

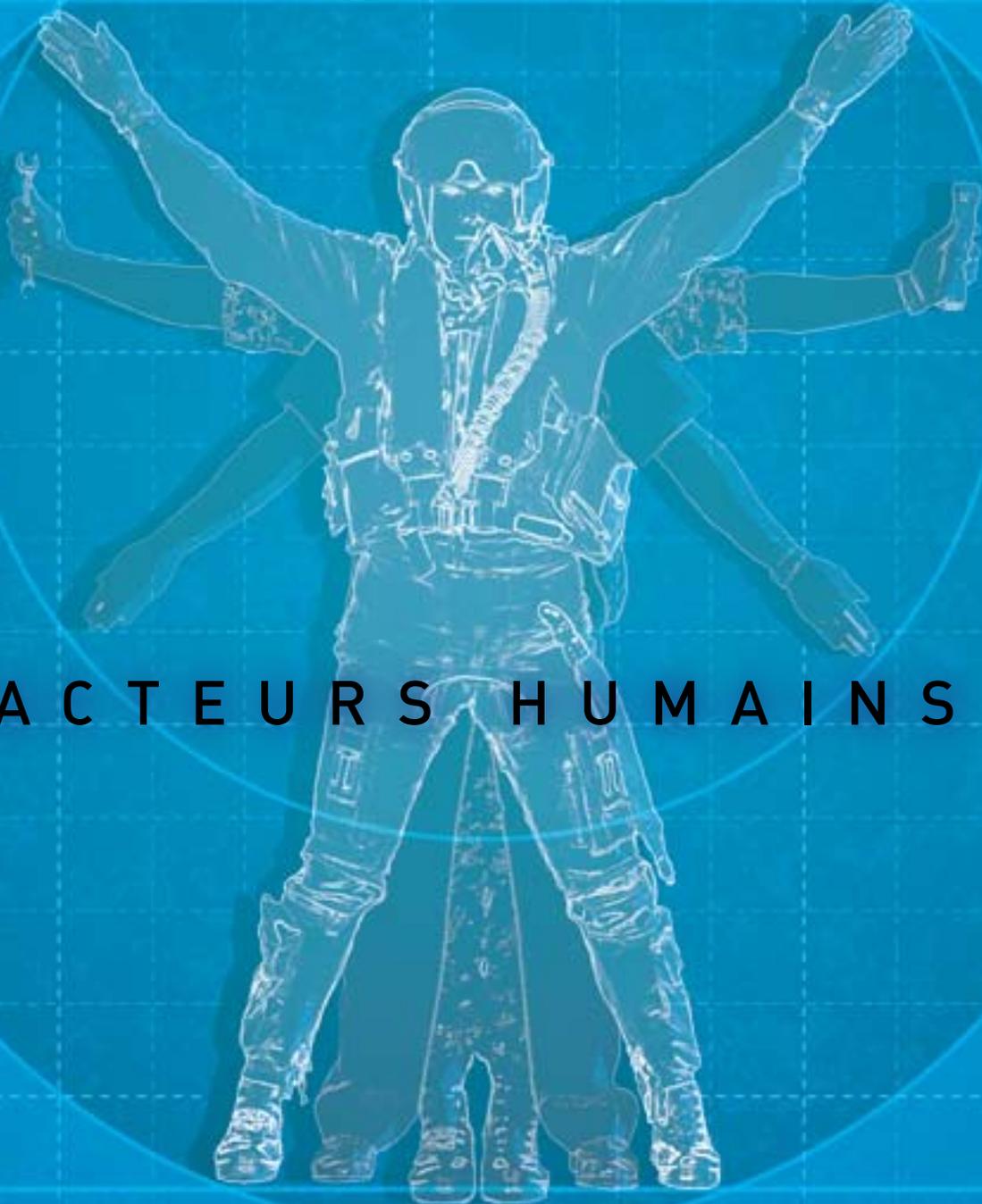


Défense  
nationale

National  
Defence



# DROIT AU BUT



FACTEURS HUMAINS

# DROIT AU BUT

DIRECTION DE LA SÉCURITÉ DES VOLS  
Directeur, Sécurité des vols  
Colonel G.R. Doiron

RÉDACTEUR EN CHEF  
Capitaine K. Ashton

GRAPHIQUES, CONCEPTION ET MISE EN PAGE  
Caporal E. Jacques  
Ryan/Smith Creative

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 à :

Rédactrice en chef  
Direction de la sécurité des vols  
Quartier général de la Défense nationale  
101, promenade du Colonel By  
Ottawa (Ontario) Canada  
K1A 0K2

Courriel : [dfs.dsv@forces.gc.ca](mailto: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 ou par téléphone au 1-800-635-7943

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-WARN-DFS (927-6337). La page Internet de la DSV, à l'adresse [www.airforce.forces.gc.ca/dfs](http://www.airforce.forces.gc.ca/dfs), offre une liste plus détaillée de personnes pouvant être jointes à la DSV, ou écrivez à [dfs.dsv@forces.gc.ca](mailto:dfs.dsv@forces.gc.ca).

Direction de la conception graphique :  
SMA(AP) DPSAPCS09-0017  
ISSN 1916-5250  
A-JS-000-006/JP-030



## Note de la rédaction

La Direction de la sécurité des vols remercie cordialement toutes les personnes qui ont collaboré à la présente revue. Les articles contenus dans Droit au but reflètent le point de vue de leur auteur. Le document A-GA-135-001/AA-001, *Sécurité des vols dans les Forces canadiennes*, constitue le document officiel des Forces canadiennes qui traite de l'étude des facteurs humains.

Publié le 1 juillet 2009.

# TABLE DES MATIÈRES

<b>Avant-propos du CEMFA</b>	<b>4</b>
<b>Avant-propos du DSV</b>	<b>5</b>
<b>PREMIÈRE PARTIE – DOSSIERS</b>	
<b>Introduction</b> – Introduction aux facteurs humains	<b>8</b>
<b>Rôle des facteurs humains dans la conception</b> – Technologie aéronautique et rôle des facteurs humains dans la conception	<b>9</b>
<b>Orientation spatiale</b> – Formation axée sur les compétences en orientation spatiale	<b>10</b>
<b>Simulation en aviation</b> – Considérations sur les facteurs humains	<b>12</b>
<b>Préparation personnelle</b> – Entretien de la machine humaine	<b>16</b>
<b>Assurance qualité (MFOQA)</b> – Assurance qualité des opérations de vol militaires (MFOQA)	<b>18</b>
<b>Fatigue</b> – Mesures contre la fatigue dans certaines opérations de transport aérien des Forces canadiennes	<b>20</b>
<b>Sélection médicale du personnel navigant</b> – Pourquoi en faire tout un plat, docteur?	<b>24</b>
<b>Les engins télépilotés</b> – Les facteurs humains liés aux engins télépilotés	<b>26</b>
<b>Culture et facteurs humains</b> – Culture et facteurs humains	<b>32</b>
<b>Les facteurs humains dans le domaine militaire</b> – Aujourd’hui et demain	<b>35</b>
<b>DEUXIÈME PARTIE – DESCRIPTION FACTEURS HUMAINS</b>	
<b>Introduction</b> – Facteurs humains 101	<b>47</b>
<b>Erreurs de perception</b> – Code 7700 – Un exercice de prise de décision	<b>49</b>
<b>Erreurs de décision</b> – Pressions : perception ou réalité?	<b>52</b>
<b>Erreurs fondées sur les habiletés</b> – Toujours revenir à l’indicateur d’assiette	<b>54</b>
<b>Écarts</b> – L’astuce	<b>55</b>
<b>Environnement physique</b> – Poser les bonnes questions pour obtenir les bonnes réponses	<b>56</b>
<b>États mentaux</b> – Des erreurs malgré tous nos efforts... Pourquoi?	<b>58</b>
<b>États physiologiques</b> – Il reste toujours quelque chose de la formation militaire	<b>60</b>
<b>Capacités physiques et mentales</b> – Leçon sur l’instinct	<b>62</b>
<b>Environnement technologique</b> – 5 secondes avant l’impact	<b>63</b>
<b>Gestion des ressources</b> – C’était un peu serré...	<b>64</b>
<b>État de préparation du personnel</b> – Je peux passer au travers!	<b>66</b>
<b>Supervision</b> – J’ai les commandes!	<b>67</b>
<b>Influence de l’organisation</b> – Fromage suisse et sécurité des vols	<b>68</b>



## Lieutenant-général W.A. Watt

### chef d'état-major de la Force aérienne

À titre d'autorité chargée de la navigabilité aérienne pour les Forces canadiennes, j'ai le plaisir de vous présenter le deuxième numéro de *Droit au but*, qui porte sur les facteurs humains. Alors que nous commémorons les réalisations de l'aviation au cours des 100 dernières années au Canada, nous reconnaissons qu'il nous en reste à apprendre pour comprendre la multitude de facteurs humains qui influencent les opérations quotidiennes au sein de la Force aérienne. À mesure que nos machines volantes sont devenues de plus en plus robustes et raffinées sur le plan technique, la plupart des facteurs contributifs des événements aéronautiques sont passés de la mécanique au personnel surtout, ce que nous appelons facteurs humains.

Les facteurs humains jouent un rôle dans de nombreux événements liés à la sécurité des vols et ils comptent pour quatre-vingts pour cent des facteurs contributifs de tous les accidents des catégories A et B dans les Forces canadiennes depuis les dix dernières années. La variété des sujets liés aux facteurs humains abordés dans le présent magazine donne un aperçu de la nature complexe des interactions humaines en aviation. De nouvelles ressources et de nouveaux aéronefs continuent de faire leur entrée dans la Force aérienne; aussi, est-il essentiel qu'en tant qu'organisation nous comprenions l'importance d'établir un climat qui permette à un programme proactif de sécurité des vols de s'épanouir.

Le dictionnaire Robert donne aussi le sens suivant à humain : « en parlant d'un défaut, d'un comportement critiquable ». La Force aérienne exploite de nouveaux aéronefs aux capacités techniques évoluées, et nos militaires travaillent dans une variété de milieux physiques, chacun comportant ses propres défis. Les superviseurs à tous les niveaux doivent tenir compte et être au fait de l'impact significatif qu'ont les facteurs humains sur les incidents et les accidents touchant la sécurité des vols. De ce fait, chaque personne doit s'assurer de bien contrôler ses limites physiques, comme la fatigue et la saturation des tâches, et de voir à ce que ses besoins en termes d'aptitude physique et de nutrition soient suffisamment satisfaits.

À titre de chef d'état-major de la Force aérienne, je ne saurais trop vous encourager tous qui participez aux opérations de vol de vous familiariser avec les principes des facteurs humains et de comprendre l'importance d'utiliser ces outils dans vos activités quotidiennes afin de développer une attitude proactive visant à prévenir tout événement lié à la sécurité des vols.

N'oubliez pas : **vous** êtes un maillon essentiel du Programme de la Sécurité des vols des Forces canadiennes.



## Colonel G.R. Doiron

directeur de la Sécurité des vols, Ottawa

Je suis heureux de vous présenter ce deuxième numéro de *Droit au but* portant sur les facteurs humains. Depuis le premier vol motorisé au Canada, nous avons été témoins d'énormes améliorations en ce qui a trait à la conception, à la construction, à l'entretien et à l'exploitation des aéronefs. Ce succès est attribuable dans une grande mesure aux progrès réalisés dans les techniques et dans les matériaux ainsi qu'à la persévérance de l'homme à vouloir voler.

Ceux d'entre nous qui travaillent dans les opérations de vol doivent reconnaître que de nombreux progrès techniques dans le domaine de l'aviation aujourd'hui sont attribuables pour une grande part à l'innovation humaine. Les systèmes qui équipent les aéronefs modernes d'aujourd'hui sont très complexes, hautement intégrés et dotés d'une automatisation accrue, ce qui exige du personnel de piste et du personnel navigant une adaptation continue à un milieu de travail en constante évolution. Nous avons tiré profit de formidables réalisations, comme celles vécues par les pionniers de l'aviation au lac Bras d'Or, au Cap Breton, en Nouvelle-Écosse, il y a un siècle. Bien que nous soyons très innovateurs, nous devons aussi nous rendre compte de cette faiblesse innée, comme êtres humains, à commettre des erreurs.

Grâce aux améliorations apportées à la conception et à la construction des aéronefs au cours des décennies, nous avons été témoins d'une diminution des facteurs contributifs matériels tout en notant une augmentation proportionnelle du

pourcentage dans le nombre des facteurs humains, lesquels comptent maintenant pour 80 % des facteurs contributifs des événements liés à la sécurité des vols. Notre Programme de la Sécurité des vols a été créé après la Deuxième Guerre mondiale et il avait pour objectif de réduire au minimum les pertes de ressources en aviation. Cet objectif est toujours vrai 63 ans plus tard. Au moyen d'enquêtes sur les dangers et les événements liés à la sécurité des vols, nous tirons de précieuses leçons qui débouchent sur l'élaboration de mesures de prévention visant à réduire ou, idéalement, à éliminer une répétition de ces événements. Nous avons eu beaucoup de succès dans l'exécution de nos missions chaque jour, partout dans le monde, tout en conservant un faible taux d'accidents. Le succès de nos missions est redevable à notre Programme de la Sécurité des vols, lequel exige de nous une participation active et continue pour prévenir le prochain accident.

Le présent numéro de *Droit au but* vise à nous rappeler certaines de ces précieuses leçons tirées par le passé où les facteurs humains ont joué un rôle important. Il vise aussi à servir de reposoir de connaissances indispensables sur les facteurs humains pour que tous et chacun d'entre nous puissions augmenter notre connaissance collective et nous prémunir contre tout risque d'incident ou d'accident émanant d'erreurs attribuables aux facteurs humains.

Prévoyez et volez en toute sécurité!



# PREMIÈRE PARTIE

# PREMIÈRE PARTIE DOSSIERS

---

<b>Introduction</b>	<b>8</b>
<i>Introduction aux facteurs humains</i>	
<b>Rôle des facteurs humains dans la conception</b>	<b>9</b>
<i>Technologie aéronautique et rôle des facteurs humains dans la conception</i>	
<b>Orientation spatiale</b>	<b>10</b>
<i>Formation axée sur les compétences en orientation spatiale</i>	
<b>Simulation en aviation</b>	<b>12</b>
<i>Considérations sur les facteurs humains</i>	
<b>Préparation personnelle</b>	<b>16</b>
<i>Entretien de la machine humaine</i>	
<b>Assurance qualité (MFOQA)</b>	<b>18</b>
<i>Assurance qualité des opérations de vol militaires (MFOQA)</i>	
<b>Fatigue</b>	<b>20</b>
<i>Mesures contre la fatigue dans certaines opérations de transport aérien des Forces canadiennes</i>	
<b>Sélection médicale du personnel navigant</b>	<b>24</b>
<i>Pourquoi en faire tout un plat, docteur?</i>	
<b>Les engins télépilotés</b>	<b>26</b>
<i>Les facteurs humains liés aux engins télépilotés</i>	
<b>Culture et facteurs humains</b>	<b>32</b>
<i>Culture et facteurs humains</i>	
<b>Les facteurs humains dans le domaine militaire</b>	<b>35</b>
<i>Aujourd'hui et demain</i>	

## Introduction aux facteurs humains

par le Docteur Douglas A. Weigmann et le Docteur Scott Shappell, auteurs de « *A Human Approach to Aviation Accident Analysis* ».

Nous sommes très heureux de présenter la présente publication, laquelle devrait constituer un jalon en matière de facteurs humains. Votre Force aérienne présente la caractéristique particulière d'être une des premières organisations à avoir intégré le Système d'analyse et de classification des facteurs humains (HFACS) dans son programme de sécurité. Vous avez également été les premiers à former systématiquement un noyau important de professionnels de la sécurité et à avoir élaboré une base de données permettant de retracer les facteurs contributifs liés au HFACS. La Force aérienne du Canada a permis de nous aider à enrichir et à améliorer le HFACS en y incluant des variables comme les facteurs environnementaux et techniques. Depuis la fin des années 1990, vous avez été un chef de file déterminé pour l'avancement du HFACS dans les organisations militaires partout dans le monde. Votre philosophie selon laquelle sécurité et ressources militaires vont de pair est certainement digne de mention.

Et maintenant, quelle est la suite pour le HFACS? Nous aimerions bien penser que notre mission est terminée. Cependant, il reste encore beaucoup à faire. Nous continuons à étendre le HFACS au-delà du poste de pilotage pour englober la maintenance et le contrôle de la circulation aérienne, ainsi qu'à d'autres industries comme les mines, la fabrication et la médecine, pour n'en nommer que quelques-uns. Toujours est-il que plusieurs défis subsistent. Ils comprennent l'uniformisation des processus d'instruction visant à maintenir et à améliorer la qualité de la sensibilisation et l'application du HFACS sur une longue période. Il nous faut aussi développer des outils et des techniques plus évolués pour l'application du HFACS, comme des logiciels, des aides à la décision et des listes de vérifications. De tels outils sont nécessaires pour faciliter l'application du HFACS sur le terrain lorsqu'on enquête de façon réactive sur des accidents afin de cerner les facteurs humains liés à ces événements.



Dr Douglas A. Weigmann

Mais qui plus est, nous commençons à élaborer des moyens d'utiliser le HFACS de façon proactive pour améliorer les programmes de sécurité. Par exemple, nous utilisons maintenant le HFACS pour évaluer les accidents évités de justesse afin de cerner non seulement ce qui a mal été, mais aussi, ce qui est le plus important, ce que les personnes auraient pu faire de BIEN pour éviter que l'événement ne soit encore bien pire. On peut aussi utiliser de façon proactive le HFACS pour évaluer les programmes de sécurité existants afin d'isoler des « manques » dans les efforts actuels et d'aider à déterminer où il faudrait mettre l'accent. De plus, nous sommes à trouver des moyens selon lesquels le HFACS pourrait servir à faciliter « la gestion du changement », comme évaluer les conséquences de facteurs humains sur la mise en œuvre des nouvelles technologies et des nouveaux processus sur le terrain AVANT que les problèmes ne surgissent.

Finalement, au cours des dernières années, nous avons aussi fait porter nos efforts sur l'élaboration d'une nouvelle méthodologie visant à produire des interventions qui épousent les problèmes cernés lors d'une analyse HFACS. Cette nouvelle méthodologie, appelée matrice d'intervention sur les facteurs humains (HFIX), offre un moyen fiable d'assurer que de multiples stratégies pourront être générées et évaluées avant la mise en œuvre. Par contre, des défis semblables à ceux auxquels nous avons fait face avec le HFACS demeurent, comme la nécessité d'une instruction uniformisée, du développement d'outils et de la technologie, et de stratégies d'application efficaces. Ces enjeux, et ceux mentionnés ci-dessus, sont ceux sur lesquels nous désirons travailler avec des organisations comme la Force aérienne du Canada au cours des prochaines années.

En résumé, nous sommes heureux de voir que la Force aérienne du Canada continue d'être à la fine pointe de la sécurité. Nous attendons avec impatience les prochains efforts de collaboration afin d'assurer que ces activités connaissent du succès et que votre Force aérienne continue de faire partie de l'élite des forces militaires les plus sûres au monde.



Dr Scott Shappell

### Au sujet des auteurs

Le Dr Shappell est professeur en génie industriel à l'université de Clemson. Avant de se joindre à la faculté à Clemson, le Dr Shappell était à la tête de la Direction de la recherche sur les facteurs humains au Civil Aerospace Medical Institute. De plus, il a servi dans la Navy des États-Unis comme psychologue expérimental en aérospatiale. Il a publié ou présenté plus de 200 communications, livres et présentations dans les domaines des enquêtes sur les accidents, de la sécurité des systèmes, de la désorientation spatiale, des opérations prolongées et de la fatigue. Le Dr Shappell a obtenu un B. S. en psychologie (1983) de l'université Wright State avec la mention « summa cum laude » et une spécialisation en psychologie, ainsi qu'un doctorat en sciences neurologiques de la faculté de médecine de l'université du Texas en 1990.

Douglas A. Wiegmann est professeur agrégé en génie industriel et en génie des systèmes à l'université du Wisconsin. Avant de se joindre à la faculté à Madison (Wisconsin), il a été boursier des instituts nationaux de la santé au collège de médecine de la Clinique Mayo où il a aussi occupé les fonctions de directeur de la recherche sur les facteurs humains et la sécurité des patients au sein de la division de la chirurgie cardiovasculaire, à Mayo. Pilote privé, le Dr Wiegmann a également été professeur agrégé en facteurs humains à l'université de l'Illinois, à Urbana-Champaign. Le Dr Wiegmann a obtenu son doctorat en psychologie cognitive en 1992 à la Texas Christian University et a auparavant assumé les fonctions de psychologue de l'aviation et d'enquêteur sur les accidents pour le National Transportation Safety Board et la Navy des États-Unis.

## Technologie aéronautique et rôle des facteurs humains dans la conception

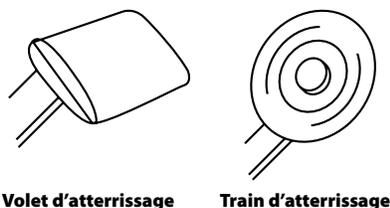
par Tara Foster-Hunt, Direction de la navigabilité aérienne et du soutien technique, Ottawa

Le 20 janvier 1992, le vol 148 d'Air Inter a accroché des arbres et percuté une crête de 2 710 pi de hauteur à 2 620 pieds d'altitude près du mont Sainte-Odile, en France, pendant l'approche vers l'aéroport de Strasbourg-Entzheim. Sur les 96 passagers et membres d'équipage à bord, 87 ont subi des blessures mortelles.

