FA a été officiellement mise sur pied dans les services du CmdtA MPF de la 1 DAC dans le but « de faire bénéficier la 1 DAC d'un processus de normalisation applicable à l'ensemble de la FA couvrant la formation, les publications de vol, les procédures et les pratiques d'automatisation ainsi que les mesures et les normes de rendement du programme PHAM. » À cause de contraintes de personnel dans la cellule des normes FA entre l'automne 2010 et l'été 2011, c'est le projet ASTRA qui a fourni la main-d'œuvre et le savoir-faire nécessaires pour répondre à court terme aux buts et aux objectifs des normes FA. Suivant le modèle des quatre P adopté par la 1 DAC et le plan de mise en œuvre découlant du projet EPPA, les membres du projet ASTRA se sont concentrés sur la finalisation des nouvelles politiques et sur la production des lignes directrices nécessaires au développement et/ou au raffinement des procédures relatives aux aéronefs utilisées dans l'ensemble de la Force aérienne.

Les entrepreneurs du projet ASTRA ont travaillé en étroite collaboration avec le personnel des normes FA afin d'organiser et de tenir, en octobre 2010, la conférence sur les normes FA au

cours de laquelle les nouvelles politiques liées à l'automatisation ont été examinées et finalisées avec l'aide de représentants de toutes les EEN. En décembre 2010, les modifications proposées au B-GA-100 et aux Ordonnances de la Division aérienne ont été soumises à approbation. Les modifications du B-GA-100 relatives à l'automatisation ont été approuvées et sont entrées en vigueur en janvier 2011; quant aux Ordonnances de la Division aérienne, elles ont été promulguées en février 2011.

Afin d'obtenir de la rétroaction sur le travail accompli dans le cadre du projet ASTRA et d'avoir des discussions avec le personnel clé des normes sur les nouvelles politiques d'automatisation, des membres du projet ASTRA ont rendu visite à l'EENHM et assisté à la conférence des UIO/EEO en octobre 2010, avant de rendre visite à l'EENPLRA en novembre 2010 ainsi qu'à l'EENTS et à l'EENAT en mars 2011. Ces visites ont été très fructueuses, puisqu'elles

ont permis à toutes les personnes concernées de mieux comprendre les défis propres à chaque communauté.

Les EPI du CP140 et du PHM mises sur pied dans le cadre du projet ASTRA ont poursuivi le travail débuté en 2009 et ont préparé des lignes directrices devant servir aux autres flottes. Le rapport de base sur les procédures d'automatisation du CP140 a été finalisé et livré en octobre 2010, une ébauche de liste de vérifications en situation normale du CP140 a été produite en février 2011, un examen et une mise à jour des procédures d'urgence des avions du bloc II ont eu lieu en mars 2011, et un examen des procédures du compartiment tactique a été effectué en mai 2011. En plus de poursuivre les tâches entreprises l'année précédente, l'EPI du PHM a produit un manuel complet de vol aux instruments du *Cyclone* permettant de suivre des procédures de vol aux instruments respectant pleinement la philosophie d'automatisation de la 1 DAC ainsi que les nouvelles politiques d'automatisation du B-GA-100 et des Ordonnances de la Division aérienne. Ce manuel a été distribué à toutes les EEN responsables d'une flotte d'hélicoptères, car il constitue une bonne référence pour suivre des procédures de vol aux instruments dans tout hélicoptère hautement automatisé. L'EPI du PHM du projet ASTRA a également fourni un expert en automatisation chargé d'apporter son aide à une réunion du groupe de travail sur le poste de membre

d'équipage du projet HTML qui s'est tenue en mars 2011.

Le projet ASTRA a considérablement avancé, puisqu'il en est arrivé à la réalisation de la tâche critique portant sur la préparation de nouvelles mesures et de nouvelles normes sur l'automatisation et le rendement PHAM de la Force aérienne. Le travail sur ce point précis avait débuté à la conférence des normes FA d'octobre 2010 au cours de laquelle des représentants de toutes les EEN ont présenté plus de 300 énoncés précisant les compétences et les qualités affichées par notre personnel navigant obtenant les meilleurs résultats. Pendant une réunion du groupe de travail tenue en décembre 2010, le personnel du projet ASTRA et celui des normes FA se sont servis de ces renseignements et des modules fondamentaux de notre programme PHAM pour préparer des énoncés de rendement ainsi que des marqueurs comportementaux spécifiques pour 18 compétences non techniques (CNT) différentes en automatisation et PHAM propres à notre Force aérienne. Une ébauche des mesures et des normes de rendement des CNT a ensuite été préparée en février 2011. Les 18 CNT en automatisation et PHAM, qui seront bientôt introduites dans l'ensemble de l'ARC, sont les suivantes :

- Facteurs individuels
- Préparation des missions
- Breffages et débriefages



Photo : Sikorsky Aircraft Corporation

- Communications
- Politiques et instructions permanentes d'opération
- Prise de décisions
- Gestion des tâches et de la charge de travail
- Communications relatives à l'automatisation
- Programmation et entrée de données
- Gestion de l'autorité relative à l'automatisation
- Gestion des tâches et de la charge de travail relatives à l'automatisation
- Conscience de la situation et du mode d'automatisation
- Transitions relatives à l'automatisation
- Gestion des alertes et des avertissements
- Réaction face aux défaillances et aux écarts
- Conscience de la situation
- Rendement de l'équipe
- Gestion des menaces et des erreurs

Alors que le travail sur un « guide de contenu et de rédaction » des MMS mené par le personnel du projet ASTRA se poursuivait, il est apparu que des guides similaires étaient nécessaires pour les autres publications des aéronefs, comme les manuels de vol (MV), les IEA, les listes de vérifications

et les manuels de référence rapide (QRH). C'est ainsi qu'a débuté le travail sur le Manuel de préparation des publications de vol (MPPV) des normes FA, l'objectif étant d'offrir des lignes directrices sur le style, le contenu et la présentation des MV/IEA, des listes de vérifications/QRH et des MMS. Le personnel du projet ASTRA a rencontré les ingénieurs principaux de la Direction de la navigabilité aérienne technique (DNAT) pour obtenir leur opinion sur la façon de traiter les données de navigabilité aérienne technique dans les publications de vol. Le personnel du projet ASTRA a également rencontré les hauts responsables du Centre de guerre aérospatiale des Forces canadiennes (CGAFC) afin de discuter de l'objet d'un MMS – quant à son lien avec la doctrine de la Force aérienne – et des différences entre un MMS et un manuel de tactiques, de techniques et de procédures (TTP). À la suite de ces discussions, des descriptions détaillées d'un MMS et d'un manuel TTP ont été élaborées :

Le MSS est un manuel « d'utilisation » détaillé qui dicte à l'équipage comment utiliser un système d'arme de la façon attendue par la Force aérienne. Le MSS comprend des données du constructeur de l'aéronef (MV/IEA/listes de vérifications), intègre des principes d'automatisation

et de PHAM et s'aligne sur la doctrine et la terminologie de la Force aérienne. Le MSS précise à chaque membre d'équipage – en ce qui concerne les mesures à prendre et les annonces à faire – exactement ce qu'il faut faire et dire, et à quel moment le faire et le dire.

Le manuel TTP est un « mode d'emploi » qui guide l'équipage dans l'emploi d'un système d'arme conformément à la doctrine de la Force aérienne.

À l'étape de la finalisation de l'ébauche du MPPV, les experts du projet ASTRA ont établi que des lignes directrices portant sur la préparation ou le raffinement des IPO devraient figurer dans le manuel. C'est pourquoi les entrepreneurs ont ajouté des renseignements détaillés sur les processus recommandés de préparation des procédures devant servir à préparer ou à raffiner des IPO complètes et robustes.

Les entrepreneurs du projet ASTRA ont travaillé étroitement avec le personnel des normes FA à la préparation et à l'accueil de la conférence sur les normes FA de juin 2011. Au cours de cette conférence, le travail sur



Photo : Adj Carole Morissette

« Grâce au projet ASTRA, un important travail a pu être accompli pour le compte de la 1 DAC, mais il reste encore beaucoup à faire. »

les politiques et les procédures d'automatisation s'est poursuivi. La première ébauche du MPPV et les 18 nouvelles CNT en automatisation et en PHAM produites dans le cadre du projet ASTRA ont également été présentées pour la première fois aux EEN, lesquelles ont pu en discuter. Le MPV et les nouvelles CNT en automatisation et en PHAM ont reçu un appui non équivoque de la part de toutes les EEN. Après quelques discussions, tous se sont entendus pour dire que les lignes directrices portant sur la préparation ou le raffinement des procédures figurant dans le MPPV devraient faire l'objet d'un test bêta avant que le manuel soit prêt pour être approuvé par l'autorité de navigabilité opérationnelle (ANO). Les participants à cette conférence se sont également entendus pour dire que la communauté chargée de la formation, et plus précisément les programmes sur multimoteur et sur voilure tournante de Portage, serait le meilleur endroit où introduire les 18 nouvelles CNT en automatisation et en PHAM produites pour le compte de la Force aérienne.