Même si l'erreur humaine a été identifiée comme la principale cause de cet accident, une faiblesse de conception du module de commande de vol (FCU) aurait peut-être constitué un des facteurs sous-jacents ayant contribué à l'écrasement. Cette faiblesse de conception a amené l'équipage de conduite à régler par mégarde le taux de descente en approche à 3 300 pi/min plutôt que l'angle de trajectoire de vol à 3,3°, comme prévu. À la suite de cet accident, Airbus a apporté des modifications au FCU afin que l'affichage numérique du mode de vitesse verticale (VS) comporte 4 chiffres et que celui de l'angle de trajectoire de vol (FPA) comporte 2 chiffres.<sup>1</sup>

L'exemple ci-dessus illustre les conséquences de l'erreur humaine dans des systèmes très complexes. À mesure que la technologie progresse et que la fiabilité des systèmes complexes augmente, les conséquences de l'erreur humaine sont plus marquées. Plus la technologie progresse, plus il est important de redéfinir la façon dont l'être humain utilise cette technologie et influe sur celle-ci, et inversement. L'idée que les erreurs de pilotage ne se résument pas simplement à un mauvais rendement est apparue en même temps que les améliorations techniques qui ont permis de satisfaire aux besoins de la Deuxième Guerre mondiale. C'est à la même époque qu'Alphonse Chapanis, en étudiant les écrasements sur piste du Boeing B-17, a découvert que le levier de commande des volets et celui du train d'atterrissage de l'avion étaient identiques. Après avoir analysé les différents impacts et la conception des commandes, Chapanis a conclu que bon nombre des incidents et des accidents attribués à des « erreurs de pilotage » avaient en fait été causés par une « erreur de conception ».<sup>2</sup>

**Figure 1** – Leviers de commande de forme distincte



Au cours des dernières décennies, on a porté une attention particulière à la fiabilité des systèmes, ce qui a permis de réaliser des progrès dans le domaine de la sécurité aérienne. La diminution des défaillances mécaniques fait ressortir l'importance du lien entre l'homme et la technologie en ce qui a trait aux accidents aériens. Malgré les progrès rapides de la technologie et l'amélioration de la fiabilité des systèmes, l'erreur humaine est toujours considérée comme un facteur dans 70 à 80 % de tous les accidents aériens.<sup>3</sup> Cette conclusion nous fait prendre conscience que la technologie à elle seule ne peut pas assurer le succès et la sécurité du secteur de l'aviation.<sup>4</sup>

### Rôle des facteurs humains

Depuis plus de deux décennies, les spécialistes en facteurs humains utilisent une approche multidisciplinaire qui s'appuie sur des connaissances anatomiques, physiologiques et psychologiques. Ils ont appliqué ces connaissances aux domaines de l'aviation, de la cognition humaine et de l'automatisation grâce à une application itérative systémique centrée sur l'analyse, la conception et la vérification. En ce qui a trait aux systèmes complexes, cette approche analyse l'interaction entre l'homme et les outils, les tâches et l'environnement. Grâce à cette approche systémique, les spécialistes en facteurs humains essaient d'empêcher que les systèmes soient conçus en vase clos, c'est-à-dire sans tenir compte des personnes qui les utiliseront, et du fait que ces systèmes seront intégrés à d'autres composants. Lorsque les systèmes sont conçus sans qu'il soit tenu compte des facteurs humains, ils comportent peu de moyens de contrer les problèmes découlant de l'erreur humaine, de l'intégration des systèmes et de l'interaction entre les systèmes, ce qui peut faire augmenter les risques en situation opérationnelle. On doit donc tenir compte des facteurs humains à toutes les étapes du cycle de conception.

Si l'on revient au cas soulevé par Chapanis, les volets et le train d'atterrissage du B-17 étaient des systèmes fiables et en bon état de marche et ils réagissaient correctement aux commandes.

Par contre, le fait que les leviers de commande ne comportent pas d'éléments distinctifs, donc que les deux leviers placés l'un près de l'autre étaient identiques, a contribué à l'erreur de pilotage. Pendant une phase aussi critique du vol que l'atterrissage, où les aptitudes cognitives sont grandement sollicitées, il était facile pour le pilote de se tromper de levier. On a résolu le problème en

modifiant les leviers afin de mettre en évidence les systèmes auxquels ils étaient reliés (voir la Figure 1).

Dans les systèmes automatisés très fiables, comme les postes de pilotage des aéronefs modernes, les risques d'erreurs cachées, et donc peu prévisibles, sont noyés dans le système. Dans les systèmes très automatisés, le rôle de l'utilisateur consiste à surveiller à distance les fonctions du système plutôt qu'à participer activement à son fonctionnement. Par conséquent, lorsqu'un événement rare se produit, comme une défaillance ou une erreur du système (qui a généralement de graves conséquences), il devient plus difficile pour l'utilisateur de réagir à l'avertissement, d'effectuer le bon diagnostic et de prendre les mesures correctives appropriées. Dans ce genre d'environnement, la conception de la commande, de l'affichage et de la rétroaction du système est très importante, car elle permet à l'utilisateur de pouvoir gérer le système et d'avoir une vue d'ensemble de la situation. Dans un environnement conçu en fonction des facteurs humains, les chances de pouvoir assurer le rendement du système dans son ensemble sont plus grandes.

La technologie continue d'évoluer plus rapidement que notre capacité à prédire comment l'homme pourra interagir avec celle-ci. C'est pour cette raison que les industries importantes comme l'industrie de l'aviation ne peuvent s'appuyer autant qu'avant sur l'expérience et l'intuition quand vient le temps de prendre des décisions en matière de conception qui ont un lien avec la performance humaine. Elles doivent se baser sur un fondement scientifique sûr afin d'évaluer les incidences de la performance humaine au niveau de la conception, de la formation et des procédures. Tout comme la conception d'un nouveau rotor d'hélicoptère exige de bonnes techniques en aérodynamique, la conception de l'environnement technologique dans lequel l'homme doit travailler demande que l'on tienne compte des facteurs humains à toutes les étapes du cycle de développement.<sup>5</sup>

### Références

- 1 <http://aviation-safety.net/database/record.php?id=19920120-0>.
- 2 Chapanis Chronicles.
- 3 [www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero\\_08/human\\_story.html](http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero_08/human_story.html).
- 4 [www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero\\_08/human\\_story.html](http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero_08/human_story.html).
- 5 [www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero\\_08/human\\_story.html](http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero_08/human_story.html).

## Formation axée sur les compétences en orientation spatiale

par le docteur Bob Cheung, le Major John Valade et le Colonel Carl Walker, Recherche et développement pour la défense Canada, Toronto

En temps de paix, les deux problèmes aéromédicaux représentant les plus grands dangers mortels pour les membres d'une force aérienne sont la perte de conscience sous forte accélération et la désorientation spatiale. La perte de conscience sous forte accélération est un problème lié principalement à la circulation sanguine dans le système cardiovasculaire du pilote; le sang s'accumule dans les jambes lorsque son avion « tire des g ». Le pilote, dont la tête est ainsi privée de sang, et par le fait même d'oxygène, subit d'abord un voile noir, puis il perd très rapidement connaissance. Au cours des 60 dernières années, la tolérance au nombre de g s'est grandement accrue grâce à un meilleur entraînement dans la centrifugeuse, à la familiarisation avec des exercices de contraction anti-g et au perfectionnement des combinaisons anti-g. À l'avenir, le pilotage des avions à très grande manoeuvrabilité (F22 Raptor et avions de chasse interarmées) s'avèrera le défi à relever en recherche et en protection liée aux forces d'accélération, alors que la transition soudaine des forces d'accélération (d'une accélération positive à une accélération négative, et inversement, Cheung et Bateman, 2001) sur des axes multiples s'ajoutera à des mouvements rapides en roulis et en tangage.

comportant plusieurs volets. Pour maintenir notre orientation, nous comptons sur les renseignements envoyés par notre vision, notre équilibre, notre sensibilité tactile, des indicateurs de pression et, dans une moindre mesure, notre ouïe. En outre, notre expérience personnelle joue un rôle important. Des études en laboratoire laissent entendre que, même brève, une désorientation spatiale entraîne une diminution générale du rendement cognitif, comme une mauvaise méthode de recoupement et une augmentation du temps de réaction pour exécuter une tâche donnée (Cheung et coll., 2003, 2004). L'environnement dans lequel la désorientation spatiale se produira probablement est moins facile à déterminer que celui dans lequel une perte de conscience sous forte accélération se manifesterait. Nous pouvons toujours prévoir lorsque notre avion devra voler à un nombre de g élevé, mais nous ne sommes jamais certains du moment où la désorientation spatiale s'installera. En vol, les pilotes passent un temps considérable dans des conditions susceptibles de causer une désorientation spatiale, et il n'est pas toujours évident pour un pilote de reconnaître la condition particulière qui risque d'entraîner une désorientation spatiale (Gillingham 1996). En outre, à la suite d'un accident, la preuve établissant une désorientation spatiale est souvent absente du compte rendu; on cherche surtout à établir le scénario le plus exact possible et non le scénario le plus « prouvable » possible.

On a avancé que l'étude des mécanismes sous-jacents de la désorientation spatiale et l'amélioration du matériel offriront tôt ou tard une protection considérable contre ce problème. Au cours des 60 dernières années, au fur et à mesure que nous comprenons davantage les divers mécanismes des effets sensoriels, nous avons effectivement acquis une meilleure compréhension des rôles que jouent les sensations de mouvement et les indicateurs de mouvement dans les techniques de pilotage. Durant la même période, beaucoup d'efforts ont été déployés pour créer des dispositifs mécaniques pouvant reproduire différentes sortes d'illusions de désorientation spatiale (illusion d'inclinaison, vrille ou spirale de la mort, etc.) L'on croit, en partie à cause d'un marketing agressif, que des démonstrateurs ou des simulateurs de



Photo: Cpl Charles Barber

désorientation spatiale sont offerts sur le marché, et que ceux-ci peuvent assurer un entraînement efficace des pilotes, mais personne n'a étudié leur faisabilité de manière approfondie. Ces dispositifs conviennent parfaitement pour démontrer les carences de notre système sensoriel, mais leur capacité à reproduire certaines des illusions types décrites dans les manuels varie grandement. Dans certains cas, on aura recours à la feinte pour produire une simulation, ou cette dernière sera contaminée par des phénomènes secondaires, car des dispositifs de rotation au sol ne peuvent pas reproduire le domaine de vol. Ce type de dispositif accroît également le risque de transfert négatif pendant l'entraînement. Très souvent, la démonstration d'une illusion particulière prendra fin abruptement, sans que l'on donne d'autres explications ou démonstrations sur la façon dont ces illusions peuvent influencer sur le rendement du pilote. La croyance générale veut également que si une personne est exposée à un certain type d'illusion, elle pourra prévoir ou éviter un incident dû à la désorientation spatiale. Toutefois, rien ne prouve qu'une telle pratique à l'égard d'une illusion donnée ou de toute une série d'illusions permettra d'éviter la désorientation spatiale en vol. De surcroît, des documents indiquent que les illusions types habituellement décrites ne sont pas souvent la cause des accidents liés à la désorientation spatiale des pilotes militaires. De tels accidents sont plus souvent causés par une perte de la vue d'ensemble de la situation concernant la trajectoire de vol de l'aéronef et par le fait que le pilote n'a pas reconnu une trajectoire de vol dangereuse. En d'autres termes, le pilote ne



Photo: Cpl Robert Bottrell

La désorientation spatiale survient lorsque le pilote ne peut plus déterminer la position, le mouvement et l'assiette de son aéronef par rapport au sol ou par rapport à d'autres aéronefs s'il fait partie d'une formation. Le problème de la désorientation spatiale est assez difficile à régler, et il nécessite probablement une solution



reconnaît pas la désorientation spatiale; il n'est pas en mesure de discerner sciemment les signes d'une désorientation spatiale.

On a recueilli les données suivantes lors de notre récent sondage volontaire et anonyme, mené auprès de 96 pilotes d'avion :

- Temps écoulé depuis le dernier incident de désorientation spatiale en vol : < 1 mois : 1; < 6 mois : 3; < 1 an : 15; > 1 an : 72
- Gravité des plus récents incidents de désorientation spatiale : 67 incidents mineurs; 8 incidents importants; 1 incident grave
- Gravité des pires incidents de désorientation spatiale : 44 incidents mineurs; 22 incidents importants; 6 incidents graves

Les derniers accidents de la Force aérienne semblent indiquer que la désorientation spatiale est un facteur contributif commun et que, dans certains cas, elle peut déclencher la série d'événements en cascade qui mènera à un accident mortel. Par exemple, lors d'un récent accident, parmi les facteurs contributifs qui ont mené à celui-ci, on signalait des instructions permanentes d'opération (SOP) mal rédigées, des problèmes de gestion des ressources dans le poste de pilotage, de mauvaises décisions de gestion, des problèmes personnels et le manque d'expérience de l'équipage. Toutefois, ces facteurs contributifs importants peu si l'équipage se heurte à une désorientation spatiale. Même un équipage expérimenté, qualifié et compétent aurait probablement été affligé d'une désorientation spatiale, s'il avait été soumis aux mêmes conditions que l'équipage en question.

Selon les analyses susmentionnées, il est fort probable qu'une désorientation spatiale se manifeste lors de ce type d'opération, si elle ne constitue pas tout simplement le facteur contributif. Deux questions se posent alors :

- i. L'équipage était-il conscient du risque de désorientation spatiale, au vu de la mission : vol de nuit, mer calme, mauvais indicateurs de translation verticale, risque de sensation de mouvement induit visuellement, vol avec et sans lunettes de vision nocturne, approche surveillée par le pilote?
- ii. Lors de l'exposé précédant la mission, à l'escadron, a-t-on abordé la question du risque de désorientation spatiale et précisé la façon dont l'équipage devra réagir si un de ses membres éprouve une désorientation spatiale?

### Formation rentable, axée sur les compétences en orientation spatiale

Le fait d'améliorer des éléments pertinents de la formation en orientation spatiale peut être utile, facile et rapide. Il est opportun et efficace de recourir à la méthode de l'exposé didactique pour donner des connaissances factuelles aux pilotes, qu'ils soient novices ou candidats. Par contre, les pilotes expérimentés (des unités ou escadrons d'instruction opérationnelle) préféreront apprendre les caractéristiques de désorientation spatiale propres à l'aéronef qu'ils devront piloter. Les exercices favorisent l'apprentissage des pilotes, tout comme une situation réelle.

Nous proposons de fournir aux pilotes des connaissances qui leur permettraient d'évaluer les risques de désorientation spatiale durant une mission prévue. Cette stratégie leur permettra de prévoir tout risque de désorientation spatiale et de s'y préparer en conséquence. En d'autres termes, la question des pièges liés à la désorientation spatiale devrait être abordée au cours de tout exposé avant la mission. En pilotage, nous respectons les consignes suivantes : piloter c'est s'entraîner, être prêt, tout prévoir et réagir de la bonne façon. Par conséquent, il sera plus avantageux d'attirer l'attention des pilotes vers les pièges de la désorientation spatiale propres à l'aéronef qu'ils doivent piloter et aux scénarios de missions qu'ils exécutent.

Bien que la compétence en vol aux instruments constitue la stratégie la plus importante pour contrer une désorientation spatiale constatée par le pilote, l'anticipation demeure la seule stratégie permettant de convertir une désorientation non reconnue en une désorientation reconnue. On peut seulement se protéger contre une désorientation non reconnue si l'on reste

à l'affût des circonstances qui favorisent ce type de désorientation. Une formation axée sur les compétences en orientation spatiale changera également l'attitude du pilote face à la désorientation spatiale. Par exemple, la désorientation spatiale est un des risques du vol; elle peut se manifester à n'importe quel moment, dans n'importe quelles conditions météorologiques; elle peut frapper un pilote professionnel comme un novice. Personne n'est à l'abri. La désorientation spatiale est une réponse physiologique normale à un environnement anormal; un pilote ne peut pas s'en prémunir complètement, même s'il a « tout ce qu'il faut ». On devrait enseigner aux pilotes des techniques leur permettant de contrer ou de réduire les répercussions de la désorientation spatiale dans le poste de pilotage. Un programme de formation axée sur des compétences en orientation spatiale constitue un bon point de départ.

### Bibliographie

- Bob Cheung, *Recommendations to enhance spatial disorientation training for the Canadian Forces*, DCIEM no 98-R-32, 1998.
- Bob Cheung et W. Bateman, *G-transition effects and their implications*, Aviation, Space, and Environmental Medicine, vol. 72, no 8, 2001, p. 758-762.
- Bob Cheung et Kevin Hofer, *Eye Tracking, Point of Gaze and Performance Degradation During Disorientation*, Aviation, Space, and Environmental Medicine, vol. 74, no 1, 2003, p. 11-20.
- Bob Cheung, Kevin Hofer, Raquel Heskin et Andrew Smith, *Physiological and Behavioural Responses to False Sensation of Pitch*, Aviation, Space, and Environmental Medicine, vol. 75, no 6, 2004, p. 657-665.
- K.K. Gillingham, *The spatial disorientation problem in the United States Air Force*, Journal of Vestibular Research, Vol. 2, 1992, p.297-306.

## Considérations sur les facteurs humains

par le Lieutenant-colonel Keiver, 1<sup>re</sup> Division aérienne du Canada, Winnipeg

Dans la dernière partie du 20<sup>e</sup> siècle, le rôle des simulateurs dans l'entraînement et l'évaluation du personnel navigant a pris beaucoup d'importance. Cette situation s'explique principalement par les progrès techniques qui ont permis de doter la simulation de l'équipement, des tâches et de l'environnement aéronautique d'un très haut niveau de fidélité. Dans les systèmes d'entraînement modernes en aviation, il n'est pas rare aujourd'hui pour un pilote d'obtenir une première qualification et de la maintenir à jour sans jamais avoir eu à monter à bord de l'aéronef réel, ni à voler comme tel. Le recours à la simulation a aussi pris beaucoup d'ampleur pour d'autres postes en aviation, notamment ceux du domaine de la maintenance. Tirer les avantages de la simulation, soit des augmentations de la qualité et des résultats, une réduction des risques et des économies, ne peut se faire que si le volet facteurs humains de la simulation est véritablement pris en compte et intégré à celle-ci.

Généralement, les utilisateurs sont d'avis que le **réalisme** est l'aspect le plus important de la simulation. En fait, c'est la capacité du simulateur de délaissier le réalisme qui nous apporte le plus grand avantage. Les équipages navigants sont en mesure de voler sans consommer de carburant, dans de multiples environnements différents au cours d'une même journée, on peut faire faire une pause à l'aéronef au milieu du vol, des situations d'urgence complexes et dangereuses peuvent faire l'objet d'exercices sans exposer à risque les équipages ou les aéronefs, et le personnel de maintenance est en mesure de reproduire et de corriger des anomalies sans avoir à travailler sur un aéronef endommagé. Dans le domaine des simulateurs de vol, le débat sur la question de la fidélité a presque toujours existé depuis que les simulateurs existent. Généralement, on peut exprimer la fidélité de deux façons : objective et perceptuelle. La fidélité objective s'entend de la corrélation physique entre le simulateur et l'aéronef, tandis que la fidélité perceptuelle renvoie au rapport entre les perceptions subjectives d'un pilote quant au simulateur et à l'aéronef. Il est intéressant de constater que très peu d'éléments de

preuve justifient la croyance répandue dans le milieu de l'aviation selon laquelle plus de fidélité se traduit par une meilleure valeur à l'entraînement. Le rapport de la National Academy of Sciences sur la simulation (Jones, Hennessy et Deutsch, 1985, p. 28) publié il y a plus de 20 ans, a résumé assez bien cette situation :

« Un simulateur a pour objet de fournir des conditions, des caractéristiques et des événements présents dans la situation opérationnelle nécessaire à l'apprentissage d'habiletés qui seront sollicitées avec le matériel réel... Deux principes découlent de cette prémisse. Premièrement, les caractéristiques et méthodes d'utilisation des simulateurs devraient être fondées sur leurs objectifs comportementaux. Deuxièmement, le réalisme matériel n'est pas nécessairement le seul moyen ni le moyen optimal d'atteindre les objectifs comportementaux de la simulation. Parce que l'histoire du développement des simulateurs se caractérise par des efforts visant à améliorer le réalisme au moyen des progrès techniques, il est facile d'oublier que l'apprentissage et l'exécution (la performance) — et non la reproduction matérielle — sont les principaux objectifs. »

Le débat sur la fidélité est plus prononcé en ce qui a trait au mouvement des simulateurs, à savoir si ce dernier est nécessaire ou non. L'orientation spatiale est un besoin fondamental et primitif chez les êtres humains qui leur permet de fonctionner, surtout en aviation. Nous avons développé de nombreux mécanismes sensoriels qui s'ajoutent pour exécuter un travail (Young, 2003), notamment les sens de la vue et de l'équilibre ainsi que le sens proprioceptif (la capacité du corps humain de sentir les mouvements et la position des muscles). Le système visuel dont nous disposons, particulièrement efficace à la périphérie de la rétine, est la principale source d'information pour l'orientation et la perception du mouvement. Les systèmes visuels à large champ de vision créent un fort sentiment



Simulateur à reproduction intégrale des mouvements

d'orientation dirigée (vection), ou l'illusion d'un auto-déplacement. En fait, notre sens du mouvement et de l'orientation commence réellement à se dégrader sans stimulus visuel (Previc, 2004). La précision et la fiabilité des systèmes sensoriels liés à l'orientation sont considérablement compromis lorsqu'ils sont exposés à des milieux d'inertie ou de gravité inhabituels comme ceux qu'on retrouve en vol. L'information vestibulaire et proprioceptive n'est plus fiable. Par conséquent, toute la responsabilité d'acquiescer une information fiable incombe à la vision (Cheung, 2004). C'est pour cette raison que les systèmes d'entraînement au pilotage insistent sur l'utilisation de l'horizon ou des instruments de préférence aux indices vestibulaires et proprioceptifs pour un pilotage efficace et en toute sécurité de l'aéronef.

Dans Longridge et coll. (2001), une revue approfondie de la recherche sur le mouvement dans les simulateurs a montré que le mouvement de la plate-forme de simulateur pourrait améliorer l'acceptabilité par le pilote du simulateur, au moins quand les pilotes sont conscients de la manipulation du mouvement. Aussi, le mouvement semble améliorer le rendement des pilotes et leur comportement aux commandes dans le simulateur, surtout pour les tâches exécutées dans des perturbations (comme la turbulence) et dans les aéronefs à faible stabilité dynamique (comme des hélicoptères et des chasseurs). Cependant, leur revue n'a permis de découvrir aucune preuve selon laquelle tout avantage tiré du mouvement de la plate-forme se transposait à l'entraînement aux aéronefs, même si cet avantage pouvait



Poste de pilotage du C130J

avoir contribué à un meilleur pilotage du simulateur. C'est une conclusion importante si l'on tient compte des coûts des simulateurs à reproduction intégrale des mouvements, à la lumière des autres progrès dans les dispositifs reproduisant le mouvement, comme les sièges éjectables, les combinaisons anti-g, les vibreurs de siège et des casques générateurs de forces g, ainsi que leur capacité à communiquer de l'information sensorielle aux membres d'équipage. De récentes recherches (Bürki-Cohen et Sparko, 2007) ont réellement montré que le niveau de mouvement qu'il est possible d'atteindre aujourd'hui, comme dans le passé, ne parvient pas à simuler précisément les caractéristiques du mouvement du vol et que « les pilotes ont été entraînés totalement et avec succès dans des simulateurs sans mouvements réalistes pendant plus d'un quart de siècle. On pourrait donc avancer que cette conclusion à elle seule montre qu'une plateforme à reproduction intégrale des mouvements n'est pas nécessaire à l'obtention de bons résultats à l'entraînement. » (Burki-Cohen et Sparko, 2007, p.18).