Grâce au projet ASTRA, un important travail a pu être accompli pour le compte de la 1 DAC, mais il reste encore beaucoup à faire. Malgré la

persistance des problèmes contractuels, nous espérons qu'une prolongation de ce contrat actuel sera bientôt approuvée et qu'un contrat pluriannuel d'aide du projet ASTRA entrera en vigueur au printemps 2012. Pour les six prochains mois, les plans actuels du projet portent sur les activités suivantes :

- Continuer à aider les normes FA et les EEN en matière d'automatisation
- Terminer le travail sur les mesures et les normes en matière d'automatisation et de PHAM
- Rédiger un plan de validation des nouvelles politiques et procédures d'automatisation
- Rédiger un plan de mise en œuvre des mesures du rendement en automatisation et en PHAM
- Évaluer les processus de préparation ou de raffinement des procédures tirées du MPPV dans une communauté choisie pour le déroulement des essais
- Évaluer la mise en œuvre des mesures de rendement en automatisation et en PHAM dans la communauté servant aux essais
- Formuler des commentaires relatifs au projet d'optimisation de la simulation et de la technologie de la 2 DAC
- Tenir et mettre à jour le site Web ASTRA
- Continuer à apporter son aide aux flottes prioritaires (PHM, CP140, HTML, Cormorant, TALE et BALE)

- Finaliser le MPPV et le soumettre à l'approbation

Les plans à long terme du projet ASTRA sont les suivants :

- Continuer à aider au développement des procédures/des manuels
- Aider les unités à mettre au point des programmes de formation sur aéronef et en simulateur conformes au projet ASTRA
- Incorporer les pratiques d'excellence dans toutes les évaluations en vol
- Aider les EEN à mettre en œuvre les nouvelles mesures et normes de rendement en automatisation et en PHAM
- Restructurer les consignes de vol de la Force aérienne (Manuel des opérations aériennes de l'ARC)

Le projet ASTRA est essentiel à l'ARC. Comme l'a déclaré le Major-général Blondin alors qu'il commandait la 1 DAC, le projet ASTRA est « la colle qui va nous tenir ensemble » pendant cette période de changements et de défis importants et c'est grâce à lui que nous pourrons être bien préparés à répondre aux exigences du 21^e siècle.

Pour en savoir plus sur le projet ASTRA, veuillez consulter le site Web préparé par les entrepreneurs chargés du projet, à l'adresse www.astraproject.ca

La vision synthétique

par le Capitaine Richard Grainger, Unité de soutien des Forces canadiennes Ottawa, Ottawa

Le Capitaine Grainger a servi dans la Royal Air Force du R.-U. et dans l'Aviation royale du Canada comme O G AERO, et il possède de l'expérience avec les avions à réaction rapides, les avions maritimes, les avions d'entraînement et les avions lourds ainsi que dans les activités de sécurité des vols. Il suit actuellement une formation de médecin militaire à l'Université d'Ottawa.



La vision synthétique (VS) est essentiellement l'affichage de la réalité virtuelle à l'intention des pilotes. Comme concept d'amélioration de la sécurité et de l'efficacité des opérations, elle existe depuis les années 1990, mais des systèmes commencent actuellement à faire leur apparition à bord des aéronefs. Le présent article explore une partie de l'histoire de la VS, décrit l'état actuel et prévisible des systèmes militaires et traite d'un certain nombre de problèmes et d'opportunités liés à la sécurité, aux opérations et à la procédure qui entourent les systèmes de VS.

Les instruments de vol et les afficheurs connexes servent fondamentalement à fournir aux pilotes les renseignements dont ils ont besoin pour piloter en toute sécurité leur aéronef, mais qu'ils ne peuvent recueillir eux-mêmes de façon fiable ou précise. Au début de

l'aviation, les vols s'effectuaient presque exclusivement à vue. Très rapidement, la nécessité de systèmes de détection et d'affichage de données de vol critiques s'est faite sentir afin de rendre les vols plus sécuritaires et d'accroître le domaine de vol opérationnel des aéronefs – par exemple, le vol dans des nuages et de nuit.

Le développement des instruments et des afficheurs a d'abord été le fait de l'aviation militaire pendant la Première Guerre mondiale, laquelle a connu une période de croissance et de changements spectaculaires dans un laps de temps relativement court. En 1918, le vol aux instruments de nuit était relativement courant. Au début, la plupart des instruments de vol affichaient un seul paramètre et il y avait très peu de normalisation quant à leur style, à leur symbologie et à leurs dimensions, et la plupart étaient simplement des cadrans noirs et blancs. Au fur et à mesure que s'est

accrue la complexité des afficheurs et des instruments, les pilotes ont dû composer avec un accroissement de leur tâche de travail d'interprétation. Les postes de pilotage se sont remplis de cadrans, de commutateurs et d'afficheurs ayant peu de communauté.

Bientôt confrontés à des aéronefs et à des systèmes de plus en plus rapides et de plus en plus complexes, les pilotes se sont vite retrouvés avec un problème de charge de travail et d'interprétation sans cesse croissant. Conséquence de la complexité des renseignements apparaissant dans le poste de pilotage, la distraction est devenue une cause d'accident courante, tout comme le manque de connaissance générale de la situation. Cependant, en même temps, on élaborait des solutions. Dans les années 1930, on a développé l'agencement en T standard des principaux instruments de vol pour faciliter la transition entre les

aéronefs. Plus tard, l'écran de visualisation tête haute (HUD) avait parmi ses principaux objectifs de permettre aux pilotes de garder la « tête haute » et d'être conscients de leur vitesse, de leur assiette et du relief environnant. Les afficheurs multifonctions permettent de prendre connaissance des renseignements désirés sur un instrument unique, mieux intégré et plus facile à lire. De telles améliorations technologiques, si elles sont bien conçues et correctement intégrées aux aéronefs et aux procédures, atténuent bon nombre de problèmes liés aux facteurs humains inhérents aux sources multiples et contradictoires qui présentent, dans de nombreux formats différents, les renseignements dont ont besoin les pilotes.

En aviation, le concept de VS est la suite logique de cette « éternelle course » entre les intrants et la capacité de traitement des renseignements que reçoit le pilote. Depuis la fin des années 1990, les concepts sont devenus bien établis, la technologie

habilitante a évolué et de nombreux systèmes sont en cours de développement, quelques-uns seulement étant en service.

POINT DE RÉFLEXION – LES INSTRUMENTS DE VOL SONT-ILS ENCORE LA SOLUTION?

En vol, un pilote a besoin de connaître un grand nombre de renseignements difficiles à capter directement. Un instrument de vol bien conçu constitue le meilleur moyen d'afficher ces renseignements. Est-ce vrai, faux, ou en partie vrai et en partie faux? La technologie de la détection et de l'affichage nous a-t-elle presque libérés du besoin de tout instrument, ou est-ce qu'il nous faut toujours un tableau de base? La VS sera-t-elle le point tournant marquant le début de la disparition de la plupart des instruments « traditionnels », sinon de tous ces instruments?

POINT DE RÉFLEXION – REPRÉSENTATION VISUELLE OU CONCEPTUELLE DES RENSEIGNEMENTS DE VOL

Les êtres humains interagissent généralement avec le monde de façon essentiellement visuelle. En descendant une pente raide à bicyclette, par expérience, on peut habituellement détecter visuellement si on roule trop vite. Cependant, nous sommes également très forts en conceptualisation. Une personne peut ne pas détecter directement une vitesse de 600 noeuds au FL330, mais la lecture d'un altimètre et d'un ASI lui permettra de conceptualiser rapidement la situation.

Même si la vitesse ne possède pas de contrepartie visuelle réelle, le vol aux instruments traditionnels nécessite que l'on maîtrise la coordination d'au moins trois instruments d'affichage relativement complexes, tout en conservant une image mentale de la position physique, de l'assiette et de la vitesse de l'aéronef.

La meilleure représentation visuelle de la vitesse peut donc être un nombre, mais la meilleure représentation de la position peut tout à fait être une image par rapport au sol et aux caractéristiques connues. La VS permet la représentation directe d'une telle image, réduisant ainsi la charge de travail et la nécessité d'avoir de nombreux afficheurs ou indicateurs.



Photo : Sdt Lori Geneau

Alors, qu'est-ce que la VS?

Le principal objectif de la VS consiste à améliorer la sécurité des opérations, l'efficacité et l'efficience en fournissant un affichage visuel de l'ensemble des renseignements pertinents, tout en réduisant les distractions, les omissions et la charge de travail du pilote. Pour atteindre cet objectif, la clé consiste à obtenir une meilleure connaissance de l'assiette et de la position dans une zone d'affichage unique. De plus, les systèmes de VS sont extrêmement flexibles quant à leur format, à leur contenu et à leur présentation; on peut agrémenter « le sol » de caractéristiques en y ajoutant des renseignements sur le relief et sur les obstacles, et agrémenter « l'air » de voies aériennes, d'espaces aériens réglementés, d'aéronefs additionnels et d'autres renseignements de vol utiles. Voici quelques caractéristiques de la VS ainsi que les impacts possibles :

Affichage n'importe où : L'image VS peut être présentée sur tout afficheur convenable, dans tout format désiré (par exemple, intégrée à l'intérieur de l'AI et simultanément sur un MFD en

mode navigation ou encore sur un transparent superposable à l'intérieur d'un HUD). Des renseignements VS texturés et personnalisés peuvent être affichés sur l'AI au lieu des hémisphères brun et bleu standard, et on peut conserver toute la symbologie standard relative à l'assiette de l'aéronef et aux renseignements sur le vol.

Renseignements de vol : On peut intégrer des symboles de direction du vol à l'image VS, permettant ainsi des repères visuels directs et de la rétroaction pour un vol aux instruments et de précision. Lorsqu'il y a asservissement à des descentes ou à des marqueurs ILS, on peut effectuer des approches ILS à vue. On peut représenter des voies aériennes ainsi que des espaces aériens sécuritaires ou réglementés, et presque tout autre renseignement utile au vol. Il est également possible d'effectuer des mises à jour en temps réel des NOTAM pertinents.

Voir le sol : On peut facilement « voir » le sol et les obstacles sur l'afficheur. Au moyen de transparents superposables, un HUD de VS rend plus visible une scène qui l'est peu. Il est possible de modifier les paramètres relatifs aux transparents superposables de VS, comme la transparence et la luminosité, pour les adapter aux conditions.



Photo : Cpl James Nightingale

Renseignements sur les menaces : Dans le cas d'opérations militaires, on peut intégrer les zones de menaces à l'afficheur. Les détecteurs de menaces embarqués peuvent être asservis à l'intérieur de l'afficheur en vue de l'obtention d'une image et d'alertes en temps réel.

Spécificité des missions : On peut programmer ou adapter l'afficheur pour des types spécifiques de missions.

Connectivité externe : On peut raccorder un signal d'entrée externe directement à l'afficheur, et on peut également envoyer à l'externe l'image de VS ou des paramètres clés.

Sécurité des vols : On peut enregistrer un « point de vue du pilote » pour améliorer les études.

Instruction : On peut analyser ou visualiser une sortie de VS enregistrée à partir de tout angle ou de tout point de vue externe.

Même si les caractéristiques précédentes peuvent avoir un effet sur de nombreux domaines des

« Le principal objectif de la VS consiste à améliorer la sécurité des opérations, l'efficacité et l'efficience en fournissant un affichage visuel de l'ensemble des renseignements pertinents, tout en réduisant les distractions, les omissions et la charge de travail du pilote. »

« Sécurité des vols :
On peut enregistrer un
"point de vue du pilote"
pour améliorer les études. »

opérations (par exemple, des hauteurs minimales d'approche à l'atterrissage plus faibles, compte tenu de l'amélioration prévue de la précision), il existe de nombreux facteurs humains et problèmes de sécurité connexes. En voici quelques-uns :

Affichage de tous les points de vue : Même si les systèmes actuels cadrent avec la philosophie des afficheurs actuels (par exemple, tout dans un AI correspond à une vue des yeux du pilote), la VS peut être projetée à partir de tout point dans l'espace, tout comme le pilote d'un simulateur de vol pour ordinateur personnel peut choisir une vue extérieure. Par exemple, un chef de formation pourrait voir sa formation à partir de tout point dans l'espace.

Zoom avant ou arrière : Tout comme des points de vue variables sont possibles, des changements d'échelle ainsi que des zooms avant ou arrière le sont aussi. Il n'est pas du tout évident qu'il s'agisse là de caractéristiques souhaitables du point de vue des facteurs humains et de la sécurité des vols.

Modifications de la symbologie : Il existe peu ou pas de symbologie normalisée pour beaucoup des nouveaux éléments affichés dans les systèmes de VS, mais il est relativement facile de modifier des symboles. Il est possible que la sélection des symboles soit commandée par le pilote; une telle sélection introduit des aspects potentiellement dangereux relativement aux facteurs humains.

Conditions de panne et/ou de détérioration : Dans une image de VS complète, sur l'écran d'un AI par exemple, il n'y a aucune comparaison possible avec le monde extérieur réel. En pareil cas, une condition de « panne » automatisée doit être définie et indiquée. Une certaine réaction méthodique – peut-être un retour au « vrai » vol aux instruments – est alors requise. Dans les systèmes VS partiels ou mixtes, un transparent superposable sur une certaine vue du monde réel est présenté (au moyen d'un HUD, par exemple), et il y a possibilité de comparaison permettant au pilote de repérer les incohérences.

Criticité : La VS est-elle une fonction critique pour la sécurité des vols? Dans l'affirmative, est-elle critique pendant toutes les phases de vol ou simplement pendant certaines? De quelle façon devrait-on certifier ces systèmes?

Type de vol : Le vol en VS entre-t-il dans la catégorie actuelle des vols aux instruments ou des vols à vue, ou est-il de type hybride?

POINT DE RÉFLEXION – LES SYSTÈMES DE VS ENTRENT DANS QUELLE CATÉGORIE : IFR, VFR OU AUTRE?

On comprend bien la relation actuelle entre VFR, IFR, VMC et IFC, mais la nature de l'utilisation des systèmes de VS à leur plein potentiel militaire n'est pas encore clairement définie. Dans le cas d'un système de VS complet monté sur casque, s'agit-il d'un vol « aux instruments », même si les conditions VMC du pilote respectent les VFR? Quels sont les minima de réversion aux IFR « traditionnelles » en cas de détérioration ou de panne du système?

Psychologie des pilotes : Jusqu'à maintenant, les essais en vol et en simulateur de différents systèmes démontrent que les pilotes s'adaptent rapidement aux images de vision synthétique complètes et partielles. Cependant, cette adaptation rapide aux images virtuelles se traduit-elle en une négligence du monde réel et, dans l'affirmative, quels sont les « symptômes » qu'occasionne cette

« Il est possible que la sélection
des symboles soit commandée
par le pilote; une telle sélection
introduit des aspects potentiellement
dangereux relativement aux
facteurs humains. »

négligence? Qu'en est-il d'une image mixte – les pilotes auront-ils tendance à se fixer sur le transparent superposable virtuel?

POINT DE RÉFLEXION – LA VS EST-ELLE OU NON UNE IMAGE DU MONDE RÉEL?

Même si pour le moment il est évident que les graphiques des images de VS complètes ne sont pas « réels » et que le pilote est en mesure de s'en apercevoir, grâce aux améliorations à venir du rendu, il se peut que dans relativement peu de temps, l'image soit assez bonne pour tromper l'œil humain. Serait-il plus sécuritaire de la garder « irréaliste » de façon évidente, ou vaudrait-il mieux en améliorer la résolution et le détail? Est-il nécessaire de voir le « raccord » entre l'image réelle et l'image numérique?

POINT DE RÉFLEXION – SYSTÈMES DE VS : DIMINUTION DE LA NORMALISATION = DIMINUTION DE LA SÉCURITÉ?

Si le plein potentiel de personnalisation (symbologie des pilotes, couleur, type de mission, point de vue extérieur, connectivité, etc.) de la VS est atteint, tire-t-on parti de la flexibilité aux dépens de la sécurité? De quelle façon évalue-t-on où se trouve l'équilibre optimal?

La VS peut également constituer un substitut visuel complet dans des conditions de perte soudaine et totale de repères visuels, comme lors du « voile brun » au moment où des hélicoptères atterrissent dans des conditions poussiéreuses. La perte de conscience de la situation pendant les dernières secondes d'un atterrissage dans ces circonstances est prévisible et dangereuse. Même si les instruments, le GPS et une base de données terrain fournissent des renseignements spatiaux précis pour les atterrissages, il se peut que de nombreux obstacles, comme des bâtiments, des antennes, des véhicules, du personnel et des câbles, ne soient pas représentés, et que les pilotes doivent souvent interpréter différents afficheurs et intégrer eux-mêmes les renseignements pendant une phase de vol complexe. Comme les renseignements insuffisants et la charge de travail élevée qui en résultent accroissent le risque pour les aéronefs, soit la flexibilité opérationnelle est compromise par la modification de la mission, soit il faut accepter un risque intempestif pour l'équipage et l'hélicoptère.

La combinaison de renseignements en temps réel provenant d'un capteur embarqué et d'instruments, d'un GPS et de cartes morphographiques ainsi que leur affichage dans une image de VS améliorent énormément la situation. Lorsque la résolution de détection et d'affichage est convenable, les obstacles et les dangers deviennent « visibles » et ils sont également représentés dans un contexte convenable pour les atterrissages. Un afficheur de VS visant à minimiser la charge de travail liée à l'interprétation et à réduire la distraction (comme lorsqu'on regarde par le pare-brise du poste de pilotage et qu'il n'y a pas de poussière) devrait permettre l'optimisation de la connaissance de la situation.

Les systèmes de VS permettent également l'élargissement du champ de vision du pilote afin de procurer une vue complète « à travers l'aéronef », dans toute direction. Des visiocasques asservis à la direction de la vision, combinés à de nombreux capteurs montés sur le fuselage, permettront au pilote de regarder et de voir n'importe où. L'intégration de ces systèmes aux opérations, aux



Photo : Cpl David Cribb

tactiques et à l'instruction sera difficile. Il y a également des questions additionnelles liées aux facteurs humains, par exemple comment composer psychologiquement avec la disparition virtuelle de sa cellule si on peut l'effacer? Il reste à évaluer d'autres problèmes, comme les effets possibles à long terme sur la santé squelettique associés au fait que les le système d'affichage visuel du pilote.

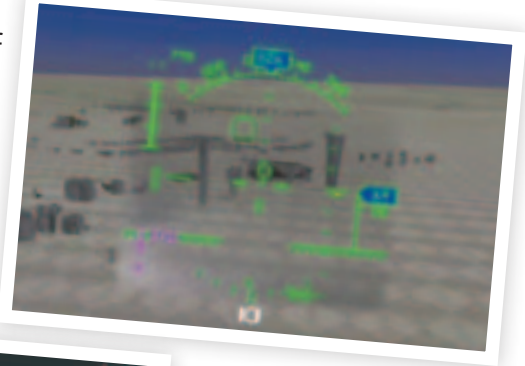
POINT DE RÉFLEXION – LES SYSTÈMES DE VS VONT- ILS MENER À UN POSTE DE PILOTAGE VIRTUEL?

Bien que ce ne soit pas pour tout de suite (sauf peut-être dans le monde des UAV), un système de VS monté sur casque permettrait-il la création d'un poste de pilotage virtuel ne comportant qu'une manette, un manche et des commutateurs?

En conclusion, les systèmes de VS constituent une extension de développements visant à combiner la présentation des renseignements de vol en une seule image, et ce, afin d'améliorer la sécurité des opérations, l'efficacité et l'efficacité. Des

« Les systèmes de VS constituent une extension de développements visant à combiner la présentation des renseignements de vol en une seule image, et ce, afin d'améliorer la sécurité des opérations, l'efficacité et l'efficacité. »

Afficheur VS tête basse avec LiDAR intégré, IR et base de données terrain ainsi qu'une entrée d'instrument de vol pour l'atterrissage d'hélicoptères dans des conditions de voile brun ou de mauvaise visibilité (reproduite avec la permission de M. G Laflamme, CAE Inc.).



Afficheur principal de VS de vol SmartDeck de L-3 Avionics Systems décrivant le relief dans la région de Reno et du lac Tahoe (reproduite avec la permission de M. R Bowes, L-3 Communications MAS Canada).

renseignements sur la direction et sur l'espace aérien en vol à vue sont ajoutés à l'assiette, au relief et aux paramètres de vol standard, ce qui a pour effet de rassembler les renseignements requis sur un seul afficheur et d'apporter des solutions spécifiques à des problèmes, comme le voile brun. Dans le futur, l'incorporation de multiples entrées de capteurs pourrait permettre aux pilotes de « voir » dans toute direction à travers la cellule, et leur intégration aux autres capteurs et systèmes (embarqués et extérieurs) aura un impact important sur le potentiel militaire.