Qu'il dispose de mouvements ou non, un simulateur moderne devrait être conçu pour reproduire les tâches en termes de perception, d'attention, de prise de décisions, de mémoire et de mesures, tout en permettant à l'équipage de s'occuper de tâches multiples, de superviser les sous-systèmes automatisés, de conserver une vue d'ensemble de la situation et de développer un modèle mental précis de la dynamique de l'aéronef afin d'assurer le succès de la mission (Kaiser et Schroeder, 2003). Comme les pilotes se fient à l'information visuelle pour presque toutes les tâches de vol, une représentation exacte

du monde visuel, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'aéronef, est essentielle dans un simulateur d'entraînement au pilotage (McCauley, 2006, p. 32). Le simulateur doit être capable d'offrir un niveau élevé de fidélité perceptuelle. Cette conclusion est particulièrement pertinente en aviation aujourd'hui, compte tenu d'un besoin accru de simulateurs du fait d'une pénurie de main-d'œuvre qualifiée, de la réduction des niveaux d'expérience en général et d'une augmentation de la complexité des tâches attribuable à un accroissement de l'automatisation (Bürki-Cohen et Sparko, 2007).

La complexité croissante de la tâche est un facteur important en simulation. Les aéronefs modernes sont hautement intégrés et automatisés. Par exemple, à bord d'un CC130H, il y a environ 60 avertissements sonores ou indications (voyants d'avertissement, de mise en garde ou annonceurs) auxquels le personnel navigant doit réagir pendant les opérations et que le personnel de maintenance doit utiliser pour le dépannage et la réparation. Sur un C130J, il y en a plus de 780. Reproduire les avertissements, les mises en garde et les avis associés à la défaillance de multiples sous-systèmes reliés entre eux à bord des aéronefs modernes, et entraîner aux réactions et interactions requises pour traiter efficacement ces situations, n'est tout simplement pas possible à bord de l'avion réel. Tenter de le faire n'est ni efficace ni sûr, et l'entraînement doit être donné en simulateur. Compte tenu des conclusions d'une récente recherche sur l'efficacité générale du mouvement, toute économie potentielle sur le matériel générateur de mouvements d'une plateforme et les coûts de l'installation devrait être affectée à l'amélioration de la fidélité dans d'autres secteurs importants, comme assurer que le poste de pilotage du simulateur de vol est une réplique exacte de l'équipement et de l'aménagement dans l'aéronef visé, et que la simulation comprend une représentation opérationnelle réaliste de l'espace aérien, y compris du milieu du contrôle de la circulation aérienne (Bürki-Cohen et Sparko, 2007). Encore une fois, l'importance de la fidélité perceptuelle par rapport à la fidélité objective doit être la principale considération régissant le développement et l'acquisition des simulateurs.

La considération la plus importante sur les facteurs humains qui soit liée à l'utilisation de la simulation ne repose peut-être pas sur les simulateurs eux-mêmes mais sur leur utilisation. Comme on l'a relevé il y a 30 ans (Caro, 1973), une instruction de qualité, administrée par des instructeurs de qualité se traduira par un transfert positif d'instruction. Des recherches sur l'efficacité de l'instruction ont montré que la façon d'utiliser un simulateur est plus importante que des techniques d'instruction spécifiques (Salas, Bowers et Rhodenizer, 1998). Obtenir une valeur à l'instruction au moyen d'un simulateur se fonde par conséquent plus sur la conception et le contenu du système d'instruction que sur les ressources techniques réelles du simulateur lui-même et sa capacité à assurer le réalisme. Dans l'analyse d'une simulation par la National Academy of Sciences (Jones et coll., 1985, p. 92), on a conclu [TRADUCTION] : « La correspondance physique de la simulation est exagérée pour de nombreuses raisons, surtout l'instruction » et « ... la préoccupation relative à la fidélité devrait passer de ce qui est techniquement faisable sur le plan matériel à la réalisation d'une meilleure efficacité et efficience en termes d'objectifs comportementaux. » Contrairement à ce que croient les ingénieurs et les exploitants de simulateurs à travers le monde, le **réalisme** à lui seul ne donnera pas les effets désirés.

La capacité d'atteindre les niveaux de rendement et de compétence désirés grâce à l'utilisation de la simulation dépend entièrement de la capacité du système d'instruction de créer et de livrer une simulation opérationnelle en ligne ou une instruction s'inscrivant dans un « environnement en ligne ». Structurée par la Federal Aviation Administration (FAA, 2004), l'utilisation de la simulation opérationnelle en ligne doit se faire dans le contexte d'une instruction et d'un entraînement fondés sur des objectifs d'apprentissage, l'observation comportementale, l'évaluation du progrès dans le rendement ainsi que sur le débriefing et la critique (rétroaction) de la part de l'instructeur. Compte tenu de la saveur facteurs humains de la plupart des accidents d'aviation, les programmes d'instruction doivent mettre en valeur la compétence dans les habiletés techniques et de gestion des ressources de pilotage (CRM). Connue sous

l'appellation de Performance humaine en aviation militaire (PHAM) au sein des Forces canadiennes, cette compétence doit être intégrée de façon systématique à d'autres phases ou activités d'instruction. Le recours judicieux à la simulation permet et favorise l'application de concepts techniques et de concepts CRM à une situation d'une façon qui permet aux connaissances conceptuelles de devenir des connaissances pratiques. Plutôt que d'être programmés avec une solution, puis évalués en fonction de ce qu'ils ou elles sont en mesure ou non d'exécuter avec succès cette solution programmée, les stagiaires gèrent l'environnement opérationnel et traitent l'information à leur disposition pour en apprendre ses limites, ses caractéristiques et sa pertinence opérationnelle.

La simulation opérationnelle en ligne présente l'avantage de permettre aux stagiaires d'avoir l'occasion de s'exercer aux opérations en ligne (p. ex. manœuvres, habiletés d'utilisation, opérations de systèmes et procédures) en compagnie d'une équipe ou d'un équipage complet dans un environnement réaliste. Les stagiaires apprennent à gérer une variété de scénarios en temps réel comprenant des situations de routine, anormales et d'urgence.

Ils apprennent aussi les habiletés CRM et s'y exercent, notamment les habiletés de coordination de l'équipage, de jugement, de prise de décisions et de communication. L'objectif général de la simulation opérationnelle en ligne consiste à améliorer le rendement de l'équipe (équipage navigant ou équipe de maintenance) pour éviter ainsi que des incidents et des accidents se produisent pendant les vols opérationnels. L'intégration des habiletés CRM permet aux équipes de devenir de meilleurs solutionneurs de problèmes et gestionnaires de ressources, et les encourage dans cette voie. Le contexte de la simulation opérationnelle en ligne doit être structuré pour permettre aux comportements CRM d'émerger et aux équipes d'en devenir conscientes; en fait, le scénario doit durer suffisamment longtemps pour que les caractéristiques de l'équipe deviennent évidentes et il exige que des habiletés CRM soient affichées en réponse à des circonstances spécifiques. Elle doit aussi comprendre des évaluations formelles dans lesquelles les habiletés techniques et les habiletés CRM sont évaluées, et dans lesquelles on s'attend que les équipes traitent les défaillances et leurs conséquences. Les méthodes d'instruction classiques ont généralement porté sur l'atteinte par une personne de certains niveaux de compétence par rapport à la capacité d'une équipe de reconnaître et de réduire de façon efficace l'inévitable erreur humaine. La compétence technique élémentaire est toujours requise, mais l'atteinte des avantages complets des simulateurs impose que l'instruction soit élargie au-delà de simples habiletés techniques pour inclure les fonctions cognitives de niveau supérieur qui sont associées à l'utilisation d'un système complexe comprenant du matériel et un certain nombre de gens ayant des responsabilités diverses.

Finalement, la capacité d'offrir une formation efficace en simulation opérationnelle en ligne exige qu'on mette surtout l'accent sur l'instructeur/l'évaluateur. Les instructeurs classiques se sont concentrés sur le rendement de l'individu plutôt que sur celui de l'équipage ou de l'équipe. L'exploitation complète des capacités d'un simulateur pour enseigner des fonctions cognitives de niveau supérieur exige une formation et une qualification dans des domaines jamais abordés auparavant dans la

formation des instructeurs et des évaluateurs. Comme le précise la FAA (FAA, AQP, 2006), il y a plusieurs différences entre les instructeurs classiques et ceux qui sont en mesure de bien enseigner la simulation opérationnelle en ligne. Celles-ci comprennent une solide formation en CRM et en facteurs humains, l'uniformisation, la fiabilité de l'évaluateur/du référent, les procédures de collecte des données, l'utilisation efficace de dispositifs d'entraînement spécifiques et une qualification dans ces derniers, des limites sur l'utilisation de l'équipement de formation ainsi que l'évaluation du rendement par rapport à des normes objectives tant pour les habiletés techniques que pour les habiletés CRM. Comme on fait largement appel à la simulation pour atteindre les objectifs de formation, l'instructeur sur simulateur assume un rôle essentiel. Dans bien des cas, l'instructeur sur simulateur est le premier instructeur auquel est exposé le stagiaire et celui avec lequel il passe le plus de temps. Il existe maintenant des programmes de formation initiale des pilotes dans lesquels plus de 80 % de la formation se passe dans le simulateur, y compris toutes les évaluations. De toute évidence, insister de plus en plus sur la formation et la qualification des instructeurs en simulateur est essentiel à l'utilisation efficace des simulateurs.

Les aéronefs modernes et leur intégration poussée exigent que la formation soit menée en simulateur. De nombreuses recherches démontrent l'efficacité des simulateurs en aviation. Lorsqu'on les conçoit en ayant à l'esprit la fidélité perceptuelle, les simulateurs sont sans conteste précieux pour administrer de la formation en toute sécurité. Il est intéressant de constater qu'il n'y a que peu ou pas de preuve scientifique qui appuie l'efficacité de la formation au mouvement, si ce n'est pour contribuer au rendement des pilotes en simulateur à quelques exceptions près, comme l'entraînement au pilotage dans un aéronef instable et à des tâches dans lesquelles on retrouve des signes de perturbation. Le mouvement, le bruit et les vibrations contribuent généralement au réalisme, à la présence et à l'acceptation par le pilote du simulateur; par contre, ces éléments sont susceptibles d'être reproduits avec d'autres moyens moins coûteux de communiquer l'information sensorielle et la fidélité perceptuelle. Si la fidélité perceptuelle



**Le simulateur de vol de l'avion King Air C-90B est utilisé par la 3<sup>e</sup> École de pilotage des Forces canadiennes au Centre de Formation Aéronautique Les Ailes du Canada, à Southport (Manitoba).**

du simulateur est importante, la conception de l'instruction est essentielle. Les systèmes d'entraînement doivent intégrer les habiletés techniques classiques aux habiletés CRM à des niveaux permettant l'élaboration et le maintien de fonctions cognitives de niveau supérieur. La croyance bien ancrée dans le **réalisme** a amené à placer d'importantes ressources dans l'élaboration de systèmes de mouvement complexes et coûteux, souvent aux dépens d'autres secteurs du système d'instruction. Ce n'est que lorsque divers facteurs humains de la simulation entrent en ligne de compte et que des ressources sont consacrées à la fidélité et à la formation qui donnent des résultats mesurables que les véritables résultats de la situation peuvent être obtenus.

### Au sujet de l'auteur

Dans le cadre d'un échange Canada – États-Unis de 2001 à 2004, le Ltcol Colin Keiver était le directeur de la sécurité et de la normalisation au premier escadron de KC-130 des Marines des États-Unis à passer au KC-130J. Il est « tombé en amour » avec le secteur des facteurs humains pendant cette période. En 2004, il a été affecté au A3 Transports, au QG de la 1 DAC, où il a participé de très près à la mise en service du C-17 et à la mise au point du projet du C130J, qui comprend un recours important à la simulation pour l'atteinte des objectifs de formation. Il a récemment agi comme autorité de projet pour le projet d'élaboration de la politique et de la planification en matière d'automatisation (EPPA), qui a mesuré l'état général de la 1 DAC dans son exploitation complète de toutes les technologies qui lui sont livrées tout en augmentant l'efficacité opérationnelle et la sécurité. Il agit maintenant comme l'autorité conjointe de projet pour le projet sur les normes de l'air, la formation, la disponibilité opérationnelle et l'automatisation (ASTRA) et il est chargé de mettre en œuvre, dans toute la Force aérienne du Canada, les recommandations du rapport EPPA. Celles-ci comprennent une modification importante de la façon selon laquelle la Force aérienne du Canada envisage l'utilisation de la simulation.

### Références

- Bowen, S. A., B. P. Oakley et J. S. Barnett (2006). « Effects of Motion on Skill Acquisition in Future Simulators, » United States Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences, 2006-07.
- Bürki-Cohen, J., N. Soja et T. Longridge (1998). Simulator platform motion—The need revisited. *The International Journal of Aviation Psychology*, 8, 293-317.
- Burki-Cohen, J. et L. Sparko (2007). Training Value of a Fixed-Base Flight Simulator with a Dynamic Seat. *American Institute of Aeronautics and Astronautics Modeling and Simulation Technologies Conference and Exhibit*. Hilton Head, SC: American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Caro, P.W. (1973). Aircraft simulators and pilot training. *Human Factors*, 15, 502-509.
- Cheung, B. (2004). Nonvisual spatial orientation mechanisms. Dans F. J. Previc, & W. R. Ericoline (Eds.), *Spatial disorientation in aviation* (pp. 37-94). Reston, VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Federal Aviation Administration (2004). *AC 120-35C: Line Operational Simulations: Line Oriented Flight Training, Special Purpose Operational Training, Line Operational Evaluation*. Washington, D.C.: Flight Standards Division.
- Jones, E. R., Hennessy, R. T., & Deutsch, S. (1985). *Human factors aspects of simulation*. Washington, D.C.: National Academy Press.
- Kaiser, M. K. et J. A. Schroeder (2003). Flights of fancy: The art and science of flight simulation. Dans P. S. Tsang, & M. A. Vidulich (Eds.), *Principles and practice of aviation psychology* (pp. 435-471). Mahwah, New Jersey: Erlbaum.
- Kobierski, R.D. et C. Stickney (2008). *Rapport d'analyse de l'automatisation*. Ottawa (Ontario) : Contrat de TPSGC no W8485-0-XKCF/01/BQ préparé pour le MDN.
- Lee, A. T. (2005). *Flight Simulation: Virtual Environments in Aviation*. Hampshire, UK: Ashgate.
- Longridge, T., J. Burki-Cohen, T. H. Go et A.J. Kendra (2001). Simulator fidelity considerations for training and evaluation of today's airline pilots. *Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Symposium on Aviation Psychology, Columbus, OH*.
- McCaughey, M.E. (2006). *Do Army Helicopter Training Simulators Need Motion Bases?* Arlington, VA: US Army Research Institute for the Behavioral Sciences, Technical Report 1176.
- Previc, F. J. (2004). Visual orientation mechanisms. Dans F. J. Previc, & W. R. Ericoline (Eds.), *Spatial Disorientation in Aviation* (pp. 95-143). Reston, VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Salas, E., C. A. Bowers et L. Rhodenizer (1998). It is not how much you have but how you use it: Toward a rational use of simulation to support aviation training. *International Journal of Aviation Psychology*, 8, 197-208.
- Young, L. R. (2003). Spatial Orientation. Dans P. S. Tsang, & M. A. Vidulich (Eds.), *Principles and Practice of Aviation Psychology* (pp. 69-113). Mahwah, New Jersey: Erlbaum.

## Entretien de la machine humaine

par le Capitaine Mark Rutley, M.Sc., Centre de médecine environnementale des Forces canadiennes, Toronto

L'équilibre occupe une place considérable dans la sécurité des vols. Par exemple, nous arrivons à un équilibre entre le risque d'effectuer un vol dans de mauvaises conditions météorologiques et le besoin de mener une mission de recherche et de sauvetage essentielle pouvant avoir une incidence sur la vie ou la mort des personnes à secourir et des secouristes. Nous établissons aussi un équilibre entre la cadence des opérations et nos ressources humaines et matérielles. Chaque décision qui est prise et chaque risque qui est évalué et atténué fait partie de l'équation servant à trouver un équilibre entre les dangers propres aux opérations menées dans un environnement complexe, dynamique et hostile, et la nécessité d'exécuter des missions en toute sécurité, le plus efficacement possible. En tant qu'opérateurs et professionnels, nous savons tous que les facteurs humains sont des éléments contributifs dans la plupart des incidents et des accidents. Pourtant, combien de fois appliquons-nous la même rigueur à atteindre le même équilibre pour notre propre personne et nos vies, en vue d'optimiser l'efficacité de ce facteur qui contribue si souvent aux accidents?

Par exemple, combien de fois une situation de demandes concurrentielles vous a-t-elle empêché de prendre à peine trente minutes par jour pour faire un peu d'exercice? Combien de fois avez-vous sauté un repas ou bu seulement du café déshydratant toute la journée? Combien de fois vous êtes-vous couché trop tard ou réveillé trop tôt? La perte de l'équilibre chez les opérateurs mène à un manque de préparation personnelle, ce qui, en définitive, peut avoir des conséquences radicales et mortelles sur des opérations que nous avons préparées avec soin.

Bon nombre d'auteurs comparent le corps humain à une machine, ce qu'il est vraiment dans sa forme la plus simple. Par exemple, en tant que machine, un aéronef a besoin de carburant comme source d'énergie, d'huile pour protéger et lubrifier les pièces mobiles ainsi que de l'air, de l'eau ou un autre fluide comme agent de refroidissement. De la même façon, la « machine » humaine a besoin de carburant comme des glucides, des protéines et des matières grasses, de matériaux de protection comme des vitamines, des minéraux, des ions et des acides gras, et de l'eau comme agent de refroidissement (Kroemer et Grandjean, 2003). Outre la complexité de la machine biologique, l'être humain doit également tenir compte des aspects cognitifs sur lesquels le sommeil, le rythme circadien et les facteurs de stress ont une grande incidence. Si un problème se manifeste à l'un ou à l'autre de ces niveaux, le rendement humain se dégradera rapidement, ce qui pourra parfois causer la mort.

La nourriture que nous mangeons est digérée, puis absorbée par les parois de l'intestin grêle pour se répandre dans le sang et aboutir dans le foie. Ce dernier emmagasine des éléments nutritifs comme le glucose, le glycogène et le gras. Ces produits circulent dans le sang où l'oxygène entraîne leur métabolisation à l'échelle cellulaire pour produire du dioxyde de carbone, de l'eau, de la chaleur et de l'énergie chimique, qui seront convertis en énergie mécanique. Le corps utilise d'abord le glucose et le glycogène, avant de prendre le gras comme dernier combustible. Ces combustibles sont utilisés pour alimenter toutes les activités cellulaires, notamment les activités neurologiques.



Photo: Cpl. Kevin Sauvé

Une personne ayant un taux de glucose insuffisant dans le sang, parce qu'elle a une maladie comme le diabète ou parce qu'elle a sauté un repas ou ne mange pas convenablement, souffrira d'hypoglycémie. Les effets de l'hypoglycémie sur le comportement humain sont bien documentés. Ces effets peuvent comprendre une sensation de faiblesse, de la somnolence et une diminution du rendement. Une étude à laquelle ont participé bénévolement huit hommes en santé a démontré que, si le taux de glucose contenu dans leur sang était artificiellement modifié pour chuter sous la limite normale, qui est associée à l'hypoglycémie, des déficiences cognitives importantes étaient presque immédiatement remarquées (Evans, Pernet, Lomas, Jones, Amiel, 2000). Il est intéressant de souligner que bon nombre de ces déficiences étaient enregistrées jusqu'à vingt minutes avant que les bénévoles ne signalent eux-mêmes qu'ils « ne se sentaient pas bien » (Evans et coll., 2000). Autrement dit, les bénévoles montraient des signes de troubles cognitifs avant même de se rendre compte qu'ils avaient une déficience (Evans et coll., 2000). En outre, les déficiences cognitives se sont maintenues jusqu'à vingt minutes après que le taux de glucose dans le sang des bénévoles est revenu à la normale (Evans et coll., 2000).

Il faut souligner qu'il s'agit de cas d'hypoglycémie sévère, où l'on a fait brusquement chuter le taux de glucose dans un court délai. Toutefois, les mêmes problèmes cognitifs peuvent se manifester

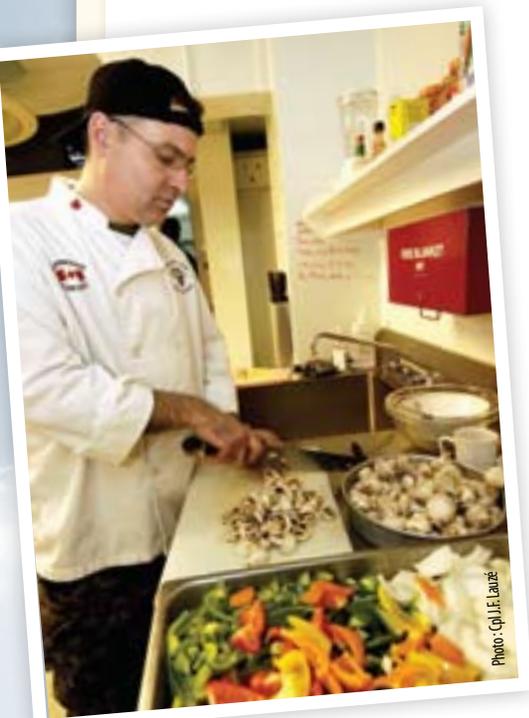


Photo: Cpl. J. Laugel



si l'hypoglycémie s'installe lentement. Dans ce dernier cas, nous sommes tout simplement plus conscients de la situation, et nous pouvons prendre les mesures qui s'imposent pour la corriger. Le problème se pose lorsqu'une personne se trouve en état d'hypoglycémie et qu'elle n'a pas facilement accès à de la nourriture, comme pendant un vol de longue durée à bord d'un petit aéronef. Les répercussions sur la sécurité des vols sont évidentes – un faible taux de glucose dans le sang équivaut à un moins bon rendement mental et physique et, par conséquent, à une augmentation des risques d'erreur.