L'image VS peut être présentée sur tout afficheur convenable, notamment sur les MFD, sur l'AI et sur le HUD du poste de pilotage ainsi que dans les systèmes montés sur casque. Même si on doit procéder à des recherches

complètes portant sur les avantages potentiels et sur les problèmes liés aux facteurs humains, il existe de nouvelles données à l'effet que les avantages en matière de sécurité sont réels. Au fur et à mesure que la capacité et la résolution des systèmes augmentent, il faut prendre conscience des lacunes potentielles en matière de sécurité et pouvoir les éliminer, tout en étant au courant des avantages évidents. La technologie de traitement et d'affichage évolue, et elle commence actuellement à apparaître sur le marché aérospatial; d'autres applications potentielles et utilisations opérationnelles abondent. Nous en sommes aux premiers stades de l'utilisation de la VS dans le but d'en tirer un maximum d'avantages en matière d'exploitation et de sécurité. Une chose est sûre – on verra davantage de systèmes de VS dans le futur.

Automatisation croissante : **avantage ou inconvénient?**

par le Capitaine John Dixon, Direction de la sécurité des vols, Ottawa

Durant une carrière « mixte » dans l'aviation, le Capitaine Dixon a accumulé près de 14 000 heures de vol sur divers aéronefs, notamment des CC138, CC130, A310, A320, B707, B737, B757 et B767. Il est actuellement le rédacteur en chef du périodique « Propos de vol » à titre de DSV 3-3.

« Au cours des dernières années, la plus importante cause d'accident est devenue la perte de maîtrise. [...] Il y a donc lieu de se demander si l'automatisation croissante aggrave la situation, étant donné que les équipages de conduite n'ont pas beaucoup d'occasions de piloter manuellement l'aéronef. »¹

Je me souviens d'un équipage de conduite qui avait peu d'expérience de pilotage sur l'Airbus 320, appareil très avancé sur le plan technologique (à l'époque). Le pilote automatique relié au système de gestion de vol (FMS) avait mis l'avion dans un circuit d'attente parfait, effectué la compensation pour le vent et maintenu l'avion dans le circuit à la perfection. Lorsque l'ATC a indiqué à l'équipage de sortir du circuit et d'effectuer l'approche, l'avion est resté dans le circuit. Aux interrogations de l'ATC, l'équipage n'a pu que répondre qu'il essayait de trouver comment procéder pour que le FMS fasse sortir l'avion du circuit d'attente.

En 1992, l'équipage d'un autre A320 a heurté le flanc d'une montagne à un taux de descente élevé. Le pilote automatique embrayé, le pilote aux commandes a programmé un angle de descente de 3,3 degrés pour l'approche, du moins c'est ce qu'il croyait. Dans les faits, l'équipage avait plutôt programmé un taux de descente de 3300 pieds/minute.

Les progrès de la technologie dans le milieu de l'aviation, tant pour les voilures fixes que tournantes, ont contribué à la baisse soutenue des taux d'accident depuis la Seconde Guerre mondiale. Les moteurs sont incroyablement fiables, les cellules sont fabriquées selon des spécifications des plus rigoureuses, et la fiabilité, la lisibilité et les dispositifs de sécurité de l'avionique et des instruments se sont améliorés. En quoi des dispositifs de haute technologie conçus pour éliminer les accidents pourraient-ils en fait y contribuer?

Il existe de nombreux exemples où des aéronefs en bon état de fonctionnement ont été l'objet d'incidents et d'accidents attribuables, au moins en partie, à la mauvaise utilisation de l'automatisation dans le poste de pilotage. Parmi les nombreux exemples disponibles, trois d'entre eux sont présentés aux fins du présent article.



Photo : Cpl Marc-André Gaudreault

12 JUILLET 2006, CH149914 CORMORANT, BAIE DE CHEDABUCTO, PRÈS DE CANSO, (NOUVELLE-ÉCOSSE)

L'accident s'est produit lors d'une tentative de remise des gaz après une approche de nuit vers un bateau de pêche. Pendant la remise des gaz, l'hélicoptère a piqué du nez et, quelques secondes plus tard, il s'est abîmé dans l'eau à une vitesse avant de 69 nœuds et dans un piqué de 18 degrés. Les trois pilotes et le chef d'équipe Tech SAR ont été blessés, mais ils ont survécu à l'accident. Les deux mécaniciens de bord et l'équipier Tech SAR n'ont pas été en mesure de sortir de l'hélicoptère et ils ont péri.

L'hélicoptère a subi des dommages trop coûteux à réparer.

Rien n'indique qu'une défectuosité de système ait contribué à l'accident. L'enquête a révélé que la technique de compensation du pilote aux commandes avait saturé les vérins de pas des commandes de vol, ce qui a causé la perte du système de stabilisation automatique de l'hélicoptère. Dans ce cas, l'instabilité inhérente de l'hélicoptère s'est combinée aux sollicitations du pilote pour créer une forte assiette en

piqué non reconnue et une trajectoire de vol en descente.

Les conditions environnementales (obscurité, horizon distant à peine perceptible et eaux calmes) ne permettaient pas de poursuivre le vol strictement en fonction des références extérieures. L'assiette à piquer et la descente n'ont été décelées par aucun des trois pilotes dans un environnement offrant peu de repères visuels, parce les pilotes n'ont pas utilisé leurs instruments de vol de façon adéquate.

25 FÉVRIER 2009, BOEING 737-800, AÉROPORT D'AMSTERDAM-SCHIPHOL

Cinq passagers, un agent de bord et les trois pilotes sont morts, alors que 117 passagers et trois agents de bord ont été blessés lorsque l'avion a heurté le sol 1,5 km avant la piste.

L'avion avait été guidé au radar pour une approche au système d'atterrissage aux instruments (ILS) jusqu'à une position au-dessus de

la pente de descente. Un des pilotes automatiques et la commande automatique de poussée étaient embrayés. De nombreuses erreurs liées à l'automatisation ont été effectuées, et il en est résulté que lorsque l'avion a intercepté la pente de descente, la commande automatique de poussée s'est mise au ralenti en raison de la défaillance de l'altimètre

radar gauche. La vitesse indiquée diminuant, le pilote automatique a augmenté l'angle de tangage de l'avion afin de demeurer dans la pente de descente. Aucun des trois pilotes dans le poste de pilotage n'a remarqué la perte de vitesse indiquée avant que le « vibreur de manche » ne s'active. L'avion a subi un décrochage aérodynamique et s'est écrasé.

1^{ER} JUIN 2009, AIRBUS 330, OCÉAN ATLANTIQUE

L'A330 s'est abîmé dans l'océan Atlantique, entraînant la perte des 228 personnes à bord. Il semble que l'avion pouvait être piloté et que les moteurs fonctionnaient

normalement, mais il s'est mis dans un cabré à la suite d'un décrochage aérodynamique et a perdu 38 000 pieds d'altitude avant de heurter l'eau. Il a été

déterminé que quelques minutes avant la perte de l'avion, les indications des tubes de Pitot (capteurs de vitesse) étaient incohérentes.

Qu'ont en commun ces accidents et plusieurs autres survenus dans les dernières années? En grande partie, le fait que dans un aéronef moderne et avancé sur le plan

technologique, la conscience de la situation peut être perdue à tel point qu'un aéronef pilotable et en état de fonctionnement puisse s'écraser. Qu'est-ce qui

explique cette situation alors que les aéronefs sont équipés de technologies « utiles » qui réduisent la charge de travail et améliorent la sécurité?

En examinant la génération précédente d'aéronefs, on constate qu'il y avait souvent quatre membres d'équipage de conduite : le commandant de bord, le copilote, le navigateur et le mécanicien de bord. En général, un des pilotes était aux commandes tandis que l'autre assurait les communications radio et surveillait les instruments. Le navigateur aidait le pilote aux commandes en lui donnant des renseignements de navigation et le mécanicien de bord avait sous sa charge les systèmes d'aéronef, y compris parfois la gestion de la poussée. Lorsqu'une urgence se produisait, des vérifications de mémoire puis une liste de vérifications papier étaient passées en revue. Selon la situation, les tâches étaient partagées pour réduire au minimum la charge de travail d'une personne. Par exemple, le commandant de bord pouvait prendre les commandes, passer en revue les vérifications de mémoire et la liste de vérifications conjointement avec le copilote, indiquer au navigateur de prendre charge des communications radio pour obtenir l'autorisation d'atterrir à l'aéroport le plus proche, et indiquer au mécanicien de bord de lire la

liste de vérifications papier. Ainsi, pratiquement toute l'attention des deux pilotes était portée au *pilotage de l'aéronef*.

Je me souviens d'un incident dans les FC impliquant un CC130 à la fin des années 1980. Au départ, par un temps au plafond bas, l'aéronef est entré dans un nuage à 200 pieds au-dessus du sol. À ce point, le commandant de bord s'est fait dire sur l'interphone qu'il y avait un incendie. Les deux pilotes et le mécanicien de bord, pensant que l'arrimeur parlait d'un incendie moteur, se sont concentrés sur la recherche de signes d'incendie (en fait, l'incendie était un petit feu à l'arrière de l'avion qui a rapidement été éteint). Le prochain appel sur l'interphone était « inclinaison! » puisque l'aéronef était à présent dans un virage en descente par inadvertance et l'inclinaison approchait 90 degrés. L'avion est sorti en sécurité du virage à 400 pieds au-dessus du sol. C'est le navigateur qui a fait l'appel qui a probablement sauvé l'avion.

Aujourd'hui, dans de nombreux postes de pilotage, un pilote est aux commandes de l'aéronef et assure une bonne navigation, tandis que l'autre pilote effectue les communications, passe en revue les listes de vérifications en situation normale et anormale et surveille les erreurs possibles du pilote aux commandes. Lorsque la charge de travail devient plus importante, comme c'est inévitablement le cas de temps en temps, il n'y a que deux membres d'équipage sur qui la répartir.

De nombreuses innovations technologiques qui ont contribué à réduire l'équipage de conduite à deux membres réduisent bel et bien la charge de travail et améliorent la sécurité de l'aéronef. Toutefois, qu'arrive-t-il si les pilotes viennent à s'appuyer sur ces innovations et que, pour diverses raisons, elles sont soudainement inaccessibles? Qu'arrive-t-il si ces innovations fournissent des indications erronées, faisant ainsi en sorte que la technologie fait partie du problème plutôt que de la solution? Et si les innovations technologiques devenaient si complexes que les pilotes n'avaient plus une pleine compréhension des véritables répercussions de certaines caractéristiques?

L'A330 d'Air France qui s'est écrasé comportait de nombreuses innovations améliorant la sécurité, lesquelles devaient empêcher d'entrer en décrochage et d'y rester. Il semble que dans ce cas, de nombreux avertissements tant visuels que sonores ont probablement créé de la confusion chez l'équipage de conduite et l'a distraité quant à la véritable nature du problème. Dans un aéronef plus ancien dépourvu de ces innovations améliorant la sécurité, l'équipage aurait réglé la puissance et l'altitude à des valeurs préétablies sans se poser de question avant d'évaluer le problème. Depuis cet accident, la marche à suivre en cas de perte des indications de vitesse en vol fait de nouveau partie de la formation nécessaire malgré les avancées technologiques.

« Le prochain appel sur l'interphone était "inclinaison!" puisque l'aéronef était à présent dans un virage en descente par inadvertance et l'inclinaison approchait 90 degrés. »



Photo : Cpl Tom Parker

Une des indications les plus élémentaires à surveiller à bord d'un aéronef en vol est la vitesse indiquée. Sur un B737 qui fonctionnait plutôt bien, comment l'équipage de conduite composé de trois pilotes dans le poste de pilotage est-il arrivé à faire décrocher l'avion à l'approche d'Amsterdam alors que les deux moteurs fonctionnaient parfaitement bien? Avant l'utilisation de la commande automatique de poussée, ce genre de problème n'existait pas. Cette innovation technique, sur laquelle les pilotes s'appuyaient, n'a pas fonctionné normalement et a nuit aux efforts de rétablissement. À un moment de l'approche, le copilote a poussé sur les manettes de gaz, contre la commande automatique de poussée, pour augmenter la poussée et maintenir la vitesse. Étant donné que l'altimètre radar gauche indiquait moins 8 pieds, les calculateurs de bord considéraient que l'avion était au sol et la commande automatique de poussée s'est mise en mode « retard » (ralenti), ce qui a ramené automatiquement les manettes de poussée à la position ralenti. Il est presque certain que l'avion ne se serait pas écrasé si le pilote aux commandes l'avait piloté manuellement en commandant directement la poussée.

Lorsque j'étais membre du 437^e Escadron de transport et que l'unité est passé du B707 à l'A310, au début l'escadron a tenté d'adapter les procédures d'utilisation normalisées (SOP) de l'ancien appareil à l'A310 – décision qu'Airbus n'appuyait pas. Je ne vais pas donner des détails, mais disons simplement que la méthodologie nécessaire pour piloter un aéronef à la technologie beaucoup plus ancienne était très différente et qu'on s'est aperçu très rapidement qu'Airbus avait raison. Une grande partie des SOP de l'avionneur ont été adaptées pour être utilisées par l'escadron.

Cette expérience a permis de tirer une autre leçon, à savoir qu'il essentiel de bien comprendre les systèmes d'aéronef, les divers niveaux de technologie et l'interface servant à utiliser l'aéronef. Ce genre de connaissance permettra d'éviter d'avoir à prononcer un « qu'est-ce qui se passe? » Savoir ce qui va se produire *avant* l'événement est très important pour éviter les surprises dans le poste de pilotage.

Quand j'ai commencé à piloter l'A310, on nous autorisait à décoller au-dessus d'un repère en particulier puis d'effectuer un virage à gauche de 120 degrés pour s'établir sur la

trajectoire de vol. Nous avons sagement programmé le repère et le virage avant de partir en mode NAV pour respecter l'autorisation. Nous ne le savions pas, mais afin de virer de 120 degrés et de s'établir sur la trajectoire de vol, l'aéronef a « décidé » d'amorcer le virage 3 milles avant le repère, ne respectant ainsi pas l'autorisation. La leçon à tirer de cette situation est que si l'aéronef ne fonctionne pas comme vous le voulez, vous pouvez changer la situation. Vous pouvez toujours déconnecter les systèmes automatiques pour prendre manuellement les commandes!

À ce sujet, combien de pilotes s'exercent régulièrement au pilotage sans assistance technologique? Certaines entreprises de transport aérien incitent leurs pilotes à débrayer le pilote automatique et la commande automatique de poussée pour piloter manuellement l'aéronef sur une base régulière, surtout par beau temps dans les zones où il y a peu de circulation. Il y a ainsi une contre-vérification des compétences et les pilotes ont plus confiance en leurs capacités en cas de défaillance multiple des systèmes.

En conclusion, les technologies efficaces devraient améliorer le bilan de sécurité en aviation. L'élément humain constituant le maillon faible, c'est donc là que chacun de nous doit faire sa part pour s'assurer d'être en mesure de relever le défi.

En conclusion, les technologies efficaces devraient améliorer le bilan de sécurité en aviation. L'élément humain constituant le maillon faible, c'est donc là que chacun de nous doit faire sa part pour s'assurer d'être en mesure de relever le défi.

Référence

1. *Aero Safety World*, septembre 2010, « Inside Air France 447 », p. 54, citation de M. Tony Cable.

ADS-B. Génial...

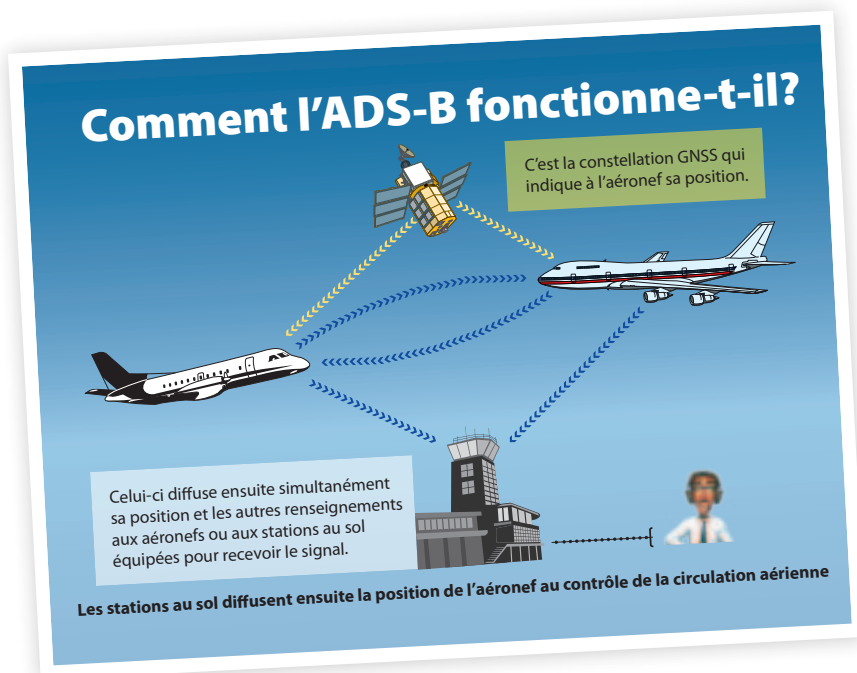
un autre sigle à connaître

par le Capitaine Scott Anningson, Pilote examinateur de vol aux instruments, Quartier général de la 1^{re} Division aérienne du Canada, Winnipeg, Manitoba

Le Capitaine Anningson est instructeur et concepteur de procédures aux instruments de l'Escadrille des pilotes examinateurs de vol aux instruments du Centre de performance avancée – Section des normes de la Force aérienne, à Winnipeg.

J'ai amené ma fille au travail lors de la journée « Invitons nos jeunes au travail ». Bien qu'elle se soit amusée, elle m'a confié qu'elle ne comprenait pas la plupart des termes utilisés par les pilotes : « VOR, se tirer sur l'ILS, GPS, remise des gaz, NDB, couple, air de prélèvement, PFL, boudins de dégivrage, autorotation, OACI, ED, pilote du dimanche, RNAV, RNP, etc. ». Pour elle, c'était de l'*aviationais*.

« Pour elle, c'était de l'*aviationais*. Voici un autre sigle à ajouter à notre lexique : ADS-B. »



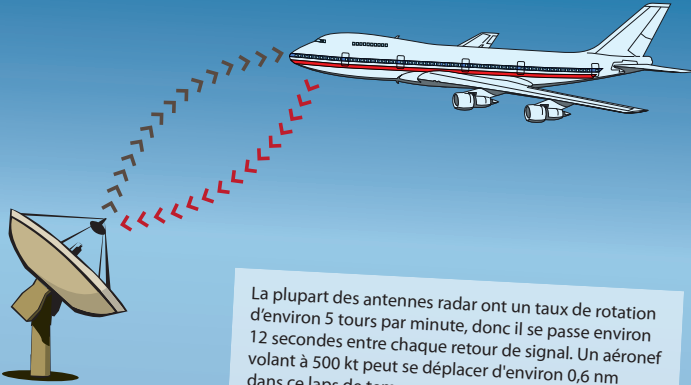
Voici un autre sigle à ajouter à notre lexique : ADS-B. Quelqu'un se souvient-il des mots *extinction auditive* par hasard?

L'ADS-B est un nouveau système de surveillance de l'ATC (contrôle de la circulation aérienne) qui va remplacer le radar conventionnel. Il est déjà utilisé au-dessus de la baie d'Hudson et on prévoit étendre le système à tout l'espace aérien intérieur du Nord au Canada.