De la même façon, la consommation de liquide est indispensable à un bon rendement, même si les effets de la déshydratation sur le rendement cognitif sont moins bien documentés dans les ouvrages scientifiques. Néanmoins, l'eau est absolument essentielle à de nombreux mécanismes physiologiques du corps, comme la métabolisation du glucose en énergie cellulaire. En outre, l'eau est un agent refroidissant essentiel au corps, comme peut le confirmer quiconque a passé un peu de temps dans un environnement chaud. Sans une quantité suffisante d'eau, les voies métaboliques seront moins efficaces ou cesseront complètement de fonctionner, ce qui réduira le rendement physique et mental.

Dans le cadre de la préparation personnelle, il faut également atteindre un équilibre pour ce qui est des répercussions des autres facteurs de stress sur notre rendement au travail. Le stress peut découler de nombreuses sources, et ces dernières ne sont pas toutes mauvaises. Par exemple, une personne peut se sentir angoissée à la suite d'une affectation, d'un décès dans la famille, de conflits entre les membres de la famille ou avec des collègues de travail, d'un changement dans une relation personnelle (bonne ou mauvaise) ou de maladie. De tels facteurs de

stress sont subjectifs : ce qui peut s'avérer un agent stressant pour une personne peut sembler sans conséquence pour une autre. Par conséquent, il est difficile de prévoir comment un événement personnel touchera le rendement d'un coéquipier. En général, si une personne vit un événement ou un changement important et ne se sent pas capable d'y faire face, elle sera exposée à une certaine tension.

Le stress peut avoir diverses incidences sur le corps et se manifester sous deux formes : le stress aigu et le stress chronique. Le stress

aigu mène à la réaction classique de combat ou de fuite, c'est-à-dire le sentiment que l'on ressent lorsque quelque chose va très mal, et qu'il faut subir des conséquences pouvant entraîner des blessures ou la mort. Habituellement, les réponses physiologiques comprennent des pupilles dilatées, une respiration plus profonde et rapide, une fréquence cardiaque accrue ainsi que la constriction des vaisseaux sanguins dans des parties moins importantes du corps de façon à favoriser la circulation sanguine vers les poumons, le cerveau et les grands muscles afin d'améliorer le débit de l'oxygène (Gleitman, Fridlund et Reisberg, 2000). Ces réponses sont non seulement naturelles, mais aussi essentielles à la survie d'une personne. Toutefois, un problème se pose si ces réponses deviennent chroniques. Le stress chronique peut mener à un déséquilibre neurochimique et entraîner toute une série de problèmes de santé. Il en résulte de la fatigue, un rendement cognitif réduit, une mauvaise mémoire et, dans des cas extrêmes, une dépression clinique. Le stress peut également accroître la charge de travail mental puisque le facteur de stress doit faire l'objet d'un traitement continu. Comme la charge de travail mental de l'être humain a une capacité limitée, la personne aux prises avec une sollicitation accrue peut avoir la mémoire courte ou être facilement distraite, ce qui a une incidence directe sur la sécurité des vols.

Pour compliquer davantage les choses, aucun de ces facteurs contributifs n'agit de façon isolée; ils ont plutôt tendance à s'additionner. Le stress chronique peut mener à une mauvaise alimentation ou, réciproquement, les effets négatifs sur la santé d'une mauvaise alimentation peuvent mener au stress chronique. En voulant éliminer certains des symptômes désagréables associés à une mauvaise alimentation, à une hydratation insuffisante ou à un stress chronique,

de nombreuses personnes auront recours à l'automédication, ce qui traitera les symptômes générés par ces conditions au lieu des causes sous-jacentes comme telles.

L'ampleur de l'incidence que peuvent avoir les facteurs humains sur la sécurité des vols n'est pas contestée. Pour réduire les conséquences négatives de ces facteurs humains, il faut s'assurer que tous opérateurs travaillent au mieux de leur forme mentale et physique. Pour ce faire, il faut adopter une méthode aussi prudente que celle utilisée dans le cadre de nos opérations aériennes pour gérer et équilibrer nos vies personnelles.

## Bibliographie

1. K.H.E. Kroemer et E. Grandjean, *Fitting the Task to the Human*, Taylor and Francis, p. 250, 2003.
2. M.L. Evans, A. Pernet, J. Lomas, J. Jones et S.A. Amiel, *Delay in Onset of Awareness of Acute Hypoglycemia and of Restoration of Cognitive Performance During Recovery*, *Diabetes Care*, vol. 23, numéro 7, 2000.
3. H. Gleitman, A.J. Fridlund et D. Reisberg, *Basic Psychology*, W.W. Norton and Company, London et New York, p. 710-717, 2000.

### Assurance qualité des opérations de vol militaires (MFOQA)

par le Sous-lieutenant Eric Seedhouse, Ph.D., FBIS, AsMA, Centre de médecine environnementale des Forces canadiennes, Toronto

« L'assurance qualité des opérations de vol (FOQA) est un programme de sécurité volontaire, conçu pour améliorer la sécurité aérienne grâce à une utilisation proactive des données de vol enregistrées. »

Ordonnance 8400.100 de la FAA, 9 août 2000,  
« Air Transportation Operations Inspector's Handbook »

#### Aperçu de l'assurance qualité des opérations de vol

Au cours de la dernière décennie, l'industrie du transport aérien civil a examiné de nouveaux moyens de cerner les problèmes de sécurité aérienne. Après avoir effectué plusieurs études, dont bon nombre d'entre elles ont été financées par la Federal Aviation Administration (FAA), la FAA a conclu que la mise en œuvre d'une assurance qualité des opérations aériennes (FOQA) pouvait réduire considérablement les taux d'incidents des transporteurs aériens.

La FOQA est un processus ou un programme de gestion du savoir conçu pour fournir à l'exploitant de l'information quantitative sur le personnel navigant et les systèmes de bord. En utilisant des données téléchargées après chaque vol, le personnel navigant et les exploitants peuvent améliorer l'efficacité et la disponibilité opérationnelles, améliorer la formation et réduire les risques associés aux opérations aériennes. Un processus FOQA peut aussi isoler une erreur humaine, facteur contributif de 70 à 80 % des accidents d'aviation, en comparant les données cumulatives de multiples opérations aériennes avec les événements ou les situations se produisant à l'extérieur des instructions permanentes d'opérations.

#### Technologie en appui à la FOQA

Jusqu'à tout récemment, l'acceptation généralisée de la FOQA dans le monde de l'aviation civile a été très discrète. De nombreuses lignes aériennes indiquent que le système est relativement jeune, mais de récents progrès réalisés dans le matériel informatique par des sociétés comme UHL Research Associates et Aerobytes, ont donné un système de reconstitution du vol (FRS) polyvalent et économique. Le FRS est en mesure de fournir une reconstitution immédiate d'un vol au moyen d'un seul enregistrement GPS d'un instantané numérique de ce que l'avion fait tous les dixièmes de seconde. La fidélité du système est si poussée que non seulement le système enregistre-t-il les données de position, de cap et de vitesse-sol GPS standard, mais il fournit aussi des points de données sur la vitesse indiquée, l'assiette en lacet-tangage-roulis, les accélérations en nombre de g, l'angle d'attaque et le taux de montée. Lorsque les données GPS sont combinées à l'information de vol régulière, une reconstitution précise du vol est générée au moyen d'un logiciel évolué de traitement après vol (PFP) et présentée au moyen d'une image réaliste générée par ordinateur. Tout comme les options offertes par le logiciel *Flight Simulator* de Microsoft, le logiciel PFP est en mesure de présenter l'image de l'extérieur selon des perspectives différentes, une vue en plongée ou une vue extérieure du poste de pilotage montrant le tableau de bord. Le système est si polyvalent qu'il peut combiner des données provenant de jusqu'à 32 aéronefs pour fournir des reconstitutions de vols en formation.

La clé du système est le module d'acquisition de données de vol (FDAU), qui recueille les données de l'aéronef au moyen d'entrées analogiques et numériques, puis formate l'information pour la fournir à l'enregistreur de données de vol. Un autre élément du processus FOQA est l'équipe de surveillance, comprenant



Photo : Gholam Moin

des représentants du groupe des pilotes et du personnel travaillant en sécurité des vols. Le groupe de surveillance, en revoyant et en analysant systématiquement les données de vol et des événements, peut cerner des événements ou des actions hors norme et recommander des mesures correctives.

#### Fonctionnement du matériel et du logiciel

Lorsque l'aéronef est en vol, le logiciel PFP reçoit une position du vol dans le temps à partir de l'enregistreur de données GPS. Le PFP déduit alors des facteurs comme la latitude et la longitude, la vitesse indiquée, le taux de montée, l'altitude de la trajectoire de vol, l'angle d'inclinaison latérale et l'angle d'attaque en fonction d'une précision de +/-5 %, selon les essais en vol effectués à bord de F-15, F-16 et T-38 par la United States Air Force. Le système prend environ 20 secondes pour analyser un vol d'une heure et produire une reconstitution fil de fer tridimensionnelle de ce vol. Une fois le vol reconstitué, on peut le visionner en temps réel, ou à partir de n'importe quel point en vol. Pour faciliter l'évaluation, la trajectoire de l'aéronef dans l'air est décrite par une ligne bleue, tandis qu'une ligne verte montre la trajectoire de l'aéronef au-dessus du sol.



### La perspective militaire de la FOQA

La FOQA militaire (MFOQA) présente des avantages fondés sur son potentiel à fournir l'intégration de données relatives aux opérations aériennes, à la maintenance, à la formation et à la sécurité en un seul programme au sein de l'escadron. On peut considérer la MFOQA comme étant un outil proactif et habilitant qui, s'il est mis en œuvre au sein des FC, permettrait aux escadrons de prendre des mesures « autocorrectives » fondées sur les données quantitatives stockées dans une banque de données centrale des FC renfermant des données cumulatives pour chaque cellule.

Le plateau relatif des accidents et des incidents d'aviation des FC au cours des dix dernières années montre que les systèmes et les programmes de sécurité mis en œuvre par les FC évoluent en fonction de divers programmes et initiatives. Pour réduire encore plus le nombre d'accidents et d'incidents, les FC ont l'occasion d'améliorer la disponibilité opérationnelle et la qualité de la formation en adoptant une approche plus proactive, selon les exemples du MFOQA. Chaque perte d'aéronef compromet la capacité opérationnelle des FC, et chaque vie perdue porte un dur coup au personnel, qui est la ressource la plus précieuse des FC. Le principal facteur contributif de la plupart des incidents d'aviation cible les facteurs humains, une réalité dont la MFOQA peut fort bien s'occuper, puisqu'une de nos composantes intégrées du système consiste à avoir recours à la gestion du savoir pour traiter ces facteurs.

Le système MFOQA, en cumulant les erreurs fondées sur les habiletés qui sont associées aux opérations de vol et en cernant les tendances et les occurrences, peut offrir aux FC des données quantitatives qui peuvent servir à la mise en œuvre de procédures visant à réduire les risques et à augmenter la conscientisation. En outre, le concept MFOQA peut améliorer considérablement la capacité à contribuer au débriefage après vol en téléchargeant et en traitant en temps opportun les données de vol.

Dans ce dernier cas, le concept MFOQA peut servir d'outil permettant de déceler des dépassements prédéfinis de paramètres de vol et de visualiser les données de vol illustrant le rendement de l'équipage. Cette information peut alors être présentée à l'équipage pour assurer l'amélioration des débriefages après vol et du rendement de l'équipage.

La MFOQA peut aussi jouer un rôle dans l'amélioration de l'efficacité de la maintenance des aéronefs des FC en fournissant au personnel de maintenance un outil haute fidélité capable de dépanner des systèmes de bord complexes.

### La MFOQA dans les Forces canadiennes

Un système MFOQA qui serait adopté par les FC aurait recours à une architecture similaire à celle indiquée ici. Un enregistreur à accès rapide (QAR) serait installé dans le compartiment avionique avant chaque vol. Les données seraient enregistrées pendant le vol et récupérées par un technicien à l'escadron au moyen d'un petit appareil portable. La taille typique des fichiers pour un vol d'une heure serait d'environ 2 Mo, ce qui prendrait 30 secondes à télécharger. Le fichier serait ensuite chargé dans un poste de travail, et un logiciel d'analyse serait utilisé pour déceler toutes les valeurs dépassant des seuils limites prédéterminés, puis un rapport formaté serait généré. Cette information serait ensuite enregistrée dans les escadrons et dans des répertoires de bases de données à travers le pays.

« La MFOQA est un concept d'opérations qui offre au combattant de l'information quantitative en temps opportun relativement au comportement du personnel navigant et au rendement des systèmes. Elle peut servir à améliorer la sécurité et l'efficacité opérationnelle de chaque vol. »

*Capt. Mike Williamson, gestionnaire de programmes, Analyse après accident du Programme de disponibilité au combat aérien NAVAIR*

### La FOQA n'est pas une panacée

Dans le monde de l'aviation civile, et de plus en plus dans le secteur militaire des États-Unis, les programmes FOQA ont démontré une capacité à fournir de l'information objective sur la sécurité qu'il ne serait pas possible d'obtenir autrement. Pour que les FC soient proactives en sécurité des vols, un programme MFOQA peut être mis en œuvre pour déceler de l'information imprévue et imprévisible enfouie profondément dans les données de vol. Aucun système de ce genre n'existe au sein des FC, mais l'adoption d'une MFOQA, comme l'expérience l'a montré dans le secteur de l'aviation civile, procurera des avantages qui iront croissants à mesure que le programme évoluera. L'évolution d'une MFOQA dans les FC sera fonction de l'affectation des ressources consacrées à la mise en œuvre d'un tel programme, ce qui pourrait nécessiter un changement d'orientation dans le milieu de l'aviation des FC pour adopter le concept MFOQA comme outil d'autocorrection. La MFOQA n'est pas une preuve irréfutable ni une recette rapide pour régler les incidents en aviation, mais elle représente une occasion pour les FC de prendre des mesures qui se traduiront par une réduction soutenue du taux d'accidents et d'incidents en aviation.

### Mesures contre la fatigue dans certaines opérations de transport aérien des Forces canadiennes

par Michel Paul, Scientifique de la défense, Recherche et développement pour la défense Canada, Toronto

Le corps humain est conçu de façon à offrir un rendement optimal après un sommeil quotidien nocturne de huit à dix heures. Depuis que Thomas Edison a inventé l'ampoule électrique, notre société s'est rapidement transformée pour mener ses activités en continu. Les organisations militaires modernes doivent faire preuve d'une constante vigilance, et souvent des opérations militaires se déroulent aussi en tout temps. Cet impératif de permanence fait que certains segments de notre société et de nos forces militaires sont maintenant privés de sommeil. Il va sans dire que les impératifs de la politique étrangère régissant les activités militaires ne prévoient pas que la planification de ces activités permette toujours à nos soldats, à nos marins et à notre personnel navigant de bénéficier d'une nuit d'au moins huit heures de sommeil.

Une des statistiques les plus convaincantes concernant les effets dévastateurs du manque de sommeil est issue de l'analyse de plus d'un million d'accidents de la route qui se sont produits lors des changements d'heure semestriels, c'est-à-dire lorsque nous avançons l'heure au printemps (perte d'une heure de sommeil) et que nous la reculons à l'automne (gain d'une heure de sommeil). En somme, au printemps, le lundi matin suivant le changement d'heure effectué le samedi, les accidents de la route augmentent de 7 %, mais le taux revient à la normale plus tard dans la semaine. À l'automne, lorsque nous reculons l'heure et bénéficions d'une heure de sommeil supplémentaire, les accidents de la route chutent de 7 %, mais le taux revient à la normale plus tard dans la semaine. Au Canada, la Saskatchewan est la seule province où l'on ne constate pas un tel phénomène; c'est également la seule province où l'on ne procède pas aux changements d'heure semestriels<sup>[1]</sup>. Si le fait de changer d'une seule heure les habitudes de sommeil peut avoir une telle incidence sur une tâche bidimensionnelle comme la conduite, imaginez un peu les effets sur le personnel militaire qui est souvent privé de beaucoup plus qu'une seule heure de sommeil. Quelles peuvent donc être les répercussions d'une telle fatigue sur une tâche tridimensionnelle comme celle de piloter ou de gérer un système d'armes perfectionné?

Je me suis intéressé à la fatigue des équipages pour la première fois dans le cadre de l'opération Alliance (parfois surnommé l'opération « Deny Christmas » par nos équipages d'aéronef), une mission de transport aérien vers Split (ville de la Croatie), effectuée au moyen de 18 avions CC130 *Hercules* et d'une durée de six semaines. La circulation était répartie de façon à ce qu'un avion atterrisse dans le théâtre des opérations toutes les quatre heures, et un équipage sortait de la boucle une fois qu'il avait atteint le nombre maximal de 120 heures de vol prescrit pour une période de 30 jours, ce que des équipages accomplissaient en à peine deux semaines<sup>[2]</sup>. La mission initiale de transport aérien a pris fin avant même que nous puissions mettre en place un protocole approuvé pour la collecte des données. Au lieu d'effectuer six vols par jour et une pause de 14 heures au sol entre les étapes d'une mission (Trenton, RAF Lyneham, Split, RAF Lyneham, Trenton), nous devions assurer le maintien en puissance et effectuer trois vols par semaine (cette fois vers Zagreb) avec une pause de 32 heures au sol entre les étapes de la mission. Nous avons évalué le rendement des équipages (en vol) et le sommeil quotidien de ses membres (au moyen d'un bracelet actigraphique) dans le cadre de dix vols de maintien en puissance. Les bracelets actigraphiques détectent les mouvements toutes les 0,1 seconde et, grâce à un algorithme de réduction, le sommeil quotidien peut être évalué en chiffres à une minute près pour une période de plusieurs semaines à la fois. Nous avons constaté une baisse du rendement causée par la fatigue durant la longue étape transatlantique en éloignement. Nous avons également constaté que les équipages avaient de la difficulté à dormir au Royaume-Uni, car ils devaient se coucher à 22 h, heure locale, alors que leur horloge biologique indiquait qu'il était seulement 17 h; leur rythme circadien de mélatonine était dérégulé.

La mélatonine est une hormone primordiale qui régule les rythmes circadiens (rythmes quotidiens). Le cerveau humain sécrète de la mélatonine quotidiennement en l'absence de lumière. Le jour, le taux de mélatonine est à peine décelable, mais après le coucher du soleil, la noirceur provoque la libération de la mélatonine dans le sang.

Au lever du soleil, le cerveau cesse de produire de la mélatonine. C'est pour cette raison que certaines personnes considèrent la mélatonine comme « l'expression biochimique de la noirceur. » Le moment où la sécrétion nocturne de mélatonine commence porte le nom de « début de la sécrétion endogène de mélatonine (DLMO). » Dans les régions tempérées de latitude moyenne, le DLMO des personnes ayant adopté un rythme de vie normal (coucher à 23 h et lever à 7 h) se produit en moyenne vers 21 h, mais il se manifestera plus tôt en hiver ou plus tard en été, selon le nombre d'heures que dure le jour pendant ces deux saisons diamétralement opposées.

En réponse à nos constatations selon lesquelles les équipages effectuant le transport aérien avaient de la difficulté à trouver un sommeil devancé par rapport à leur rythme circadien (c'est-à-dire se coucher alors que leur horloge biologique indiquait 17 h, donc avant la présence quotidienne d'une quantité suffisante de mélatonine dans leur sang), nous avons étudié la question dans notre laboratoire de Toronto. Au cours de cette étude, les sujets se couchaient à 17 h, tout de suite après avoir avalé un comprimé contenant de la mélatonine, de la zopiclone (unsomnifère) ou un placebo. Les sujets portaient des bracelets actigraphiques, ce qui permettait d'évaluer leur sommeil en chiffres. On les réveillait à minuit, et on évaluait leur rendement toutes les heures, de minuit à 7 h. Dans cette étude, rien n'a prouvé qu'un médicament ou l'autre ait eu une incidence sur le rendement. L'analyse des bracelets actigraphiques a indiqué que les sujets ayant ingéré de la mélatonine ou de la zopiclone avaient bénéficié de considérablement plus de sommeil que ceux qui avaient pris un placebo<sup>[3]</sup>.

Après avoir réussi à prouver en laboratoire que la mélatonine et la zopiclone étaient toutes les deux efficaces pour devancer le sommeil par rapport au rythme circadien et que ces substances n'avaient aucune incidence sur le rendement, nous avons demandé et obtenu l'autorisation de mener une étude semblable (évaluer les effets de la mélatonine et de la zopiclone pour devancer le sommeil par rapport



au rythme circadien dans un milieu opérationnel) auprès des équipages effectuant des missions de ravitaillement hebdomadaires vers Zagreb. La collecte des données a touché 219 membres d'équipage qui ont effectué 70 missions, et elle s'est échelonnée sur 2,5 ans. Malgré le fait que les doses aient été réduites (par mesure de précaution supplémentaire) et que, contrairement à l'étude en laboratoire, nous ne pouvions décider de l'heure à laquelle les équipages se couchaient, nous avons enregistré des résultats semblables à ceux obtenus précédemment en laboratoire<sup>[4]</sup>, ce qui confirmait de nouveau l'efficacité de la mélatonine et de la zopiclone pour devancer le sommeil par rapport au rythme circadien dans un milieu opérationnel.

À la suite de ces travaux, nous sommes retournés en laboratoire pour analyser plusieurs médicaments somnifères ainsi qu'une nouvelle formule de mélatonine à action retard, afin d'évaluer en chiffres la portée et la durée de toute répercussion sur le rendement possiblement attribuable aux médicaments étudiés<sup>[5]</sup>.

Les connaissances acquises dans le cadre de cette étude ont été mises à profit par l'ancienne Commission centrale médicale, maintenant connue sous le nom de Commission de médecine aérospatiale et sous-marine, qui a élaboré une politique en médecine de l'air relativement à l'utilisation, à court terme et supervisée par un médecin de l'air, de médicaments somnifères par des équipages exécutant des missions reconnues comme ayant une incidence sur l'hygiène du sommeil des équipages. Cette politique autorise l'utilisation d'Imovane (zopiclone) ou de Restoril (temazepam), supervisée par un médecin de l'air, pour induire le sommeil lorsque l'horloge biologique indique que le corps doit rester réveiller. Même si les comprimés de mélatonine se sont également avérés efficaces, les Forces canadiennes ne peuvent pas les utiliser au

Canada, car il n'y a aucune préparation pure d'usage pharmaceutique sur le marché. Comme Santé Canada a récemment approuvé une préparation de mélatonine pure à usage pharmaceutique au Canada, il est possible que le Système de produits pharmaceutiques des Forces canadiennes offre bientôt de la mélatonine.