Selon la réglementation récente aux États-Unis, tous les aéronefs exploités dans un espace aérien exigeant maintenant des transpondeurs en mode C ou S devront être équipés de sortie ADS-B d'ici le 1^{er} janvier 2020. L'Europe envisage de rendre obligatoire la pose d'ADS-B sur tous les aéronefs d'ici 2015. Le Canada n'a pas encore dévoilé ce qu'il prévoit exiger. Parce que les opérations de la force aérienne sont souvent de nature expéditionnaire

RADAR

Habituellement, un radar de surveillance envoie un signal auquel le transpondeur de l'aéronef répond pour indiquer sa position.



La plupart des antennes radar ont un taux de rotation d'environ 5 tours par minute, donc il se passe environ 12 secondes entre chaque retour de signal. Un aéronef volant à 500 kt peut se déplacer d'environ 0,6 nm dans ce laps de temps.

et comprennent des déplacements dans les espaces aériens des États-Unis et de l'Europe, il faudra acquérir une expertise sur ce genre d'équipement.

Quelle est la signification du sigle?

ADS-B signifie surveillance dépendante automatique en mode diffusion (« Automatic Dependent Surveillance – Broadcast » en anglais). Ça tombe bien, le terme décrit le système.

Surveillance – Ce renseignement est utilisé pour déterminer la position et la trajectoire probable de l'aéronef, du véhicule, du navire ou de tout autre équipement doté de ce système.

Dépendante – Le système dépend des sources de renseignements de l'aéronef. Il utilise la position, les vecteurs vitesse, les altitudes et les distances tirés des systèmes WAAS (système de renforcement à couverture étendue)/GPS (système de positionnement mondial), éventuellement FMS (système de gestion de vol) et/ou INS (système de navigation par inertie), et il regroupe ces renseignements avec l'indicatif d'appel et le type ou la catégorie d'aéronef dans un format numérique.

Automatique – Le système est complètement automatisé. Il s'agit d'une « boîte » dans un avion qui diffuse des données sur l'appareil. Il diffuse périodiquement des renseignements sans que le pilote ou l'ATC n'ait à intervenir.

Mode diffusion – Les renseignements diffusés peuvent être captés par tous ceux qui ont l'équipement de réception approprié. Habituellement, ce sont les autres aéronefs et l'ATC, mais un navire, le bureau des opérations ou un centre multinational d'opérations aériennes (CMOA) peuvent également capter les renseignements à l'aide de leur propre équipement de réception.

Le système est composé de deux éléments : l'entrée ADS-B et la sortie ADS-B. La sortie ADS-B sert à la diffusion extérieure des données. L'entrée ADS-B sert à la réception des données diffusées par d'autres ADS-B, au sol comme dans les airs. Trois solutions de liaison sont possibles. La première consiste à utiliser les « squitters » (réponses spontanées) sur la bande 1090 MHz des transpondeurs en mode S conventionnels, ce qu'on appelle un squitter long. Des données sont ajoutées à une réponse plus longue, laquelle est diffusée par le transpondeur. Une autre solution

« Une autre solution consiste à utiliser la bande 978 MHz d'UAT ("Universal Access Transceiver" ou transpondeur à accès universel) réservée à l'ADS-B mais elle nécessite l'acquisition de transpondeurs à cet effet. »



« En comparaison, la surveillance radar de l'ATC nécessite un balayage radar et des rafales d'impulsion. »

consiste à utiliser la bande 978 MHz d'UAT (« Universal Access Transceiver » ou transpondeur à accès universel) réservée à l'ADS-B mais elle nécessite l'acquisition de transpondeurs à cet effet. La troisième solution consiste à établir un système de liaison de données VHF en mode 4 utilisant les fréquences VHF d'aviation disponibles.

Le système ADS-B dans un avion mettra à jour et diffusera les renseignements selon un taux d'au moins un message par seconde. Il fonctionne au sol comme dans les airs.

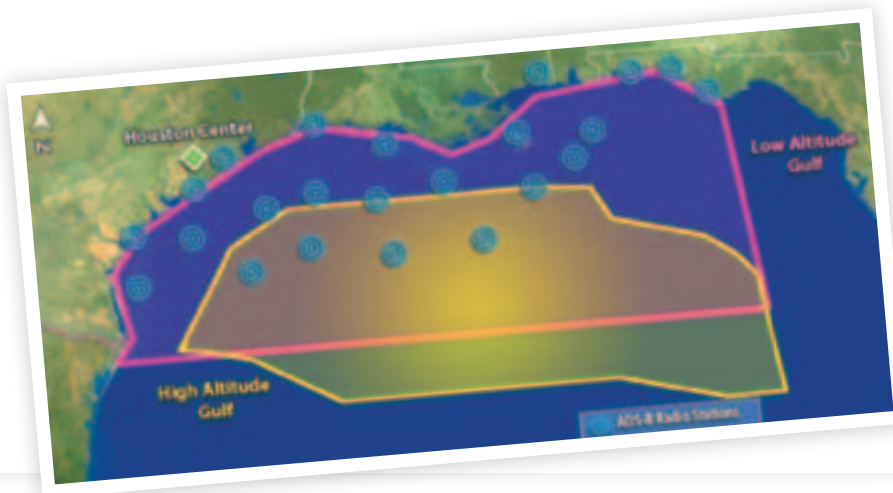
En comparaison, la surveillance radar de l'ATC nécessite un balayage radar et des rafales d'impulsion. Les transpondeurs en mode A, C ou S sont interrogés et répondent par un « squawk ». Après quelques balayages et de savants calculs par un ordinateur au sol, l'écran d'un contrôleur affiche assez précisément la position, la direction et la vitesse de l'aéronef. Toutefois, étant donné les lacunes et les erreurs en distance, le radar de l'ATC est suffisamment

précis pour permettre à des aéronefs IFR d'être de 3 à 5 milles l'un de l'autre, sans plus.

Grâce à la diffusion automatique et plus fréquente des renseignements d'ADS-B par l'avion, la précision avec laquelle on peut déterminer la position de l'aéronef est de quelques centaines de pieds plutôt que quelques milles. La précision de l'altitude et de la vitesse est également très améliorée et beaucoup plus fiable que celle obtenue par le radar de l'ATC. Grâce à cette plus grande précision, l'ADS-B forme la base de la réduction de l'espacement ATC et de la réduction d'autres normes, notamment à l'arrivée et au départ.

La sécurité et les avantages de l'ADS-B

- Des normes d'espacement réduites et plus homogènes dans toutes les classes d'espace aérien (horizontal et vertical).
- Des normes d'espacement équivalentes à l'espacement radar ou meilleures dans les régions reculées sans radar. Le système rend possible la surveillance de régions où il n'y en a actuellement aucune, et ce de manière plus efficace et moins coûteuse que l'installation d'un radar.
- Un acheminement plus souple et direct contribuant à réduire la consommation de carburant.





- Une meilleure capacité de gestion de l'écoulement de la circulation et de surveillance des divers aéronefs.
- Une meilleure capacité de planification et de prévision des arrivées et des départs de la part de l'ATC.
- Une infrastructure à bas coût couvrant l'espace aérien national.
- Une capacité de surveillance air-air plus détaillée que l'utilisation des TCAS (système de surveillance du trafic et évitement des collision)/ ACAS (système anticollision embarqué) à eux seuls.
- Une surveillance sol-air plus détaillée que par l'utilisation du radar.

- La disponibilité en temps réel dans le poste de pilotage de renseignements sur la circulation et de renseignements de type aéronautique; notamment les conditions météorologiques, les restrictions de vol temporaire, l'espace aérien à statut spécial, l'indicatif d'appel d'aéronefs, la classe du trafic à proximité et plus encore. Ainsi, il y a plus de données en temps réel et le recours à la R/T (radiotéléphonie) est moindre.

L'ADS-B est en développement et à l'essai depuis plusieurs années. Le système est maintenant choisi comme technologie de base par les É.-U. et l'Europe pour le « Next Generation Air Traffic Management System » (système de gestion de la circulation aérienne de nouvelle génération), communément appelé « NextGen ». Pour en savoir plus sur ce système, veuillez consulter le site Web de la FAA <http://www.faa.gov/nextgen/> et le site Web européen http://www.eurocontrol.int/cascade/public/subsite_homepage/homepage.html.

Des renseignements utiles sur la mise en œuvre civile et militaire conjointe aux É.-U. se trouvent sur le site Web du Joint Planning and Implementation Office à l'adresse <http://www.jpdo.gov/index.asp>.

En 2013, il existera un réseau de près de 800 stations terrestres ADS-B aux É.-U. La majorité du golfe du Mexique est déjà couverte à partir de 1800 pieds au-dessus du niveau moyen de la mer (MSL) ou moins.

Le système ADS-B doit assurer une couverture plus détaillée et complète, combler les espaces non couverts et réduire de beaucoup les marges d'altitude, de cap, de vitesse et d'heure d'arrivée prévue des aéronefs. Le système agira également à titre de réseau de partage en temps réel des renseignements sur les conditions météorologiques, l'aviation et la circulation. De plus, il est censé être peu coûteux, du moins si on le compare au coût des radars.

L'avenir, c'est maintenant. Sommes-nous prêts?

« Le système ADS-B doit assurer une couverture plus détaillée et complète, combler les espaces non couverts et réduire de beaucoup les marges d'altitude, de cap, de vitesse »

Une maintenance des aéronefs plus sûre grâce à la technologie 3-D

par M. Arnold van den Hoeven, Directeur – Défense du Canada, NGRAIN



M. Van den Hoeven a travaillé dans le secteur de l'aérospatiale et de la défense (AD) pendant plus de 25 ans, dont les 15 premières années à titre de pilote et d'officier du génie aérospatial (GAERO) dans les Forces canadiennes. Il a occupé divers postes, dont ceux d'officier de projet des systèmes mécaniques au Centre d'essais techniques de l'Aérospatiale à Cold Lake, ingénieur des structures du CC130 et officier du Programme de vérification de la résistance structurelle des aéronefs pour le CC130 au Quartier général de la Défense nationale à Ottawa. Après avoir quitté l'Aviation canadienne en 1998, il a travaillé activement dans l'industrie AD pour le compte d'entreprises telles que Mxi Technologies, Air Canada et KLM. Présentement à NGRAIN, il est le directeur de Défense du Canada et il participe à la transformation de la formation à la maintenance grâce à des solutions comme la simulation interactive tridimensionnelle.