En décembre 2003, on s'est inquiété de la cadence des opérations de transport aérien tactique (à partir du camp Mirage).

Comme seulement deux équipages d'avion CC130 assuraient les vols quotidiens vers Kaboul, la limite maximale de 120 heures de vol par période de 30 jours a été rapidement dépassée, et les équipages ont obtenu des dispenses les autorisant à effectuer 150 heures de vol par période de 30 jours. Comme le transport aérien tactique avait un nombre anormalement élevé d'incidents liés à la sécurité des vols (communications personnelles avec l'A3 Transports, 1 DAC, novembre 2003), on nous a demandé d'évaluer la cadence opérationnelle. Les équipages ont donc porté des bracelets actigraphes pour évaluer en chiffres leur sommeil quotidien. Les données sur le sommeil ainsi que celles sur leurs tâches quotidiennes ont été entrées dans le FAST (Fatigue Avoidance Scheduling Tool)<sup>[6]</sup>, un logiciel servant à la modélisation de l'efficacité cognitive. Le FAST indique principalement le rendement en pourcentage d'efficacité. Vous trouverez ci-après trois graphiques présentant les résultats obtenus à la suite de l'évaluation des opérations de transport aérien du camp Mirage, ainsi que certaines précisions concernant ces graphiques :

- L'axe vertical à gauche des graphiques du FAST<sup>®</sup> représente l'efficacité du rendement humain, qui est indiqué par la ligne sinueuse, laquelle représente le rendement moyen du groupe selon l'heure de la journée, les biorhythmes, le temps d'éveil et la quantité de sommeil.
- La bande verte représente l'efficacité du rendement de travailleurs spécialisés, et sa limite inférieure (90 %) indique l'heure à laquelle le sujet a besoin de sommeil.
- Le rendement présenté par la bande jaune (efficacité cognitive de 60 à 90 %) signale que la prudence est de mise. Le personnel devant effectuer des activités spécialisées, comme l'aéronautique, ne devrait pas travailler s'il se trouve dans cette plage de rendement.

- La ligne noire pointillée représentant une efficacité cognitive de 77,5 % indique un rendement équivalant à celui d'une personne ayant un taux d'alcoolémie de 0,05 %.
- Une efficacité cognitive de 70 % indique un rendement équivalant à celui d'une personne ayant un taux d'alcoolémie de 0,08 %.
- La plage s'étendant de la ligne pointillée à la zone rose indique l'efficacité cognitive au nadir circadien et au cours de la deuxième journée sans sommeil.
- Le rendement représenté par la bande rose (moins de 60 %) indique l'efficacité du rendement après deux jours et deux nuits sans sommeil. Dans ces conditions, personne ne peut accomplir une tâche efficacement.
- La ligne rouge indique l'acrophase (moment de la journée où le pic de l'efficacité cognitive est atteint, habituellement vers la fin de l'après-midi ou en début de soirée). L'acrophase est facilement perturbée par le travail de nuit, le travail par roulement (décalage lié au travail par roulement) et les changements de fuseau horaire (décalage horaire).
- L'axe horizontal indique les périodes de travail (barres rouges), de sommeil (barres bleues) et les heures de la journée. Les barres rouges de ces graphiques correspondent à l'épaississement de la ligne signalant l'efficacité cognitive (tout juste au-dessus d'elles), et elles indiquent les 30 dernières minutes de travail de la journée de l'équipage (approche et atterrissage de retour au camp Mirage).

La Figure 1 présente la période de rétablissement d'un copilote de CC130 qui ressent les effets du décalage horaire après avoir traversé neuf fuseaux horaires (suivre la ligne rouge indiquant l'acrophase). Au cours de sa première mission (le dimanche 14 décembre), le rendement optimal du copilote a été atteint lorsque la ligne sinuieuse a traversé la ligne noire pointillée (correspondant à un taux d'alcoolémie de 0,05 %). À part cela, son rendement était très inquiétant. Son rendement s'est amélioré graduellement au cours des jours qui ont suivi. Si on examine la ligne représentant l'acrophase (associée aux coordonnées de l'axe vertical de droite), on constate que le rétablissement complet à la suite d'un tel décalage horaire prend de neuf à dix jours, même si les équipages étaient en mesure d'effectuer des vols relativement sécuritaires à partir du cinquième (19 décembre) ou du sixième (20 décembre) jour.

Le modèle de la Figure 2 représente l'équipage qui était dans le théâtre des opérations depuis le mois précédent et pour lequel les effets du décalage horaire avaient disparu. En somme, dans le présent modèle, l'efficacité cognitive respecte les limites prescrites pour l'exécution de vols en toute sécurité, et on ne constate aucun signe indiquant une baisse d'efficacité au cours de la période visée. Par conséquent, dans ce cas-ci, la cadence opérationnelle n'a aucune incidence sur le rendement.

La Figure 3 présente les répercussions du travail de nuit sur l'efficacité cognitive. En somme, le rythme circadien de l'équipage a été inversé. Ce dernier doit travailler lorsqu'il devrait dormir, et il dort lorsqu'il devrait travailler. Dans le présent modèle, les bandes rouges en abscisse représentent toute la mission au lieu des 30 dernières minutes comme c'était le cas dans les figures 1 et 2. Les bandes rouges correspondent aussi à l'épaississement des lignes indiquant l'efficacité cognitive. Ces données indiquent une baisse marquée du rendement durant les missions de nuit.

En somme, la cadence opérationnelle du camp Mirage ne cause pas une diminution du rendement à mesure que le temps passe. Par contre, les équipages ont participé à des missions aériennes dans les 36 heures qui ont suivi leur arrivée dans le théâtre des opérations; leur rendement a été considérablement affaibli pendant la première mission, puis il s'est amélioré

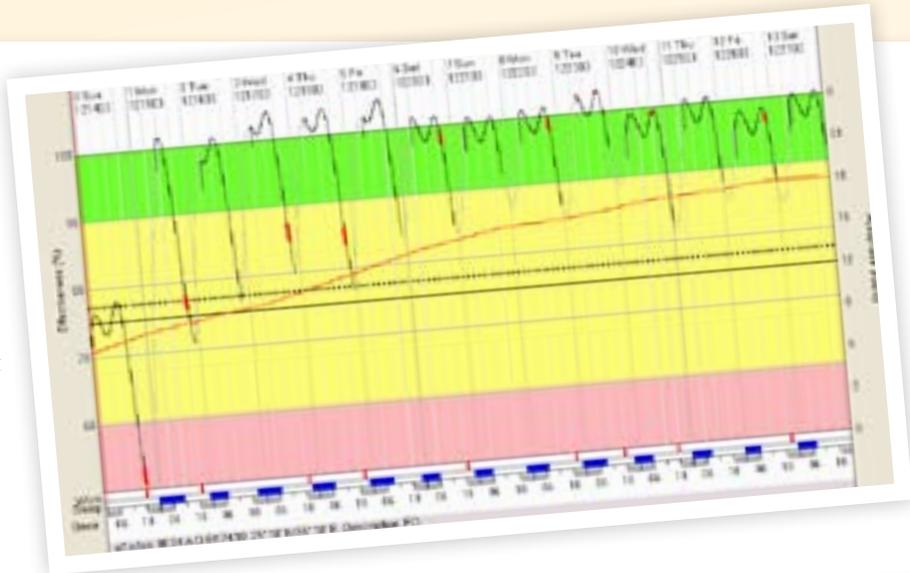


Figure 1

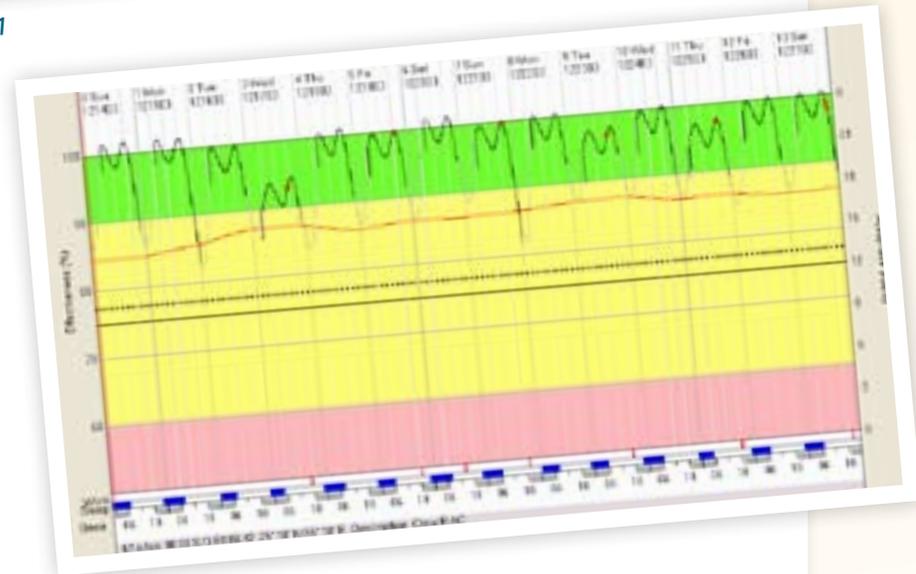


Figure 2

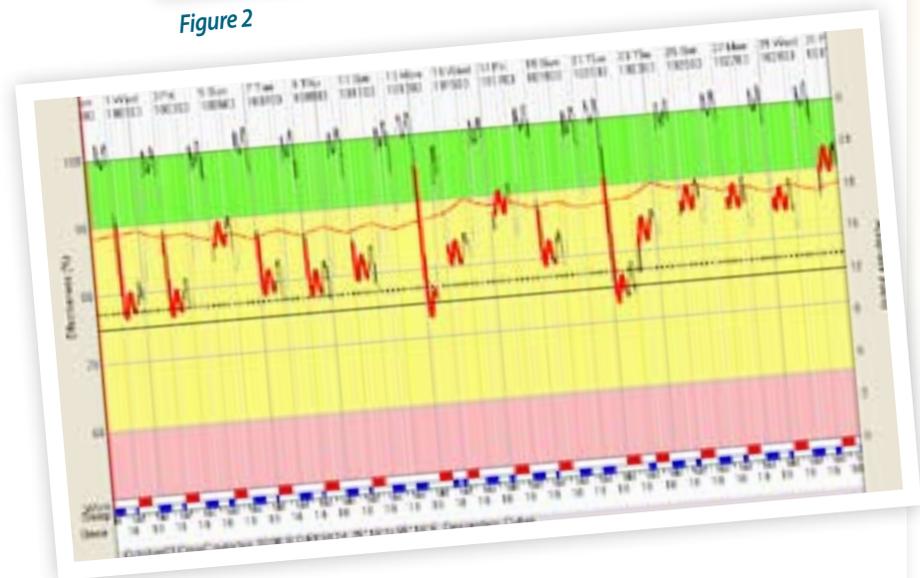


Figure 3



peu à peu au fil des jours, et les équipages ont été en mesure d'effectuer des vols relativement sécuritaires après cinq à six jours dans le théâtre des opérations<sup>[7]</sup>. Parmi les recommandations formulées à la suite du rapport, on précisait que, à leur arrivée dans le théâtre des opérations, les équipages devaient attendre plus longtemps avant de commencer des missions aériennes de façon à s'adapter à l'heure locale. Cependant, seulement si les besoins opérationnels le commandaient, une deuxième solution possible consistait à administrer sur une période de six jours, une dose quotidienne de mélatonine pour régler les rythmes circadiens avant le déploiement. Un tel protocole permettrait de devancer les rythmes circadiens d'environ 1,5 heure par jour par rapport à la normale, de façon à obtenir un total de neuf heures en six jours. Par conséquent, les effets du décalage horaire étaient réduits, sinon entièrement éliminés, ce qui permettait aux équipages de prendre les commandes dès leur arrivée dans le théâtre des opérations, après une période de repos satisfaisante pour se rétablir du vol de déploiement.

En réponse à ces recommandations, la Force aérienne a mis en place une période d'adaptation obligatoire de cinq jours à l'intention des équipages d'aéronef (une fois dans le théâtre des opérations), avant que ceux-ci ne commencent toute mission aérienne. La Force aérienne a également versé le financement nécessaire à un projet échelonné sur quatre ans, visant à tirer avantage au maximum de la capacité de manipulation des rythmes circadiens (avance ou retard) en vue de contrer les effets du décalage horaire et du décalage lié au travail par roulement. Les deux modalités d'entraînement circadien liées au projet en question comportent l'ingestion

opportune de mélatonine (ingestion en après-midi pour devancer la phase et ingestion tôt le matin pour retarder la phase) et/ou une luminothérapie opportune (en soirée pour retarder la phase et tôt le matin pour devancer la phase). Nous venons de terminer la collecte des données nécessaires au projet, en décembre 2008. Nous achevons actuellement l'analyse des données ainsi collectées, et rédigeons les ouvrages scientifiques.

Le produit opérationnel sera un manuel d'entraînement circadien qui orientera les médecins des Forces canadiennes voulant mettre en œuvre un entraînement circadien le plus efficace possible dans le cadre de nombreux scénarios opérationnels.

La fatigue est attribuable à de nombreuses causes, autant physiologiques (comme un effort physique prolongé, le manque de sommeil, la désynchronisation circadienne mentionnée précédemment, des modifications soudaines aux horaires de travail et de repos, une exposition à un environnement hostile, une mauvaise forme physique, une mauvaise alimentation et hydratation) que psychologiques (comme un effort ou un stress mental prolongé, de longues périodes d'anxiété, des tâches ennuyeuses et monotones). Pour faire pendant au manuel d'entraînement circadien, nous regroupons également des ouvrages en médecine aéronautique traitant de la gestion de la fatigue, et nous prévoyons élaborer d'ici la fin de l'exercice financier une guide du commandant sur la gestion de la fatigue à l'intention des dirigeants de la Force aérienne.

## Bibliographie

1. S. Coren, *Sleep Thieves: An Eye-Opening Exploration Into the Science and Mysteries of Sleep*, New York (New York), The Free Press, 1996.
2. M.A. Paul, R.A. Pigeau et H. Weinberg, *Human Factors of CC-130 Operations, Volume 6: Fatigue in Long-haul re-supply missions*, Toronto (Canada), Institut de médecine environnementale pour la défense, rapport n° 98-R-19, 1998.
3. M.A. Paul, G. Brown, A. Buguet, G. Gray, R.A. Pigeau, H. Weinberg et coll., *Melatonin and Zopiclone as Pharmacologic Aids to Facilitate Crew Rest*, Aviation, Space, and Environmental Medicine, vol. 72, n° 11, 2001, p. 974-984.
4. M.A. Paul, G.W. Gray, T.M. Sardana et R.A. Pigeau, *Fatigue Countermeasures In Support Of CF CC130 Air Transport Operations: from the operation to the laboratory and back to the operation*, Toronto (Canada), Recherche et développement pour la défense Canada, rapport n° TR 2003-106, octobre 2003.
5. M.A. Paul, G. Gray, G. Kenny et R. Pigeau, *Impact of Melatonin, Zaleplon, Zopiclone, and Temazepam on Psychomotor Performance*, Aviation, Space, and Environmental Medicine, Vol. 74, n° 12, 2003, p. 1263-1270.
6. D.R. Eddy, S.R. Hursh, *Fatigue Avoidance Scheduling Tool (FAST)*, AFRL-HE-BR-TR-2001-0140, SBIR Phase I Final Report, Brooks AFB 78235-56105 (Texas), Human Effectiveness Directorate Biodynamics and Protection Division, Flight Motion Effects Branch, 2001.
7. M.A. Paul et J.C. Miller, *Fatigue Assessment in Camp Mirage CC130 Aircrew: recommendations for pharmacologic intervention: TR 2004-021*, Toronto (Canada), Recherche et développement pour la Défense Canada, rapport n° TR 2004-021, février 2004.

## Pourquoi en faire tout un plat, docteur?

par le Lieutenant-colonel Bruce Bain, Centre de médecine environnementale des Forces canadiennes, Toronto

« Pas encore ce \*&^% examen médical de navigant! Fichus médecins de l'air, ne peuvent-ils pas nous laisser tranquilles? De toute façon, tout ce qui les intéresse, c'est de nous couper les ailes et de nous clouer au sol. Pourquoi ne puis-je pas consulter simplement un médecin civil à la clinique de mon quartier? Il me signerait mon certificat en deux temps, trois mouvements. Après tout, regardez-moi : je suis pétant de santé! »

Air connu? Si vous êtes un navigant, vous avez déjà sans doute vécu cette angoisse intérieure plus d'une fois au cours de votre carrière. Et tout a commencé dès les tout débuts, au cours de votre sélection. Nous ne vous laisserons jamais tranquille. Mais pourquoi? L'examen médical de navigant existe-t-il uniquement pour vérifier jusqu'à quel point nous pouvons faire monter votre tension artérielle? Peut-être existe-t-il une raison légèrement moins sadique à toutes ces palpations, analyses sanguines et épreuves que nous vous imposons et que vous jugez beaucoup trop fréquentes. La réponse est bien simple : tout tourne autour de la sécurité des vols.

Ah, voilà! la DSV est derrière tout ça! Pas si vite. Les membres de la DSV sont aussi des navigants! La plupart sont même des pilotes, et ils n'aiment vraiment pas les médecins de l'air! Mais non, ce n'est pas un complot de la DSV, malgré le fait qu'elle aurait un intérêt direct dans le résultat général. Voyons un peu pourquoi nous devons passer par tous ces examens et tests médicaux, surtout au moment de la sélection du personnel navigant.

Aux fins du présent article, je vais surtout traiter de la sélection médicale des pilotes, mais les principes valent pour tous les navigants. Comme n'importe quel pilote vous le dira, simplement « être considéré » comme pilote potentiel des FC n'est pas facile. Après que vous êtes passé par le Centre de recrutement pour remplir tous les formulaires habituels assurant que vous n'êtes pas un mégalomane psychopathe consommant de la drogue qui désire à tout prix finir dans un siège de CF18 pour aller tirer des missiles sur quelqu'un qui vous a tapé sur les nerfs à l'école secondaire, et après un examen médical qui confirme que vous êtes normalement constitué, on vous envoie au Centre de sélection du personnel navigant, à Trenton où, après un certain nombre d'épreuves écrites, on vous attache à l'intérieur d'un simulateur de vol où l'on s'attend à ce que vous exécutiez un circuit en commettant le moins d'erreurs possible, si ce n'est aucune, pendant que vous parlez à la radio, vous grattez le ciboulot et mâchez de la gomme! Si vous réussissez à passer à travers de tout cela, on vous envoie chez nous, au Centre de médecine environnementale des Forces canadiennes, à RDDC Toronto (anciennement l'IMCME pour les plus vieux) pour que les médecins et les techniciens de notre service de consultation puissent vous prendre en main. Ici, vos antécédents seront examinés, vous subirez un autre examen médical ainsi que toute une batterie de tests, soit analyses sanguines, échocardiogrammes, explorations fonctionnelles respiratoires, examens de la vue et autres tracasseries médicales. Ces tests



visent à déterminer dans toute la mesure du possible si vous souffrez de troubles médicaux qui pourraient se traduire par une brusque incapacité ou un état susceptibles de vous prédisposer à des problèmes à long terme incompatibles avec les opérations de vol ultérieures. Il s'agit en fait d'évaluer s'il vaut la peine de vous entraîner.

Les justifications d'une évaluation de cette nature remontent loin dans le passé lorsque l'aviation était la nouvelle saveur du mois, mais elle a surtout servi d'outil dans la conduite des guerres modernes, soit à partir de la Première Guerre mondiale. Au début de la guerre, le tout nouveau Royal Flying Corps (RFC) n'avait aucune norme médicale pour qui que ce soit, pilotes et observateurs (les derniers devant devenir des navigateurs, maintenant des opérateurs de systèmes de combat aérien (OSCA) au sein de notre Force aérienne). Essentiellement, si vous pouviez vous rendre à pied à votre avion, y monter et le mettre en marche, vous aviez tout ce qu'il fallait pour décoller. Il y avait un processus de sélection, mais il se résumait plutôt à une évaluation opérationnelle et culturelle. Par exemple, un pilote devait être un officier et il devait provenir de la bonne classe sociale (bien sûr, c'était aussi le prérequis pour devenir officier). Il devait faire preuve d'un « tempérament combatif », et l'on croyait que le fait de pouvoir tirer d'une arme à





feu était une bonne chose, car les armes n'ont pas tardé à faire leur apparition à bord des avions. Le fait de pouvoir monter à cheval était également pris en compte (selon la rumeur, lors de son entrevue suivant sa demande de se joindre au RFC, on aurait demandé à nul autre que Billy Bishop, l'as de la chasse canadien et de l'Empire britannique, s'il savait monter à cheval)! Néanmoins, après un an de guerre environ, les pertes de pilotes étant extrêmement élevées, le RFC a commencé à tenir des statistiques pour déterminer les causes de ces pertes terribles. De l'examen de la liste des victimes, il a découvert que pour la perte de chaque tranche de 100 aviateurs, deux tombaient sous le feu de l'ennemi, 8 périssaient à cause de défauts des avions, et 90 décès étaient attribuables à des lacunes individuelles comme la négligence, l'insouciance et des **malformations**. Une évaluation plus poussée indiquait qu'au moins 60 % des 90 décès étaient attribuables à des malformations! Du fait de ces statistiques désastreuses et alors que l'on commençait à mieux connaître des affections comme le rhume, l'hypoxie et même les forces d'accélération, le RFC a créé un service médical spécial pour traiter des problèmes des aviateurs. Des paramètres médicaux d'aptitude au vol ont été établis, comme une vision 20/20, une bonne ouïe, un test d'équilibre et d'autres paramètres. Si bon nombre de ces tests étaient rudimentaires et, il faut le reconnaître, pas toujours appuyés scientifiquement (cela n'existait pas encore), dans l'ensemble, on verrait à l'usage. L'année suivante, le RFC a noté une réduction de 60 à 20 % des décès causés par des malformations! L'année suivante, cette valeur est passée à 12 %, résultat impressionnant sur une période relativement courte. Comparez ces statistiques

à la réduction des pertes d'avions attribuables aux progrès techniques, et je soupçonne que celle-ci s'étalerait sur une bien plus longue période pour une amélioration identique.