Le domaine de la simulation connaît présentement d'importants progrès technologiques et il trouve un nombre grandissant d'applications

liées à la formation et à la recherche. Notamment, l'utilisation de la simulation pour l'instruction sur l'entretien de l'équipement et les solutions d'aide à la maintenance est en plein essor depuis les dix dernières années. La simulation permettait déjà d'accélérer l'apprentissage et d'éviter l'achat de certains équipements, ou leur retrait du service, aux seules fins

de la formation, mais voilà que l'on peut désormais tirer pleinement partie de ce type de solution pour améliorer la sécurité de la maintenance sur le lieu de travail.

La maintenance d'un équipement complexe – comme un aéronef et ses systèmes – nécessite une connaissance approfondie de chaque système et de ses



La solution de formation du PT6 fournit une vue d'ensemble très détaillée du moteur, de ses composants et des procédures connexes.

interrelations avec les autres systèmes. En outre, le personnel s'expose à des risques inhérents lorsqu'il travaille à proximité de produits chimiques toxiques comme les carburants et solvants et qu'il doit manipuler des circuits sous tension ou sous pression. Un rapport de la Federal Aviation Administration des États-Unis a constaté notamment que près de la moitié des accidents de maintenance des aéronefs étaient attribuables à une installation incorrecte, un travail de maintenance mal exécuté ou une mauvaise procédure d'inspection. Le rapport mentionnait également que 76 pour cent des blessures relevées avaient été causées par une pièce mal fixée ou raccordée ou par l'omission d'une procédure d'installation. Le niveau de risque était le plus élevé lorsqu'il s'agissait d'un groupe propulseur, d'un train d'atterrissage ou d'un système rotor¹. Dans un rapport plus récent, l'University of Illinois



La solution de formation interactive tridimensionnelle de NGRAIN sur le CP140 a été approuvée pour être utilisées dans un cadre AFILÉ et est présentement utilisée dans la Force aérienne pour la formation sous la direction d'un instructeur.

a pour sa part ajouté que les procédures incorrectes et les mauvaises installations de pièces avaient souvent pour cause une mauvaise interprétation de l'information procédurale². La formation faisant appel à la simulation peut aider à réduire les incidents liés à la maintenance en améliorant la maîtrise d'exécution des tâches et en fournissant une aide à la maintenance au moment opportun, et ce, en permettant au personnel de maintenance de revoir et de pratiquer virtuellement une tâche juste avant de l'exécuter sur l'aéronef.

L'intégration de la simulation interactive tridimensionnelle à la formation et au soutien technique d'exécution sur place fournit une représentation visuelle des tâches liées aux principales procédures. Le personnel de maintenance et le

technicien d'entretien d'aéronefs peuvent revoir les pièces et les procédures, et mêmes les techniques de diagnostic de panne, et ce, en procédant étape par étape. Utilisable sur un ordinateur de bureau ordinaire, un ordinateur portable ou une tablette électronique, les solutions fondées sur la simulation de NGRAIN peuvent aider à réduire les risques de blessures en augmentant le niveau de compétence avec lequel on exécute la tâche, en fournissant un environnement d'apprentissage informatisé sûr, ainsi que des renseignements sur les procédures en temps opportun.

Le *Virtual Task Trainer™* (VTT™) de NGRAIN est une solution fondée sur un logiciel commercial qui tire pleinement partie de la simulation interactive tridimensionnelle pour dispenser de la formation sur les procédures de maintenance dans

« Un rapport de la Federal Aviation Administration des États-Unis a constaté notamment que près de la moitié des accidents de maintenance des aéronefs étaient attribuables à une installation incorrecte, un travail de maintenance mal exécuté ou une mauvaise procédure d'inspection. »

« Le Virtual Task Trainer™ (VTT™) de NGRAIN est une solution fondée sur un logiciel commercial qui tire pleinement partie de la simulation interactive tridimensionnelle pour dispenser de la formation sur les procédures de maintenance dans un environnement par navigateur sur le Web. »

un environnement par navigateur sur le Web. Les solutions VTT de NGRAIN sont conformes au SCORM et sont approuvées pour être utilisées dans l'Environnement intégré d'information et d'apprentissage de la Force aérienne (AFIILE). Elles font partie d'une solution d'apprentissage intégrée visant à accroître la durée de conservation des connaissances et des compétences acquises du stagiaire, tout en accélérant son apprentissage.

Au cours des dix dernières années, l'expérience moyenne d'un technicien sur toute flotte d'aéronefs donnée de la Force aérienne a diminué de façon marquée. Cette situation peut augmenter le risque d'exécution incorrecte d'une procédure et par conséquent le risque de blessures. La solution *Virtual Task Refresher™* (VTR™) de NGRAIN permet de fournir un soutien technique sur place en temps opportun et d'aider ainsi le technicien à exécuter correctement la tâche spécifique qu'on lui a

confiée. Déployée localement sur un ordinateur de bureau, un ordinateur portable ou une unité informatique mobile, la solution VTR fournit au personnel de maintenance de l'information spécifique à la tâche qu'on lui a confié lui permettant ainsi d'étudier à l'avance et de pratiquer virtuellement la procédure d'exécution de la tâche avant de travailler sur l'aéronef. Une telle démarche permet d'améliorer l'exécution de la tâche et la correction du problème de maintenance tout en augmentant la sécurité.

Dans une étude récente commandée par la Force aériennes, on a constaté que les solutions de NGRAIN permettaient d'améliorer les niveaux de compétence, et ce, jusqu'à 22 pour cent. L'étude a constaté que lorsque les solutions d'aide au rendement de NGRAIN étaient intégrées aux manuels techniques électroniques interactifs avancés (MTEI-A) élaborés par Standard Aero, l'aide au rendement permettait au personnel de maintenance débutant d'exécuter des tâches tout aussi bien, et parfois mieux, que le personnel de maintenance expert. La même étude a révélé que les techniciens pouvaient exécuter des tâches 23 pour cent plus rapidement avec l'aide de NGRAIN qu'en utilisant un manuel technique traditionnel.

De nos jours, la Force aérienne doit faire face à une réduction de ses budgets et de son personnel. Il est donc essentiel que nos professionnels de l'aéronautique puissent disposer des outils dont ils ont besoin pour exécuter leurs tâches correctement en évitant tout incident. À une époque où les flottes mixtes sont la norme, les solutions NGRAIN fournissent au personnel de maintenance l'information dont il a besoin pour faire efficacement et en toute sécurité la transition entre divers types d'aéronefs.

Références

1. Scott Goldman, et al, General Aviation Maintenance-Related Accidents : A review of Ten Years of NTSB Data (Washington: Office of Aerospace Medicine, 2002)
2. Takahiro Suzuki, et al, Coordination and Safety Behaviors in Commercial Aircraft Maintenance (University of Illinois at Urbana Champaign, 2008)

« La même étude a révélé que les techniciens pouvaient exécuter des tâches 23 pour cent plus rapidement avec l'aide de NGRAIN qu'en utilisant un manuel technique traditionnel. »

La vidéo intelligente, **une façon d'améliorer la sécurité des opérations de défense et d'assurer le futur de l'automatisation**

par Fadi Ghourani, Directeur, Gestion du trafic aérien et technologie aéroportuaire, Searidge Technologies

M. Ghourani offre des services de consultation intégrés aux aéroports et aux fournisseurs de services de navigation aérienne pour les aider à mettre en œuvre une technologie de surveillance qui améliorera l'efficacité et le fonctionnement d'un aéroport. Sa compréhension exceptionnelle des défis opérationnels et techniques courants a joué un rôle actif dans l'adoption de systèmes de vidéosurveillance intelligents par des aéroports et des fournisseurs de services de navigation aérienne importants partout en Amérique du Nord, en Europe et au Moyen-Orient.

La vidéo intelligente donne à un nombre sans cesse croissant d'applications de surveillance militaire des moyens automatisés qui peuvent compléter la surveillance humaine, voire la remplacer dans certains cas. Construits dès le début pour une utilisation sur des terrains d'aviation, les systèmes vidéo de qualité défense font appel à des capteurs répondant à des normes militaires, à du matériel renforcé et à des outils de traitement informatique à la fine pointe de la technologie.

L'analytique vidéo, la technique sous-jacente servant aux applications de vidéo intelligente, se fonde sur la recherche en vision artificielle, en analyse de modèles et en intelligence artificielle, et elle a été largement adoptée dans un grand nombre de tâches de gestion de terrain d'aviation et de centre de commandement et de contrôle, allant de la gestion de terrains d'aviation à distance afin de prévenir les incursions sur piste, à des applications de sûreté comme la détection des intrusions dans des zones ou des périmètres réglementés, ou encore la détection des débris de corps étrangers (FOD).

Comment ça marche – Analytique vidéo

Similaire à la vision humaine, l'analytique vidéo se sert d'algorithmes pour la perception et la vision, et d'intelligence artificielle pour interpréter, apprendre et tirer des conclusions dans le but de comprendre une scène donnée et d'émettre des alertes ou des alarmes qui seront généralement signalées par un observateur humain.

« L'analytique vidéo, la technique sous-jacente servant aux applications de vidéo intelligente, se fonde sur la recherche en vision artificielle, en analyse de modèles et en intelligence artificielle, ... »

Avantages – Aperçu

La vidéo intelligente permet le partage de renseignements entre de multiples utilisateurs et intervenants, et c'est pourquoi elle est un élément clé de la collaboration; de multiples applications sont possibles à partir d'un seul capteur ou d'un seul ensemble de capteurs, ce qui facilite le partage des renseignements importants d'une mission grâce à la diffusion simultanée et en temps réel de ces renseignements aux personnes qui en ont besoin. L'automatisation présente de nombreux avantages pour le personnel militaire des opérations, comme l'élimination de l'erreur humaine, la réduction, voire dans certains cas l'élimination, de la main-d'œuvre nécessaire, un



La vidéo intelligente appliquée à l'automatisation du balisage lumineux des pistes améliore la sécurité dans toutes les conditions météorologiques.

rendement plus élevé et plus constant dans l'exécution des tâches opérationnelles et, en fin de compte, une amélioration de la sécurité d'ensemble.

Applications

■ **Gestion de terrains d'aviation à distance**

Modernisation des centres de commandement et de contrôle

■ **Sûreté**

Protection de périmètres et détection d'intrusions

■ **Détection des débris de corps étrangers (FOD)...**

Des pistes plus sûres, un travail manuel réduit

Gestion de terrains d'aviation à distance – Modernisation des centres de commandement et de contrôle

Les contrôleurs militaires disposent d'un moyen de gestion de terrains d'aviation à distance reposant sur un ensemble avancé d'outils d'aide à la décision qui leur permettent d'offrir des services consultatifs ou de contrôle à des aéronefs et à des véhicules se trouvant géographiquement sur des terrains indépendants.

En permettant au personnel militaire de surveiller des zones réglementées, les systèmes de vidéo intelligente peuvent à la fois améliorer la sécurité du personnel des opérations et permettre de surveiller facilement des endroits qui seraient autrement

inaccessibles ou trop dangereux pour laisser des personnes y pénétrer. Comme, de nos jours, certaines missions se font à l'aide de drones et que la sécurité est d'une importance primordiale, des tours de contrôle virtuelles ou la surveillance à distance sont de plus en plus largement acceptées et adoptées par de nombreux organismes de défense à travers le monde.

Comment ça marche –

Solutions de gestion à distance

Grâce aux techniques modernes d'assemblage vidéo, une solution de vidéosurveillance à distance permet au personnel d'un centre de commandement de disposer d'une vue d'ensemble intuitive du terrain d'aviation surveillé plutôt que de la traditionnelle représentation en pavés du système de télévision en circuit fermé. De plus, un module de vidéo intelligente convertit les signaux de sortie des capteurs de qualité militaire en une représentation de la surface similaire à celle d'un radar.

Avantages – Solutions de gestion à distance

L'automatisation présente de nombreux avantages pour le personnel des opérations militaires, comme l'élimination de l'erreur humaine, la réduction, voire, dans certains cas, l'élimination de la main-d'œuvre nécessaire, une exécution des tâches opérationnelles plus précise et plus constante et, en fin de compte, une amélioration globale la sécurité.

Sûreté – Protection de périmètres et détection d'intrusions

Le maintien de la sécurité et de la sûreté des terrains d'aviation et de leurs périmètres relève du personnel militaire. Les organismes de défense font appel à divers systèmes et moyens pour surveiller et déceler les intrusions de véhicules, d'êtres humains et d'animaux. De nos jours, les méthodes les plus courantes reposent sur des réseaux de télévision en circuit fermé dont les images font l'objet d'une surveillance visuelle ainsi que sur des observations humaines classiques. Ces deux procédés de surveillance et de détection risquent d'exiger beaucoup de main-d'œuvre, de coûter cher et d'être propices aux erreurs.

La solution de détection intelligente des intrusions est un système automatique adaptable qui surveille toutes les cibles dans une zone définie et qui les décrit et en signale la présence au personnel de sécurité en y ajoutant les positions réelles en longitude et en latitude grâce à un affichage intuitif sur une carte en deux dimensions. Toute activité suspecte comme l'entrée d'une personne

dans un endroit non autorisé est immédiatement mise en évidence et signalée au personnel de sécurité. Plutôt que de demander au personnel de surveiller continuellement et simultanément de nombreux écrans de télévision en circuit fermé à la recherche d'éventuelles intrusions, le système avertit l'officier de la sûreté au moyen d'alertes sonores et visuelles de façon telle qu'aucune intrusion ne puisse passer inaperçue.

Comment ça marche – Sûreté intelligente

Grâce à une suite logicielle avancée, le personnel des opérations peut configurer un système répondant aux exigences opérationnelles locales. Par exemple, le personnel des opérations peut dessiner (à la volée) une zone réglementée virtuelle ou une ligne de déclenchement virtuelle barrant le point d'entrée d'une piste; une alerte peut ensuite être envoyée à l'utilisateur dès que le « fil-piège » est franchi et, comme le système est capable d'apprécier la vitesse, le cap, la taille et la forme de la cible, il est possible de recourir à une sélection d'alarme se fondant sur des règles d'utilisation prédéfinies de manière à ce que le système effectue automatiquement une tâche exactement de la même manière qu'un utilisateur humain aurait été autrement obligé de l'exécuter manuellement.



Grâce aux derniers progrès technologiques de la vidéo, les exploitations de centres de commande et de contrôle peuvent surveiller et contrôler de manière sûre et intuitive des terrains d'aviation situés à des endroits indépendants.

Avantages – Sûreté intelligente

Dans le domaine de la sûreté, l'automatisation partielle ou totale laisse à l'utilisateur plus de temps pour s'occuper des tâches auxiliaires, n'ayant à se consacrer qu'aux exceptions lorsque des intrusions se produisent. Toutes les données des cartes vidéo et conceptuelles sont enregistrées et archivées, ce qui permet d'y avoir accès pour revoir un incident, en cas d'enquête ou pendant l'entraînement aux missions.

Détection de FOD – Des pistes plus sûres, un travail manuel réduit

Sur un terrain d'aviation, les débris de corps étrangers (FOD) comprennent tout objet découvert à un endroit inapproprié qui, du fait qu'il se trouve à cet endroit, pourrait endommager de l'équipement ou blesser du personnel navigant ou d'aéroport. Les dommages résultants, qui pourraient bien souvent être évités, risquent d'entraîner des coûts élevés.

Les FOD peuvent se présenter sous de très nombreuses formes, comme des pièces de fixation tombées, des

« Les organismes de défense font appel à divers systèmes et moyens pour surveiller et déceler les intrusions de véhicules, d'êtres humains et d'animaux. »

matériaux de construction, des pierres ou des animaux sauvages. Ils causent des dommages en cas de contact direct avec des avions, par exemple en coupant les pneus ou en étant ingérés par les moteurs, ou en cas de projection sous l'effet du souffle, endommageant des aéronefs ou blessant des personnes.

Les systèmes de vidéo intelligente peuvent surveiller automatiquement la surface des pistes et des voies de circulation et alerter le personnel de soutien de la présence d'un FOD et de son emplacement sur la surface d'un terrain d'aviation. Un programme traditionnel de

prévention des FOD consiste à demander à une équipe de personnes de parcourir une piste sur toute sa longueur pour y chercher d'éventuels FOD et les ramasser, un processus très exigeant en main-d'œuvre.

Comment ça marche –

Détection de FOD

Les systèmes de vidéo intelligente servant à la détection et au signalement des FOD peuvent être configurés de façon à ne se déclencher que pour des tailles spécifiques d'objets tombés sur une piste ou une voie de circulation. Le système « apprend » les comportements des objets classiques de la scène

et il ne se déclenche que pour les objets qui ne cadrent pas avec l'arrière-plan et les modèles de déplacements normaux à l'intérieur de son champ de vision.

Avantages –

Détection de FOD

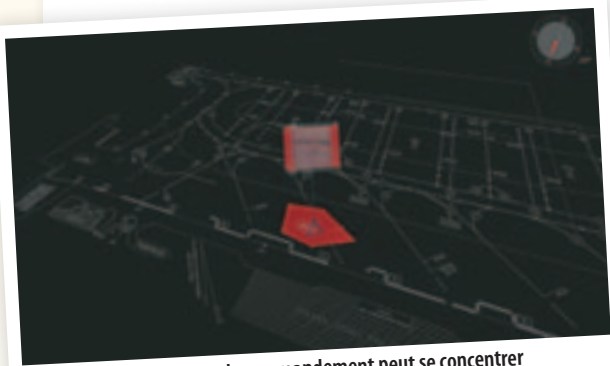
Le personnel des opérations peut être averti en temps réel de la présence d'un FOD et il peut se servir de ce que voit la caméra pour confirmer visuellement l'alerte, évaluer rapidement le risque et, le cas échéant, dépêcher du personnel de soutien sur place pour enlever le FOD

rapidement. En automatisant une partie du processus, une organisation de défense peut ainsi mieux utiliser son personnel, augmenter la sécurité et réduire les coûts, tant directs qu'indirects, liés aux dommages causés par des FOD.

Conclusion

Les progrès des techniques de vidéo intelligente rendent accessibles toute une gamme d'applications de surveillance ainsi que de commandement et de contrôle permettant de moderniser la façon dont les organisations de défense mènent leurs opérations, le résultat le plus important étant une amélioration de la sécurité du personnel militaire. De la gestion de terrains d'aviation à distance jusqu'à l'automatisation d'anciennes méthodes et procédures manuelles, la vidéo intelligente peut servir à résoudre nombre de problèmes et à grandement aider à l'amélioration de la sécurité et de l'efficacité de l'organisation ainsi que de la collaboration entre les divers intervenants.

La vidéo intelligente peut relever de façon sûre et efficace toute une série de défis qu'il serait trop long d'énumérer ici; un bon point de départ consiste donc à considérer l'organisation dans son ensemble afin d'identifier les lacunes en matière de sécurité et de déterminer comment la vidéo intelligente pourrait aider à les combler.



Le personnel d'un centre de commandement peut se concentrer sur la prévention et la gestion des menaces plutôt que d'avoir à scruter de nombreux écrans vidéo à la recherche de telles menaces.



La vidéo intelligente peut aider à détecter, identifier et localiser des FOD sur un terrain d'aviation.