Les évaluations et réévaluations médicales — **l'aptitude au vol** — sont devenues une des principales raisons d'être des médecins aéronautiques (ou médecins de l'air comme on les a appelés aux États-Unis, et par la suite au Canada). Dans les FC, notre « bible » est le chapitre 7 du nouveau document A-GA-005-000/AG-001, **Programme de navigabilité du MDN et des FC**, intitulé « Normes médicales pour le personnel navigant des FC » (aussi accessible sur le site Web du médecin de l'air de la 1 DAC). Ce document décrit les troubles médicaux jugés incompatibles avec l'occupation d'un poste de personnel navigant des FC. Il est constitué de riches antécédents en recherche internationale et en opinions spécialisées dans le domaine de la médecine aéronautique, développées et apprises sur de nombreuses années. Il s'agit aussi d'un document évolutif qui peut être modifié, et qui l'a été, à la lumière de nouveaux faits médicaux et opérationnels. Par exemple, après qu'on eut insisté pendant 80 ou 90 ans sur la nécessité pour les aspirants-pilotes d'avoir une vision 20/20 (V1), nous avons été en mesure de déterminer, grâce à une étude, que V2 serait acceptable pour ces aspirants. Grâce à un examen des faits disponibles et tirant profit des expériences de nos collègues aux États-Unis et partout dans le monde, nous avons été d'avis que nous pouvions recommander au chef d'état-major de la Force aérienne (CEMFA) d'autoriser en toute sécurité la chirurgie laser des yeux pour le personnel navigant des FC, y compris les aspirants-pilotes. Il y a beaucoup d'autres exemples, mais je crois que vous comprenez ce que je veux dire.

L'examen médical du personnel navigant est un maillon important de la chaîne de la sécurité des vols. Nous parlons d'aptitude au vol, mais nous voulons vraiment dire aptitude à voler en toute sécurité, ce qui inclut la détermination de l'aptitude à exécuter une mission. Au moment de l'examen médical initial du personnel navigant, nous tentons de nous assurer que vous pouvez résister aux rigueurs des milieux aéronautique et militaire au nom du CEMFA et que vous pouvez voler en toute sécurité. De façon permanente, c'est ce que vise à confirmer l'examen médical périodique du personnel navigant. Tout comme les techniciens de maintenance retirent votre aéronef du service pour des vérifications et un entretien périodiques, nous vous soumettons à un même genre de révision. Vous vous attendez à ce que votre aéronef soit « apte au vol ». Vous ne devriez pas en attendre moins de vous-même. Après tout, vous êtes le maillon le plus important (et le plus dispendieux) de la chaîne de la sécurité des vols!

## Les facteurs humains liés aux engins télépilotés

par le Capitaine Mark Rutley, M.Sc., Centre de médecine environnementale des Forces canadiennes, Toronto

Au fur et à mesure que la technologie change la façon de faire la guerre, les Forces canadiennes se procurent davantage d'engins télépilotés (UAV) de plus en plus modernes et perfectionnés. Bien qu'ils soient le sujet de l'heure, les engins télépilotés ne datent pas d'aujourd'hui. Wheatley (2004) donne un aperçu de l'histoire de l'engin télépiloté depuis la Seconde Guerre mondiale. Il mentionne que les premiers engins télépilotés, des drones cibles modifiés, ont servi à des fins de reconnaissance. Ces premiers véhicules, gros et encombrants, étaient difficiles à piloter, et ils nécessitaient souvent autant, sinon plus, de personnel au sol qu'un aéronef piloté. Grâce aux perfectionnements de l'informatique, les capacités et l'intelligence des engins télépilotés se sont rapidement améliorées. Depuis le début de la lutte contre le terrorisme, les pays se sont rendu compte l'un après l'autre du potentiel des engins télépilotés et des véhicules terrestres sans pilote (VTSP), qui peuvent remplir des fonctions de reconnaissance classiques et des rôles plus directs, comme dans le cas des engins télépilotés de combat *Predator* que l'on utilise pour larguer des munitions antiblindés ou antipersonnel. Au fur et à mesure que la recherche et le développement en matière d'engins télépilotés s'intensifient, nous sommes témoins de l'explosion des modèles, des tailles, des profils de mission et des mécanismes de vol nouveaux, lesquels ont engendré toute une série de nouveaux problèmes liés aux facteurs humains qu'il faut régler. Le présent article tentera de cerner quelques-uns des défis qui sont liés aux facteurs humains et qui ont été engendrés par les engins télépilotés, et de donner des suggestions pour y faire face autant que possible.

Tous les engins télépilotés, quelle que soit leur taille ou leur rayon d'action, ont ultimement la même fonction : offrir aux soldats une meilleure connaissance de la situation sur le champ de bataille. Tous ces appareils fonctionnent à l'aide d'un poste de contrôle au sol, quel qu'il soit, lequel est muni d'une interface utilisateur. À différentes reprises, Endsley (1988, 1998 et Endsley, Bolté et Jones, 2003) a exposé trois niveaux de

connaissance de la situation (CS) relativement aux interfaces utilisateur. Endsley a désigné la perception comme le premier niveau de la CS (Endsley, 1988, 1998 et Endsley, Bolté et Jones, 2003), où l'interface doit permettre à l'utilisateur de percevoir les rapports entre l'appareil et l'environnement, et ainsi éviter d'écraser l'utilisateur sous une foule de renseignements inutiles. Le deuxième niveau de la CS est la compréhension (Endsley, 1988, 1998 et Endsley, Bolté et Jones, 2003), pour laquelle l'utilisateur doit regrouper toutes les données perceptuelles issues du premier niveau de la CS et comprendre de quelle façon ces données influent sur l'objectif dans son ensemble. La projection représente le troisième niveau de la CS (Endsley, 1988, 1998 et Endsley, Bolté et Jones, 2003), où l'utilisateur doit être suffisamment conscient de la situation pour prévoir ce qui se passera dans un avenir rapproché.

Le maintien de la CS est essentiel, autant la CS visant l'état de l'appareil piloté que celle du milieu où se trouve l'opérateur, en vue d'obtenir un rendement efficace lors de l'utilisation de robots de télé-détection (CNRC, 2005). Toute interface homme-machine conçue pour une plate-forme de télé-détection doit par conséquent satisfaire à ces trois exigences fondamentales de la CS, et chaque catégorie d'engins télépilotés possédera un sous-ensemble de ces exigences ergonomiques pour s'y conformer.

Dans le cas des engins télépilotés, la plupart des problèmes ergonomiques découlent du fait que l'opérateur et le véhicule ne se trouvent pas au même endroit. L'opérateur est ainsi privé de toute une série de données sensorielles dont bénéficient habituellement les pilotes d'aéronefs classiques. Ces données permettent aux pilotes d'avoir une bonne vue d'ensemble du milieu où ils se trouvent, et de remplir les conditions des trois niveaux de la CS définis par Endsley et coll. Dans un engin télépiloté, la caméra offre un champ d'observation limité. Par conséquent, l'utilisateur est privé de

renseignements visuels concernant le milieu (comme le défilement du relief) (McCarley et Wickens, 2005). Il est également dépourvu de toute sensation kinesthésique, vestibulaire (par exemple le pilotage aux fesses ou la sensation des forces g) et auditive (par exemple, le bruit du moteur et du vent) (McCarley et coll., 2005). D'autres problèmes sont générés par le décalage entre la sollicitation des commandes de l'opérateur, la réponse du véhicule et la confirmation à l'écran que le véhicule a bien répondu à la commande. En outre, les limites de la bande passante servant à la communication des données réduiront les capacités de l'opérateur sur le plan de la résolution temporelle, de la résolution spatiale et de la distinction des couleurs. L'opérateur devra donc faire un effort mental supplémentaire pour discerner ce qu'il voit à l'écran et se représenter la situation mentalement (McCarley et coll., 2005). En outre, il n'est pas surprenant de constater que les limites de la bande passante ne permettent pas de communiquer à l'opérateur des images en temps opportun, ce qui nuit à sa capacité de poursuivre efficacement une cible (Van Erp et Breda, 1999). Ces problèmes généraux propres aux engins télépilotés font qu'il est très difficile pour l'opérateur de « piloter » directement un engin télépiloté, selon le sens conventionnel du terme.

L'utilisation de techniques multimodales permet de surmonter les lacunes sensorielles associées à l'environnement. Le terme multimodal signifie qu'on se fie à un seul mode sensoriel à la fois (tout comme le klaxon de l'avertisseur de décrochage, le clignotement d'un voyant et le vibreur de manche dans



Photo: Sgt Camille Morissette



Photo : Gök Robert Bourhill

l'aéronef classique.) Calhoun et coll. (2002) ont déterminé qu'il était possible de faire passer des données par le mode visuel pour améliorer l'efficacité lors du suivi d'un vol. Pour ce faire, de nombreux concepteurs misent sur des systèmes de commande tactiles ou haptiques, qui vibrent pour attirer l'attention du pilote dans une situation donnée (Ruff et coll., 2000). Le fait de ressentir l'état de la machine n'est pas le seul avantage associé aux techniques multimodales. Certaines études (Draper et coll. [2003] et Gunn et coll. [2002]) ont porté sur l'utilisation de la reconnaissance de la parole comme commandes multimodales d'engins télépilotes, et on a conclu qu'il serait peut-être également utile de « parler » à la machine.

Une autre méthode d'avenir pouvant favoriser une meilleure CS serait la visionique tout temps, qui permettrait d'accroître les signaux d'entrée en fournissant d'autres renseignements. De tels systèmes peuvent améliorer la précision de l'identification des cibles, réduire les problèmes liés à la poursuite de cibles et, subséquemment, réduire la charge de travail mental de l'opérateur (Van Erp et coll., 1999). Ainsi, l'opérateur tire avantage de plus de ressources mentales pour diriger l'engin télépilote, ce qui améliore l'efficacité et la sécurité des vols.

Par ailleurs, chacune des étapes de vol d'un engin télépilote génère ses propres problèmes. Par exemple, dans un document analysant la question des facteurs humains associés aux accidents d'engin télépilote aux États-Unis, Williams (2004) indique que près de la moitié<sup>1</sup> des accidents d'engin télépilote sont attribuables aux facteurs humains. Bon nombre des accidents causés par l'opérateur se sont produits à l'atterrissage, alors que l'opérateur devait assurer visuellement la commande de

l'engin télépilote, comme le font les amateurs pour poser des modèles réduits télécommandés (c'est-à-dire sur le terrain, en observant l'aéronef). D'autres accidents étaient attribuables aux procédures (par exemple un mauvais transfert entre les contrôleurs), et le reste des accidents était dû à la mauvaise conception des interfaces (Williams, 2004).

M. Williams a conclu qu'un

changement de paradigmes s'imposait, ce qui signifie que les concepteurs devaient considérer les opérateurs non pas comme des pilotes, mais plutôt comme des « commandants ». L'opérateur communique à la machine ce qu'elle doit faire, puis il fait un suivi pour s'assurer que l'ordre donné est bien exécuté. En bref, les engins télépilotes devraient être des véhicules autonomes, pouvant « penser », au lieu d'être de simples récepteurs auxquels on doit confirmer où aller et quoi faire. L'automatisation de certains ou de tous les systèmes des véhicules pourrait ainsi s'avérer une des méthodes les plus efficaces pour réduire la charge de travail des pilotes et accroître la sécurité des vols d'engins télépilotes.

Actuellement, les engins télépilotes de grande envergure sont équipés de systèmes automatisés considérablement différents; le pilote peut, entre autres, commander entièrement l'engin télépilote, déterminer les paramètres de vol souhaités (comme le cap et la vitesse) ou préciser les points de cheminement sur une carte et laisser à l'engin télépilote le soin de décider de quelle façon il parviendra à destination (McCarley et coll., 2005).

En outre, le niveau d'automatisation des systèmes des engins télépilotes actuels peut varier selon les régimes de vol. Certains engins télépilotes peuvent suivre une trajectoire en toute autonomie pour accomplir une tâche, mais des opérateurs doivent piloter les engins à l'atterrissage et au décollage. Par ailleurs, différents types d'automatisation peuvent avoir une incidence positive ou négative sur le rendement d'un opérateur exécutant une tâche. Par exemple, Dixon et Wickens (2003) ont constaté que la poursuite d'une

cible était améliorée si l'engin télépilote suivait une trajectoire au moyen d'un pilote automatique précis. Par contre, l'opérateur n'a pas pu continuer à piloter l'engin efficacement lorsque l'interface a signalé la défaillance des systèmes de l'engin télépilote au moyen d'avertissements sonores (Dixon et coll., 2003). Sheridan (1992) a proposé 10 niveaux de contrôle et d'automatisation, passant d'un contrôle absolu assuré par l'opérateur au contrôle absolu assuré par la machine. Voici les niveaux en question (selon une adaptation de Sherry et Ritter, 2002) :

1. L'ordinateur n'offre aucune aide. L'homme doit tout faire.
2. L'ordinateur présente une série complète de solutions de rechange.
3. L'ordinateur réduit les choix pour offrir quelques solutions seulement.
4. L'ordinateur suggère une seule action.
5. L'ordinateur exécute l'action suggérée, si elle est approuvée par l'opérateur.
6. L'ordinateur accorde à l'opérateur un court délai pour bloquer l'action suggérée, puis il exécute automatiquement l'action.
7. L'ordinateur exécute automatiquement l'action suggérée, puis il informe forcément l'opérateur.
8. L'ordinateur informe l'opérateur après avoir exécuté l'action seulement si on le lui demande.
9. L'ordinateur informe l'opérateur après avoir exécuté l'action seulement s'il en décide ainsi.
10. L'ordinateur décide de tout et agit de façon autonome, sans se préoccuper de l'opérateur.

Différents modes d'automatisation auront également une incidence sur le rendement de l'opérateur. Ruff et coll. (2002) ont conclu que les opérateurs tirent divers avantages d'une automatisation consentie (l'engin télépilote suggère une action, mais il ne fera rien avant d'avoir obtenu l'approbation de l'opérateur) et d'une automatisation par exception (l'engin télépilote exécute une action qu'il aura lui-même déterminée, sauf si l'opérateur lui

donne une instruction contraire). Par ailleurs, Inagaki (1999) révèle que certaines situations commandent un fonctionnement entièrement autonome de la machine, et cette dernière ne doit pas tenir compte des commandes envoyées (ou plus particulièrement de l'absence de commandes) par l'opérateur. Il mentionne les situations où la sécurité est menacée et/ou il y a une sérieuse contrainte de temps, comme lorsque l'appareil doit éviter un abordage ou une collision avec le relief. Dans de telles situations, il pourrait être catastrophique d'inclure l'opérateur dans le processus décisionnel.

Parasuraman (1997) traite des quatre types de problème que l'automatisation peut entraîner. D'abord, la **perte d'expertise** qui se produit lorsque la machine remplace l'homme dans l'exécution d'une fonction ou d'une tâche. Comme l'opérateur ne maintient plus les compétences nécessaires pour exécuter une fonction ou une tâche, son rendement sera moins efficace s'il doit de nouveau effectuer cette tâche (en cas de défaillance de la machine). Le deuxième type de problème est la **complaisance**. Dans ce cas, l'opérateur témoigne une grande confiance à la machine qui, au fil du temps, a offert un bon rendement de façon répétée. L'opérateur ne doute plus de la fiabilité de l'automatisation, et il ne relève plus les erreurs que la machine pourrait faire. Puis, il y a le **manque de confiance**, alors que l'opérateur ne fait plus confiance au système, car ce dernier n'est pas fiable, et que le système est sous-utilisé. En dernier lieu, Parasuraman mentionne la **perte de la capacité d'adaptation** : lorsque les fonctions et les actions automatiques de la machine nuisent à la capacité d'adaptation normale de l'opérateur.

Sherry et Ritter (2002) indiquent que l'arrivée de l'automatisation dans l'environnement complexe des vols d'engins télépilotes ne réduit pas forcément la charge de travail des opérateurs. L'automatisation réorganise plutôt la charge de travail de l'opérateur et de la machine, change la nature du travail exécuté par l'opérateur, peut créer de nouvelles charges de travail et engendre de nouvelles exigences pour l'opérateur sur le plan de la communication et de la coordination (Sherry et coll. 2002). Il semblerait que l'automatisation ne soit pas la panacée qui règlera immédiatement tous les problèmes liés aux engins télépilotes.

Par conséquent, d'autres recherches devront être menées pour permettre de déterminer quel niveau d'automatisation et quel style de gestion d'automatisation conviennent le mieux en fonction des étapes de vol des engins télépilotes, ainsi qu'un moyen de vérifier si l'engin télépilote est affligé d'une défaillance des systèmes ou non.

Il existe également d'autres problèmes associés à l'automatisation, et ils ne relèvent pas de l'ergonomie. Dans le cadre d'un atelier dirigé par le CNRC où l'on a étudié les interfaces des robots militaires aériens et terrestres, les membres du comité responsable de l'atelier ont déclaré que des systèmes entièrement autonomes, comme les robots civils, sont prévisibles et, par conséquent, qu'il n'est pas pratique de les utiliser contre des adversaires pouvant réfléchir (CNRC, 2005). Par conséquent, une certaine forme de contrôle humain est nécessaire dans la boucle pour maintenir la souplesse, la capacité d'adaptation et l'imprévisibilité lorsqu'un robot évolue dans une zone de combat (CNRC, 2005). En outre, seules des fonctions suffisamment fiables devraient être automatisées, et l'on devrait éviter d'automatiser celles dont le taux de fiabilité est inférieur à 70 ou à 80 %, car elles nuiraient au système (CNRC, 2005).

Le même atelier a permis de cerner d'autres problèmes associés à l'interface, notamment le fait que, dans la conception de toute interface, il faut tenir compte de questions liées à l'attention de l'opérateur, comme l'opérateur qui est distrait durant les moments critiques d'une tâche ou en raison d'une « focalisation »

cognitive (CNRC, 2005). La focalisation cognitive se produit lorsque l'attention de l'opérateur est portée sur une tâche au détriment des autres activités. Par conséquent, tout engin télépilote et poste de contrôle au sol connexe doivent être suffisamment tolérants pour que, si des entrées essentielles ne sont pas faites au bon moment, aucune défaillance catastrophique de l'engin télépilote ou de l'interface ne se produira. Par ailleurs, lorsque l'opérateur portera de nouveau attention au contrôle, il doit être en mesure de reconnaître immédiatement l'état de fonctionnement de l'appareil qu'il commande, sinon des erreurs de mode se produiront. Les participants de l'atelier ont recommandé que l'interface soit conçue le plus simplement possible pour éviter de communiquer trop de renseignements à l'opérateur (CNRC, 2005). Il est toutefois intéressant de remarquer que les participants de l'atelier ont conclu que la normalisation d'interfaces visant plusieurs plates-formes de télé-détection (c'est-à-dire un seul poste de contrôle au sol commandant de nombreuses classes d'engin télépilote et des détecteurs au sol mobiles) peut semer la confusion parmi les opérateurs et engendrer des erreurs de mode, ce qui peut être attribué au fait que les opérateurs n'établissent pas un modèle mental distinct pour chaque plate-forme ainsi contrôlée (CNRC, 2005). Finalement, les participants de l'atelier ont constaté qu'un opérateur devra obtenir des données à diverses étapes d'exécution de la tâche, mais qu'il lui faudra tout de même recourir à une méthode pour maintenir une CS globale (CNRC, 2005).



Il est également intéressant de signaler qu'un des participants de l'atelier du CNRC a soulevé la question de la furtivité, qui n'est pas seulement une préoccupation pour la réalisation d'une mission, mais également pour des raisons morales. On a déterminé que lors du déploiement d'un VTSP, les premiers habitants du pays à rencontrer la plate-forme de télédétection étaient les enfants d'un village, et qu'ils étaient tout naturellement attirés par ce nouvel engin si inhabituel (CNRC, 2005). Dans le cas d'engins télépilotés, on risque moins que les résidents locaux les découvrent par inadvertance. Néanmoins, il incombe aux concepteurs de s'assurer que la machine ou l'opérateur commandant la machine puisse faire assurément une distinction entre une cible véritable et une cible apparente.

Comme dernière question d'ordre moral soulevée pendant l'atelier du CNRC, des participants ont mentionné le fait de prendre comme modèle pour les futurs postes de contrôle au sol les commandes actuellement utilisées dans des jeux vidéo (CNRC, 2005). Ce modèle établit un lien direct et étroit entre le soldat, qui est habituellement jeune et habitué à des tels dispositifs, et la machine comme telle. Le soldat saura intuitivement comment braquer une manette ainsi que sa relation avec les angles de la caméra ou le mouvement du véhicule, car il y a de fortes chances qu'il ait été exposé à un tel système dans des jeux vidéo. Toutefois, les membres du CNRC ont une fois de plus soulevé la question de la morale, car ils estiment que l'adoption d'une interface semblable à un jeu vidéo éloignera mentalement le soldat de la réalité dans laquelle il est engagé, soit l'application directe du métier des armes (CNRC, 2005). En conséquence, les soldats peuvent faire preuve de moins de discrimination dans la sélection des cibles, ce qui peut mener à un engagement fratricide ou contre des civils.

### **Facteurs humains liés à un opérateur unique commandant de multiples machines**

Au fur et à mesure que la technologie des engins télépilotés progresse, les opérateurs auront peut-être à commander des engins télépilotés volant en groupe. Cette technologie est constituée de multiples télérobots

commandés par un ou de nombreux opérateurs. Ces engins peuvent provenir de divers endroits en vue de former un groupe et collaborer pour atteindre un objectif commun avant de se disperser (Kim, Hubbar et Neculescu, 2003). Par exemple, (selon Johnson, 2003), dans un scénario de guerre future, l'opérateur d'un groupe de drones de combat (UCAV) reçoit l'ordre de mener une mission de suppression de la défense aérienne (SEAD). Les opérateurs fixent des objectifs que les drones de combat doivent atteindre : un UCAV servira de relais de communication et effectuera une orbite en altitude au-dessus de la zone de la cible pour envoyer des renseignements à l'opérateur à distance et en recevoir; deux UCAV pourront traiter les renseignements et convertir en commandes les données sur l'environnement et les entrées humaines à l'intention du reste du groupe; deux UCAV seront utilisés pour repérer l'emplacement des radars ennemis, et deux UCAV seront utilisés pour attaquer et détruire ces emplacements.

Pour mener à bien une telle mission, il faut non seulement une très grande collaboration entre les machines, mais aussi entre les machines et les opérateurs. Cette technologie engendre diverses exigences sur le plan de l'ergonomie, comme le fait de s'assurer qu'il n'y a pas d'abordage entre les machines, que ces dernières collaborent pour mener à bien la mission, que le groupe peut s'adapter à la perte d'un des agents et que l'opérateur est en mesure de comprendre rapidement et facilement, en tout temps, la situation générale du groupe (et de la mission) et de chacune des machines dans le groupe sans se heurter à une surcharge cognitive (CNRC, 2005).

Lorsqu'un seul opérateur doit contrôler de nombreux véhicules dans un champ de bataille, il doit effectuer un traitement mental intense pour que l'unité (humains ou machines) puisse prendre la décision d'effectuer des manœuvres, de communiquer ou de tirer, selon les circonstances (CNRC, 2005). L'être humain est en mesure d'apprendre les règles menant à de telles décisions, mais pas les machines pour le moment. Par conséquent, pour l'instant, un opérateur doit être présent pour prendre des décisions à la place des machines. Dans des périodes de faibles activités, il est possible pour une

seule personne de contrôler plus d'une machine. Par contre, quand la cadence des activités augmente (comme lorsqu'une unité essuie des tirs), il est impossible pour une seule personne de guider les décisions de nombreux robots. Par conséquent, une certaine méthode est nécessaire pour réduire le contrôle de l'être humain dans la boucle (donc construire des robots plus intelligents), ou une méthode dynamique de contrôle doit être utilisée de façon à ce que les opérateurs humains qui n'ont pas trop de travail puissent assurer le contrôle de certaines machines commandées par un autre opérateur qui, lui, a trop de travail (CNRC, 2005). De cette manière, les machines sont transférées sans heurt entre les opérateurs. Bien que cette méthode puisse fonctionner, elle présente de nombreux problèmes. En outre, il est évident que si des opérateurs ont atteint leurs limites cognitives, certaines machines devront évoluer sans intervention humaine, ce qui réduira leur efficacité au combat.

Tous les problèmes susmentionnés à l'égard de l'automatisation dans un scénario comprenant un seul opérateur et une seule machine s'appliquent également à un seul opérateur commandant de nombreuses machines. Néanmoins, il est probable qu'un scénario mettant en jeu un seul opérateur et de nombreuses machines soit élaboré pour une guerre future. Par conséquent, avant de passer à cette étape, il est essentiel de comprendre ce qui est nécessaire pour qu'un opérateur développe un modèle mental fonctionnel de la zone de combat dans le cadre d'un scénario comprenant un seul opérateur et une seule machine. Cette connaissance pourra ensuite être adaptée et appliquée au scénario comprenant un seul opérateur et de nombreuses machines.

### **Conclusion**

1. Il est essentiel de mettre en place une certaine forme d'automatisation des commandes de vol pour les engins télépilotés. Pour ce faire, le véhicule doit connaître sa position spatiale et les obstacles autour de lui, de manière à ce que l'utilisateur n'ait pas à se préoccuper de l'évitement d'obstacles. Toute automatisation doit venir en aide à l'opérateur tout au long des séquences

de la tâche, quelle que soit la charge de travail mentale, et aider à préciser la connaissance de la situation. La nature et le niveau du contrôle automatique nécessaire pour y arriver n'ont toujours pas été déterminés dans les situations comprenant un seul opérateur et une seule machine, tout comme dans celles comprenant un seul opérateur et de nombreuses machines. Par conséquent, davantage de recherches seront nécessaires pour déterminer les meilleures façons de répartir dynamiquement les tâches entre l'opérateur et les machines ainsi que les conditions qui entraîneront la modification d'une telle répartition.

2. Une interface multimodale atténuera le risque qu'un seul mode sensoriel soit surchargé.
3. Toute interface devrait être en mesure de donner une rétroaction immédiate à l'opérateur qui a lancé une commande, malgré le temps de décalage associé à l'envoi de commandes au véhicule et à la réception de la réponse du véhicule.
4. L'opérateur ne devrait pas faire atterrir un engin télépiloté.
5. On ne devrait pas être en mesure de prévoir toute automatisation utilisée dans un cadre militaire, et celle-ci ne devrait pas attirer l'attention sur l'utilisateur. Par exemple, tout vol d'attente ou en orbite devrait être exécuté de façon aléatoire de façon à ne pas révéler où se trouve l'opérateur sur le champ de bataille.
6. L'interface devrait être assez perfectionnée pour prévenir toute défaillance catastrophique du véhicule si l'opérateur n'est pas en mesure d'accorder son attention au véhicule contrôlé pendant plusieurs minutes (quelles que soient les raisons).
7. Le mode de l'interface et du véhicule devrait être clairement connu.
8. Souplesse – l'interface devrait permettre de contrôler tout un éventail de plates-formes de télé-détection actuelles et prévues (CNRC, 2005).

9. Adaptabilité – l'interface devrait assurer un soutien adapté aux différents opérateurs et aux divers niveaux de compétence (CNRC, 2005).

10. Résistance – le robot et le système de contrôle doivent être en mesure d'atteindre l'objectif visé même si les opérations sont menées dans un milieu incertain, dynamique et hostile (CNRC, 2005).

11. Capacité de réaction – le robot et le système de contrôle devraient être en mesure de fournir une perspective centrée sur la mission qui permettra aux opérateurs de réagir dans des délais tactiques (par exemple, reprogrammer à la volée dans le cadre de missions changeantes) (CNRC, 2005).

Jusqu'à ce que l'on comprenne bien ces questions, les militaires du monde entier, y compris les Forces canadiennes, continueront d'enregistrer un taux élevé de perte d'engins télépilotés.

## Bibliographie

G.L. Calhoun, M.H. Draper, H.A. Ruff et J.V. Fontejon, *Utility of a tactile display for cueing faults*, Santa Monica (Californie), Human Factors Society, 2002, p. 2144-2148. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 46<sup>th</sup> Annual Meeting.

S.R. Dixon, C.D. Wickens et D. Chang, *Comparing quantitative model predictions to experimental data in multiple-UAV flight control*, Santa Monica (Californie), Human Factors Society, 2003, p. 104-108. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 47<sup>th</sup> Annual Meeting.

M. Draper, G. Calhoun, H. Ruff, D. Williamson et T. Barry, *Manual versus speech input for unmanned aerial vehicle control station operations*, Santa Monica (Californie), Human Factors Society, 2003, p. 109 – 113. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 47<sup>th</sup> Annual Meeting.

M.R. Endsley, *Design and evaluation for situation awareness enhancement*, Human Factors Society, Santa Monica (Californie), 1988, p. 97-101. Proceedings of the Human Factors Society 32<sup>nd</sup> Annual Meeting.

M.C. Endsley, *Situation awareness, automation and decision support: designing for the future*, CSERAC Gateway 9(1), 1988, p. 11-13.

M.R. Endsley, B. Bolté et D.G. Jones, *Designing for situation awareness: an approach to user-centred design*, Londres, Taylor & Francis, 2003.

D.V. Gunn, W.T. Nelson, R.S. Bolia, J.S. Warm, D.A. Schumsky et K.J. Corcoran, *Target acquisition with UAVs: Vigilance displays and advanced cueing interfaces*, Santa Monica (Californie), Human Factors Society, 2002, p. 1541 – 1545. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 46<sup>th</sup> Annual Meeting.

R.O. Hundley et E.C. Gritton, *Future Technology-Driven Revolutions in Military Organizations*, document n° DB-110-ARPA, RAND Corporation, 1994.

A. Jeannot, *Situation awareness, synthesis of literature research*, Bretigny-sur Orge (France), EUROCONTROL Experimental Centre, 2000.

C.L. Johnson, *Inverting the Control ratio: Human control of large, autonomous teams*, McLean (Virginie), The Mitre Corporation, 2003. Internet : < [://www.tralabs.com/~cmartin/hmas/wkshp\\_2003/papers/Johnson.pdf](http://www.tralabs.com/~cmartin/hmas/wkshp_2003/papers/Johnson.pdf) >

P.W. Jordan, *An Introduction to Usability*, ISBN 0-7484-0762-6, Londres, Taylor and Francis Ltd., 2002.

B. Kim, P. Hubbard et D. Neacsulescu, *Swarming unmanned aerial vehicles: Concept development and experimentation, a state of the art review on flight and mission control*, document technique n° DRDC-OTTAWA-TM-2003-176, Ottawa, Recherche et développement pour la défense Canada, 2003.

Conseil national de recherches du Canada (CNRC) : *Interfaces for Ground and Air Military Robots: Workshop Summary*, Tal Oron-Gilad, rapporteur, Planning Committee for the Workshop on Scalable Interfaces for Air and Ground Military Robots, Committee on Human Factors. Board on Behavioral, Cognitive, and Sensory Sciences, ISBN 0-309- 549191-1, Washington, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. National Academies Press, 2005. Internet : < [www.nap.edu/catalog/11251.html](http://www.nap.edu/catalog/11251.html) >

J.S. McCarley et C.D. Wickens, *Human Factors Concerns in UAV Flight*, rapport technique n° AHFD-05-05/FAA-05-01, Etats-Unis, Institute of Aviation, Aviation Human Factors Division, University of Illinois (Urbana-Champaign), 2005.

R.C. Michealson et S. Reece, *Update on Flapping Wing Micro Air Vehicle Research: Ongoing work to develop a flapping wing, crawling Entomopter*, Bristol, Angleterre, p. 30.1 - 30.12. 13<sup>th</sup> Bristol International RPV/UAV Systems Conference Proceedings, du 30 mars 1998 au 1<sup>er</sup> avril 1998.



R. Parasuraman, *Humans and automation: Use, misuse, disuse, abuse*, Santa Monica (Californie), 1997, p. 230-253. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 39<sup>th</sup> Annual Meeting.

H.A. Ruff, S. Narayanan et M.H. Draper, *Human interaction with levels of automation and decision-aid fidelity in the supervisory control of multiple simulated unmanned aerial vehicles*, Presence, volume 11, 2002, p. 335-351.

T.B. Sheridan, *Telerobotics, automation, and human supervisory control*, Cambridge, MA: MIT Press, 1992.

R.R. Sherry et F.E. Ritter, *Dynamic task allocation: Issue for Implementing Adaptive Intelligent Automation*, rapport technique n° ACS 2002-2. Pennsylvanie, School of Information Sciences and Technology, Pennsylvania State University, 2002. Internet : < <http://acs.isist.psu.edu/misc/reports/sherryR02.pdf> >

J.B.F. Van Erp et L. Van Breda, *Human factors issues and advanced interface design in maritime unmanned aerial vehicles: A project overview*, Soesterberg (Pays-Bas), rapport du TNO n° TM-99-A004, TNO Human Factors Research Institute, 1999.

S. Wheatley, *The Time is Right: Developing a UAV Policy for the Canadian Forces*, Collège militaire royal du Canada, 7<sup>e</sup> Symposia annuel des étudiants diplômés de l'Institut de la Conférence des associations de la défense du 29 au 30 octobre 2004.

K.W. Williams, *A Summary of Unmanned Aircraft Accident/Incident Data: Human Factors Implications*, Oklahoma City (Oklahoma), pour le Civil Aerospace Medical Institute de la FAA, 2004.

## Notes en fin de texte

1. Il est intéressant de souligner que, dans la documentation, on signale que 80 % des accidents d'avion piloté sont attribuables aux facteurs humains. M. Williams ajoute que les engins télépilotés ont plus d'accidents par heure de vol que les avions pilotés, ce qui indique que sur le plan mécanique les engins télépilotés ne sont pas aussi robustes que les avions pilotés, et que ce type d'accident contribue à réduire le poids des facteurs humains dans la balance.

## Culture et facteurs humains

par *Graham Braithwaite, Ph. D., et Matthew Greaves, Ph. D., Safety and Accident Investigation Centre, université de Cranfield, au Royaume-Uni*

Vous savez quelle sensation cela fait de se faire prendre pour un Américain alors que l'on est Canadien. Même si les États-Unis se trouvent juste de l'autre côté de la frontière, il existe tellement de différences entre ce pays et le nôtre. Beaucoup de ces différences sont de nature culturelle, comme nos croyances et nos attitudes communes à propos d'une multitude de sujets allant de la forme que devrait avoir un ballon de football à la façon dont nous percevons les erreurs et y réagissons ou à notre niveau de tolérance face au risque.

La prépondérance accordée depuis peu aux systèmes de gestion de la sécurité a mis de l'avant la notion de culture de la sécurité, mais il ne s'agit là en fait que de l'une des façons dont la culture peut exercer une influence sur la sécurité.

Dans les années 1990, deux scientifiques néerlandais, Geert Hofstede<sup>1</sup> et Fons Trompenaars<sup>2</sup>, ont étudié en détail les différences entre les cultures nationales et l'effet de ces dernières sur les décisions d'affaires et relatives au style de vie. Dans le cadre de leurs travaux, ils ont étudié des sujets allant de la perception de la hiérarchie dans la société (les conséquences de la « distance hiérarchique ») à la façon dont une personne établit ses priorités, soit en fonction de son propre intérêt, soit pour le plus grand bien de l'ensemble de la société (individualisme ou collectivisme). Au-delà des intérêts purement théoriques, il est important de comprendre comment les membres de différentes nationalités agissent entre eux, la façon dont ils considèrent leurs patrons ou leurs subordonnés, leur degré de tolérance face à l'incertitude et le pouvoir qu'ils croient posséder envers leur propre destinée, car tous ces facteurs ont une influence directe au niveau opérationnel.

L'importance grandissante que l'on accorde à la question de la gestion des ressources de l'équipage (CRM) vise notamment à éliminer les barrières culturelles qui entravent la communication. La culture professionnelle, les effets de l'ancienneté et la facilité avec

laquelle les personnes peuvent remettre en question leurs supérieurs ont tous été des facteurs contributifs à des accidents. Le passage du pilotage militaire au pilotage civil peut également dresser des obstacles à la libre communication. Une telle situation a notamment engendré des conséquences tragiques au sein de Korean Airlines. Cette entreprise a été victime de plusieurs accidents mortels qui étaient imputables en partie au fait que des membres d'équipage débutants n'osaient pas remettre en question les décisions de leurs collègues plus expérimentés, lesquels avaient parfois été leurs supérieurs au cours de leur service militaire antérieur.

Dans les années 1990, au moment où la question de la gestion des ressources

de l'équipage est devenue populaire, on a constaté le problème de la compatibilité culturelle des membres d'équipage. Dans ce domaine, un cours spécifiquement conçu pour des pilotes américains pourrait ne pas convenir disons à des pilotes chinois ou japonais. Par exemple, un instructeur a dispensé un cours de CRM à des pilotes à l'emploi d'un transporteur aérien où la distance hiérarchique était très présente, c'est-à-dire où les pilotes débutants n'osaient pas faire valoir leurs opinions. Pendant toute la durée du cours, l'instructeur a été ravi de constater que les commandants de bord expérimentés l'appuyaient avec enthousiasme lorsqu'il affirmait que les membres d'équipage débutants devaient jouir d'une plus grande autorité. De toute évidence, cette formation allait produire de bons résultats.



*Matthew Greaves, Ph. D., agent de recherche, département du transport, université de Cranfield (à gauche). Graham Braithwaite, Ph. D., chef du département du transport aérien, université de Cranfield (à droite).*



Photo: CptKevin Paul

Cependant, dès leur retour en service, les pilotes expérimentés ont repris leur mode de gestion autocratique. Aussi longtemps qu'ils étaient en classe, les commandants de bord expérimentés considéraient que l'instructeur représentait l'autorité supérieure et, qu'à ce titre, ses opinions ne pouvaient pas être contestées. Une fois de retour dans le poste de pilotage, par contre, ils redevenaient aussitôt les seuls maîtres à bord.

Bien entendu, comme pour de nombreux éléments relatifs aux facteurs humains, il n'existe pas de règle simple. Aucune nation ne se targue de posséder une culture nationale « non sécuritaire ». À vrai dire, on peut obtenir d'excellents résultats au moyen de différentes combinaisons de traits culturels. Par exemple, au sein d'une culture où l'on ne remet pas facilement en question l'autorité, on peut atteindre l'équilibre au moyen de procédures d'utilisation normalisées où les contre-vérifications sont de rigueur.

La culture professionnelle varie également beaucoup entre les différents corps professionnels de l'industrie aéronautique. Les pilotes, les contrôleurs de la circulation aérienne, les techniciens d'entretien et les agents de bord ont parfois l'impression de venir de différentes planètes. Les mots qu'ils utilisent, les vêtements qu'ils portent et la nature des tâches qu'ils accomplissent dénotent tous des approches différentes par rapport au travail, comme en témoigne cette

vieille plaisanterie : *Comment peut-on identifier les pilotes dans une réception? Ce sont ceux qui se présentent en disant : « Bonjour, je suis pilote! »*. Une telle blague ne pourrait certainement pas s'appliquer à des contrôleurs de la circulation aérienne ou à des techniciens d'entretien d'aéronefs!

Le terme « culture de la sécurité », qui a été créé en 1986 après l'incendie du réacteur nucléaire de Tchernobyl, est devenu très à la mode, grâce notamment aux travaux sur les systèmes de gestion de la sécurité. James Reason<sup>3</sup> fait remarquer que peu d'expressions sont à la fois si fréquemment utilisées et si difficiles à définir que la *culture de la sécurité*. En termes clairs, la culture de la sécurité a trait aux comportements et aux réactions d'un organisme en matière de sécurité. Dans une culture de la sécurité mature, tous partagent avec enthousiasme les responsabilités en matière de sécurité, plutôt que de se contenter de formuler des vœux pieux et de se conformer aux règlements. Une telle culture ne peut pas s'implanter du jour au lendemain ni s'acheter auprès d'un fournisseur ou d'un consultant. L'American Institute of Chemical Engineers fait remarquer que la culture de la sécurité correspond à la façon dont un organisme se comporte lorsqu'il ne fait l'objet d'aucune surveillance.

Le test ultime d'une culture de la sécurité pour un organisme est sa façon de réagir face à une erreur ou à un manquement. Même s'il

peut paraître juste et équitable de punir les infractions délibérées, il est tout aussi important d'accepter le fait que la plupart des erreurs, et même certaines infractions, surviennent parce que la majorité du personnel tente d'effectuer un travail décent. L'amélioration d'une culture peut prendre cinq ou même dix années, mais sa détérioration peut survenir très rapidement. La réaction d'une entreprise à la suite d'un incident ou d'un accident révélera à ses employés tout ce qu'ils veulent savoir sur sa façon d'aborder la sécurité.

En 2006, un avion de transport B737 a subi un accident à l'atterrissage à l'aéroport de Birmingham (Royaume-Uni). Pendant une approche vers un autre aéroport, le pilote avait par mégarde débrayé le pilote automatique, ce qui avait provoqué un taux de descente élevé. On a demandé une remise des gaz, mais il était trop tard pour éviter le contact avec le sol, et le train principal droit s'est arraché. L'avion s'est dérotté vers Birmingham, où un atterrissage d'urgence a entraîné la perte de la coque, sans toutefois faire de blessé.

Le rapport d'enquête résultant<sup>4</sup> a fait ressortir de nombreux facteurs causaux et contributifs, notamment la transmission inappropriée d'un message de l'entreprise à une étape tardive (à 500 pieds) d'une approche automatique de Cat III et la formation inadéquate du copilote. Ce dernier facteur a entraîné la recommandation que l'autorité de réglementation oblige l'exploitant à revoir ses procédures d'utilisation normalisées. Environ un mois après cet accident, l'exploitant a congédié le pilote en cause et a fait la déclaration suivante citée par le quotidien Mail Reporter<sup>5</sup> : « Même si l'enquête du service d'enquête sur les accidents aériens se poursuit, il a été établi que le pilote automatique a été débrayé par inadvertance. Il s'agit donc d'une erreur humaine. Même si les pilotes sont parvenus à effectuer un remarquable redressement et à faire un atterrissage d'urgence impeccable à l'aéroport de Birmingham, leur manque d'attention momentanée a causé cet accident, et la compagnie applique une politique de tolérance zéro en matière d'accidents. »

Comment croyez-vous que les autres équipages ont interprété cette « politique de tolérance zéro en matière d'accidents »?

La « formation inadéquate du copilote » n'était-elle pas plutôt le symptôme d'un problème systémique plus important? Ne s'agissait-il pas là d'une occasion en or de tirer les leçons d'une situation qui présentait à la fois de bons et de mauvais côtés – « les pilotes sont parvenus à effectuer un remarquable redressement et à faire un atterrissage d'urgence impeccable »? Un événement mal géré peut changer de façon radicale la culture d'un organisme.

L'OACI<sup>6</sup> nous rappelle que « ...comme une culture est formée par son milieu et évolue en réaction aux changements qui s'opèrent dans ce milieu, la culture et le contexte sont vraiment indissociables ». Les déploiements vers des théâtres opérationnels ou les affectations à l'étranger peuvent changer la culture de tout groupe. Le changement peut s'opérer subtilement et lentement – on décrit souvent la culture comme un poisson dans un aquarium, l'eau l'entoure de toutes parts, mais il ne peut pas la voir. Autrement dit, la possibilité de dérive culturelle ou de « passage risqué » est dangereuse et imprévisible.

Prenons par exemple le cas de l'introduction des lunettes de vision nocturne et des visuels de casque dans les opérations hélicoptères au sein d'une force aérienne étrangère. La nécessité d'un tel matériel a été accrue par l'imminence d'un événement sportif important que l'on avait identifié comme une cible potentielle majeure pour des terroristes. Même si le groupe de navigabilité de la force aérienne a soulevé des préoccupations quant à la résistance à l'écrasement du matériel, le besoin opérationnel était tel que l'on a accepté temporairement ce risque perçu. L'événement s'est déroulé sans incident, et les équipages ont adopté avec enthousiasme le nouveau matériel. Peu après, comme il devait y avoir une réunion de chefs de gouvernement, on a de nouveau invoqué l'argument de la nécessité imposée par un cas spécial pour utiliser encore une fois ce matériel sans traiter les questions liées aux possibilités de survie en cas d'écrasement. Peu à peu, on a fini par accepter le nouveau matériel sans procéder aux essais appropriés, et son utilisation est devenue « la façon de faire les choses ». Une telle attitude constituait toutefois une dérive dangereuse que le groupe



Photo: Copi, Marc-André Gauthier

de navigabilité a dû subséquemment corriger, malgré l'impopularité de la décision de retirer ce matériel jusqu'à ce qu'il ait fait l'objet d'une évaluation appropriée. Le simple fait qu'il n'y ait pas eu d'incident signifiait-il que ce matériel était sécuritaire? Le besoin opérationnel peut-il tout justifier? Si c'est le cas, à quel moment quelqu'un doit-il se faire entendre? C'est sans doute là une question de culture.

6 OACI – Organisation de l'aviation civile internationale (2004) Facteurs interculturels en sécurité aérienne. Circulaire 302-AN/175, OACI, Montréal.

## Références

- 1 Hofstede, G. (1997) *Cultures and Organizations: Software of the Mind*. McGraw-Hill, New York.
- 2 Trompenaars, F. (1993) *Riding the Waves of Culture - Understanding Cultural Diversity in Business*. The Economist Books, London.
- 3 Reason, J. (1997) *Corporate Culture and Safety*. Document présenté au National Transportation Safety Board Corporate Culture and Transportation Safety Symposium qui s'est tenu les 24 et 25 avril à Arlington (Virginie).
- 4 Rapport de l'AAIB – Air Accidents Investigation Branch (2008) sur l'accident du Boeing 737-300, portant l'immatriculation OO-TND, à l'aéroport de Nottingham East Midlands, le 15 juin 2006. UK Department for Transport, London.
- 5 Mail Reporter (2006) Crash Land Crew Axed [WWW] [http://www.redorbit.com/news/business/591262/crash\\_land\\_crew\\_axed\\_drama\\_pilot\\_error\\_behind\\_aircraft/index.html](http://www.redorbit.com/news/business/591262/crash_land_crew_axed_drama_pilot_error_behind_aircraft/index.html) (28 mai 2008).

## Aujourd'hui et demain

par le Commandant d'escadre Jon Taylor M.Sc., B.Sc. (avec spécialisation), MCMI RAF, et M<sup>me</sup> Sue Taylor D.Ed., M.A.(Ed.), Ad Cert Ed., B.Ed., Cert Ed.

*Le présent article est paru pour la première fois dans l'édition 2008 du Defence Aviation Safety Centre Journal. Il est reproduit avec la permission du Directorate of Aviation Regulation and Safety du Royaume-Uni.*

### Introduction

Depuis l'avènement du vol propulsé, un grand nombre d'accidents et d'incidents d'aéronef se sont produits, et pendant de nombreuses années, on a tenu pour acquis que ces événements étaient causés par la personne qui se trouvait la plus proche de la défaillance<sup>1</sup>. Par conséquent, l'« erreur de pilotage » était considérée comme la cause principale des accidents et des incidents. En 1947, Fitts et Jones ont démontré comment la conception du poste de pilotage pouvait influencer de façon considérable sur les erreurs commises par les pilotes. Les « facteurs humains » venaient de voir le jour. Jusqu'à la fin des années 1970, les facteurs humains étaient réservés au domaine des concepteurs d'aéronef, mais la NASA a déterminé que 70 % des accidents dans le secteur du transport aérien étaient causés par des défaillances humaines au niveau de la communication, de la prise de décision et du leadership<sup>2</sup>. La formation en gestion des ressources de l'équipage a donc été développée afin de réduire les erreurs de pilotage en améliorant l'utilisation des ressources humaines dans le poste de pilotage<sup>3</sup>.

Il a fallu plusieurs essais avant que la formation en gestion des ressources de l'équipage se développe, car les notions pertinentes étaient regroupées sous l'appellation générale des facteurs humains, laquelle englobe tous les aspects qui influent sur le travail humain<sup>4</sup>. Les facteurs humains ont dépassé le cadre du poste de pilotage et s'appliquent à tous ceux et celles qui travaillent dans le domaine de l'aviation. Les programmes obligatoires de formation sur les facteurs humains de l'aviation civile ont été élaborés dans le but de réduire le pourcentage d'accidents (70 %) prétendument causés par des erreurs humaines. Puisque le taux d'événements attribuables à des facteurs

humains dans le secteur militaire était similaire, un programme de formation en gestion des ressources de l'équipage a été mis en œuvre au sein de l'aviation militaire britannique. Cette initiative n'a pas été un succès, et la formation officielle en gestion des ressources de l'équipage a été abandonnée deux ans plus tard. Depuis 1997, on a tenté à maintes reprises de réintroduire la formation sur les facteurs humains, entre autres en faisant appel à des instructeurs agréés de la Civil Aviation Authority au niveau des unités et en incluant des notions de base sur les facteurs humains dans certains cours de formation initiale.

À l'heure actuelle, une politique sur les facteurs humains chez les militaires devrait avoir comme objectif d'instaurer un programme structuré de formation sur les facteurs humains dans l'ensemble de l'aviation militaire britannique afin de limiter l'exposition aux risques et d'atteindre une capacité opérationnelle sûre et efficace<sup>5</sup>. En octobre 2006, le directeur du DASC de l'époque a commandé une étude sur les facteurs humains dans le domaine militaire afin de jeter les bases d'une politique sur les facteurs humains et d'un programme de formation connexe. L'étude visait principalement à déterminer ce que les personnes chargées des activités aériennes militaires pensaient des facteurs humains, de leur pertinence et de leur application au sein de l'aviation militaire britannique. Le rapport rédigé à la fin de la première phase de l'étude a été publié en août 2007. Le présent article donne un résumé du rapport, explique le processus utilisé au cours de l'étude et traite des principales conclusions de celle-ci.

### Réalisation de l'étude

De nombreuses études empiriques ont été menées dans l'aviation civile sur la sensibilisation aux facteurs humains ainsi que sur les attitudes et le comportement face à ces facteurs. Ces études visaient souvent à justifier le maintien des programmes de formation sur les facteurs humains. Elles ont permis de déterminer que la sensibilisation

aux facteurs humains et les attitudes face à ceux-ci s'amélioraient à la suite d'une formation<sup>6</sup> mais se détérioraient avec le temps, et qu'il était difficile d'observer un effet net sur la sécurité<sup>7</sup>. Dans l'aviation civile, il est primordial de s'assurer que les notions apprises pendant le cours de gestion des ressources de l'équipage soient mises en application dans le poste de pilotage et qu'elles améliorent le rendement opérationnel<sup>8</sup>. Même s'il y a des similitudes entre l'aviation militaire et l'aviation civile et que certains facteurs humains sont valables pour les deux, il y a aussi de grandes différences, plus particulièrement au niveau du contexte opérationnel. On a donc décidé de ne pas reproduire d'études antérieures, mais plutôt d'utiliser une approche exploratoire afin de mieux comprendre les enjeux des facteurs humains au sein de l'avion militaire britannique.

L'étude de cas multiples regroupait six groupes homogènes : équipages d'avions à réaction, équipages d'hélicoptères; équipages de multimoteurs, équipages chargés de l'instruction, personnel technique et personnel du contrôle de la circulation aérienne/du contrôle des chasseurs/des opérations. Dans chaque groupe, on a sélectionné les participants de façon à obtenir la plus vaste gamme possible de niveaux d'expérience et de grades, car tout élément commun qui ressort d'une grande variété revêt une valeur et un intérêt particuliers lorsqu'on tente de cerner les expériences fondamentales et les aspects ou impacts centraux communs d'un programme<sup>9</sup>. Tous les participants ont répondu de façon anonyme à un questionnaire ouvert sur leur perception des facteurs humains. Ce questionnaire leur permettait de fournir librement leur opinion sur une vaste gamme de questions portant sur leur compréhension des facteurs humains et sur la pertinence et l'application de ceux-ci. De plus, une question empirique a permis de coter la pertinence de différents facteurs humains. Le taux de réponse a été exceptionnellement élevé<sup>10</sup>, ce qui fait état de l'importance accordée par les participants aux questions relatives aux facteurs humains.

On a noté des différences mineures entre les groupes, mais trois points importants sont ressortis de chaque groupe, et ces similitudes ont permis d'arriver à une évaluation narrative unique grâce à une méthode de recherche par comparaison de cas qui a été utilisée au cours de l'enquête sur la catastrophe de la navette spatiale Challenger<sup>11</sup>.

### Discussion sur les constatations de l'étude

Les trois principales constatations suivantes ont été dégagées de l'étude :

- D'abord, le terme **facteurs humains** a une portée extrêmement vaste et il n'est pas bien défini. Son sens et son objet doivent être définis plus clairement, non seulement pour mieux comprendre où nous nous situons, mais aussi pour déterminer comment le domaine des facteurs humains pourrait évoluer.
- Ensuite, il semble que les améliorations possibles en matière de sécurité que l'on pourrait obtenir en définissant plus clairement les facteurs humains et leur objet soient intimement liées à la culture de la sécurité en vigueur, qui influe sur l'importance accordée par l'organisme et chacun de ses membres aux initiatives en matière de sécurité. Il est donc nécessaire d'effectuer un examen plus approfondi des éléments d'une culture de la sécurité efficace.
- Enfin, la formation actuelle sur les facteurs humains permet d'acquérir des connaissances souvent jugées intéressantes, mais il semble très difficile d'établir un lien entre les connaissances théoriques sur les facteurs humains et une mise en application pratique qui offre des solutions aux problèmes perçus dans le milieu de travail comme étant liés aux facteurs humains. La formation, telle qu'elle est prévue et donnée actuellement, comporte des contraintes pratiques. Il faut donc trouver une solution plus efficace. Chacune de ces constatations est commentée et appuyée par de brèves données explicatives, compte tenu des commentaires des participants.

### Définir plus clairement les facteurs humains

Les facteurs humains sont souvent étudiés d'un point de vue théorique externe, mais cette façon de faire ne permet pas nécessairement aux spécialistes de bien les comprendre<sup>12</sup>. La présente étude a identifié deux sens larges au terme facteurs humains tel qu'il est utilisé couramment, soit un terme utilisé pour décrire une grande variété de sujets qui se rapportent à la performance humaine ou qui peuvent influencer sur celle-ci, et un terme utilisé pour déterminer la cause des événements. Un troisième sens du terme, soit un moyen de réduire les événements liés à la sécurité, a aussi été donné par certains participants.

### Définir les facteurs humains

Les données empiriques autant que qualitatives déterminent la portée étendue des facteurs humains. On a utilisé une échelle de Likert à cinq éléments pour demander aux participants de classer 28 facteurs individuels possibles en fonction de leur pertinence.

Ces facteurs comprenaient les 12 facteurs humains actuellement utilisés dans la publicité sur la sécurité des vols et que l'on appelle les « douze salopards ». Le classement obtenu est donné au tableau 1.

Le tableau ci-dessus classe les facteurs selon l'ordre d'importance perçue et montre que les facteurs évalués sont jugés très pertinents et même prévisibles. Plus important encore, tous les facteurs, à l'exception des croyances, ont été classés comme ayant une pertinence moyenne ou supérieure, ce qui confirme que la notion de facteurs humains regroupe un large éventail de sujets. Les facteurs énumérés ci-dessus ne sont pas les seuls facteurs possibles, et il est intéressant de noter que les **nouveaux** facteurs comme l'attitude, la famille et le chef d'équipe ont aussi été classés comme très pertinents. Une définition plus claire est donc requise afin de mieux comprendre ce large éventail de sujets.

Les facteurs humains regroupent plusieurs choses comme l'erreur humaine, la vue d'ensemble de la situation, la communication et la prise de décision. La vue d'ensemble de

Classement	5 (Élevée)	4	3 (Moyenne)	2	1 (Faible)
Facteurs	Attitude Sensibilisation* Laisser-aller* Communication* Distractions* Famille Fatigue* Pression* Ressources* Stress* Esprit d'équipe* Chef d'unité	Agression Affirmation de soi* Breffrage/ Débreffrage Connaissances* Motivation Tâches	Aptitudes Peur Style de vie Loyauté Normes* Relations interpersonnelles Grade Réglementation IPO	Croyances	

Tableau 1 : Classement modal de la pertinence des facteurs humains (Les douze salopards sont indiqués par un astérisque).

la situation, la communication, la prise de décision et l'esprit d'équipe sont actuellement décrits comme des compétences en matière de facteurs humains, mais cette appellation est trompeuse, car une compétence, une fois acquise, devrait toujours pouvoir être reproduite, observée et mesurée à la fin de la formation pertinente. Il serait plus précis de dire qu'il s'agit de **résultats**, car pour obtenir le résultat escompté il faut faire appel à un ensemble de facteurs individuels qui risquent d'être uniques dans un contexte donné. L'atteinte de n'importe lequel de ces résultats essentiels à la sécurité des vols dépend donc grandement du contexte.

Trois types distincts de facteurs humains influent sur l'atteinte des résultats. Les **facteurs externes** comprennent les tâches, les ressources, les distractions et le contexte opérationnel. Les facteurs externes sont souvent imposés par l'organisme et par sa structure organisationnelle, et ils ont comme effet de soumettre la personne à une pression qui se manifeste par un stress mental ou une fatigue physique. La pression de même que le stress et la fatigue qu'elle entraîne sont des **facteurs circonstanciels**, car leur niveau et leurs effets peuvent varier considérablement en fonction du contexte. Les **facteurs internes** comprennent les connaissances, l'expérience, les aptitudes,

la capacité cognitive ainsi que d'autres caractéristiques psychologiques propres à chaque personne. Les facteurs internes sont toujours présents, et les facteurs circonstanciels du contexte influent sur ceux-ci. Les facteurs internes peuvent aussi agir sur les facteurs externes et circonstanciels, par exemple par l'examen des tâches ou l'évaluation des risques. Ces trois types de facteurs sont intimement liés. Le tableau 2 montre les facteurs classés par type, ainsi que les résultats.

La relation entre ces groupes est illustrée par des données. Dans de nombreux secteurs de l'aviation militaire, on demande au personnel d'essayer de maintenir le rendement malgré une diminution des ressources et du niveau d'expérience, ce qui fait que le personnel est surmené et que ses limites sont étirées au maximum. La fatigue est un problème grave. De plus, les tâches ne cessent d'augmenter et les nouvelles tâches sont toutes qualifiées d'opérationnelles, mais on fait souvent une utilisation abusive du mot opérationnel pour contourner ou enfreindre les règles conçues pour fournir un filet de sécurité. Il y a aussi beaucoup de pression qui ne provient pas des fonctions principales, beaucoup de distractions qualifiées de déluge constant et inlassable de renseignements futiles. L'obsession du comité de promotion face aux tâches secondaires fait en sorte que le personnel ne peut pas

consacrer suffisamment de temps à améliorer son travail. Dans l'aviation militaire, les facteurs externes produisent souvent des objectifs contradictoires, pour lesquels il n'y a pas suffisamment de temps ni de ressources, et il y a beaucoup de distractions diverses. Ces conditions peuvent provoquer du stress et de la fatigue qui peuvent nuire à l'utilisation des facteurs internes et donner lieu à des résultats incomplets ou erronés qui peuvent menacer la sécurité des vols. Les gens tiennent compte des effets potentiels des facteurs externes, mais il n'y a aucun mécanisme de réglementation en vigueur. Par conséquent, on accorde une attention particulière aux facteurs circonstanciels, dont les principaux sont le stress et la fatigue, au niveau de la personne et de l'unité, compte tenu notamment du rôle opérationnel actuel.

Pendant les opérations, on reconnaît qu'un niveau de risque plus élevé peut être acceptable, mais en agissant de la sorte, on se concentre plus sur les opérations et moins sur les facteurs humains, et cela sous-entend que l'on fait un choix entre les exigences opérationnelles et les exigences liées aux facteurs humains. Les équipages subissent beaucoup de pression pour accomplir leurs tâches, et plus particulièrement de la part des commandants qui ne veulent pas subir d'échec au niveau de l'attribution des tâches. C'est pour cette raison que pendant les opérations de déploiement les facteurs humains semblent être mis de côté. Cette façon de procéder sous-entend que les facteurs externes prédominent et que, par conséquent, le niveau de stress et de fatigue augmente. Aussi, on s'occupe d'abord des tâches et, s'il reste du temps, on tient compte des facteurs humains. Si quelque chose tourne mal, on ramène alors les facteurs humains à l'avant plan, ce qui semble indiquer que la prédominance des facteurs externes n'est pas remise en cause s'il n'y a aucun accident ni incident et que les facteurs humains sont plus centrés sur la personne que sur l'organisme. L'incapacité apparente d'établir des règles relatives aux facteurs externes laisse croire que les commandants ne prennent pas ces facteurs au sérieux. Le personnel des ateliers est conscient des conséquences de la pression, des distractions, de la fatigue, etc., mais les préoccupations du personnel

Facteurs externes	Facteurs circonstanciels	Facteurs internes	Résultats
Distractions*	Pression*	Aptitudes	Communication*
Famille	Stress*	Agression	Coopération de l'équipage
Style de vie	Fatigue*	Affirmation de soi*	Prise de décision
Normes*		Attitude	Leadership
Relations interpersonnelles		Sensibilisation*	Vue d'ensemble de la situation
Grade		Laisser-aller*	Esprit d'équipe*
Réglementation		Peur	
Ressources*		Connaissances*	
IPO		Loyauté	
Tâches		Motivation	
Chef d'équipe			

Tableau 2 : Groupes de facteurs et résultats (Les douze salopards sont indiqués par un astérisque).

ne semblent pas partagées aux niveaux hiérarchiques supérieurs. Il a cependant été noté que pendant les opérations il arrivait souvent que les renseignements futiles soient éliminés et qu'un appui adéquat soit fourni afin qu'il soit possible de se concentrer sur le travail à effectuer. Cette situation semble souhaitable dans tous les contextes de l'aviation militaire.

La politique actuelle sur les facteurs humains<sup>13</sup> se concentre sur l'obtention de résultats au niveau individuel, mais il n'est pas certain que cette approche présente des avantages concrets. Il sera difficile de réaliser des gains à partir d'une approche individuelle tant que les facteurs externes et leurs effets sur les facteurs circonstanciels ne seront pas bien maîtrisés.

## Facteurs humains et erreur humaine

Même si certains participants associent les facteurs humains à la prévention des accidents et des incidents, la plupart d'entre eux croient que les facteurs humains servent à décrire les circonstances d'un incident qui sont **attribuables** à une erreur humaine. Cette opinion n'est pas étonnante, car elle est à la base de la volonté de réduire le pourcentage d'accidents (70 %) prétendument attribuables à des facteurs humains. En aviation, l'analyse rétrospective de la performance humaine constitue le fondement de l'évaluation du rendement d'un système et des enquêtes sur les manquements à la sécurité<sup>14</sup> et sert de point de départ inévitable à toute enquête de sécurité menée à la suite d'un accident ou d'un incident. Aujourd'hui, le terme facteurs humains englobe une gamme beaucoup plus vaste de personnes et d'activités que celles liées à l'exploitation de première ligne d'un système<sup>15</sup>, mais malgré tout la recherche des causes semble cesser dès qu'on trouve la personne ou le groupe qui se trouvait le plus près de l'accident et qui **aurait pu agir autrement** et permettre d'obtenir un autre résultat. Cette personne ou ce groupe est perçu comme étant à la source de la défaillance ou la cause de celle-ci<sup>16</sup>.

L'erreur humaine fournit peu d'explications, alors si on recule, il faut obligatoirement prendre en considération l'échec possible des résultats. Les termes communication efficace, laisser-aller, coopération entre

membres d'équipage, gestion des ressources de l'équipage, prise de décision, vue d'ensemble de la situation et esprit d'équipe ont été adoptés par les professionnels des facteurs humains afin de traiter de certains éléments du comportement humain et de les expliquer<sup>17</sup>, et il sont maintenant utilisés fréquemment pour expliquer la cause. Une enquête plus poussée permet d'étoffer la cause manifeste en précisant qu'il y a eu perte d'attention ou manque de concentration<sup>18</sup>. Cette approche représente l'ancienne conception de l'erreur humaine<sup>19</sup> dans laquelle on tient pour acquis que l'erreur humaine est la cause des accidents, on cherche à trouver des preuves d'erreur ou de comportement inadéquat et on met en évidence les mauvaises décisions, les mauvaises évaluations et le non-respect des IPO. On peut améliorer la sécurité au moyen de procédures, de formation et de discipline. Une des principales caractéristiques de sécurité de cette approche est la politique de compte rendu<sup>20</sup> qui permet de tirer des leçons des incidents qui se sont déjà produits.

## Cette approche présente certaines difficultés.

L'utilisation généralisée d'une gamme de termes (laisser-aller, prise de décision, vue d'ensemble de la situation, etc.) pour expliquer des éléments complexes de la performance humaine est naturellement significative<sup>21</sup>, mais lorsqu'on se penche un peu sur la question, on remarque que ces termes ne fournissent aucun processus sous-jacent. Même s'ils indiquent ce qui s'est produit, ils n'expliquent pas pourquoi cela s'est produit. Ces termes sont généralement dotés de la force causale nécessaire, mais ils ne précisent pas le mécanisme responsable de cette cause<sup>22</sup>, et leur utilisation ne fait que remplacer une étiquette par une autre. Ce problème est entretenu par de nombreux systèmes de compte rendu, dans lesquels on trouve des statistiques qui démontrent, par catégories, comment le manque de vue d'ensemble de la situation, les problèmes de communication et les mauvaises décisions provoquent des erreurs humaines qui entraînent des incidents ou des accidents. Ce raisonnement circulaire ne permet pas d'expliquer pourquoi un accident ou un incident s'est produit, mais fournit des

statistiques qui viennent soutenir la poursuite de la quête contre les 70 % et l'élaboration de programmes de formation conçus pour soigner ce soi-disant malaise.

Ce qui est encore plus pernicieux, c'est le fait que l'on continue de cibler la personne comme étant la cause de l'erreur humaine. Après un événement, on formule des jugements qui attribuent la cause en connaissant déjà les résultats et après avoir pu prendre du recul<sup>23</sup>. Il est facile de faire preuve de sagesse avec le recul, mais il faut se demander si une telle sagesse sert à autre chose qu'à attribuer le blâme<sup>24</sup>. En agissant de cette façon, on réagit après les faits, comme si les renseignements que l'on possédait maintenant étaient disponibles au moment de l'événement. Cette façon de faire simplifie à l'extrême ou banalise la situation à laquelle les spécialistes sont confrontés et masque les processus qui influent sur leur comportement avant l'événement. Le fait de pouvoir prendre du recul et de connaître les résultats nous empêche de voir les défaillances sous-jacentes du système qui, de façon prévisible, façonnent la performance humaine<sup>25</sup>.

On ne peut pas représenter la sécurité des vols uniquement par un ensemble de règles ou de procédures, par de simples propriétés empiriques observables, par des techniques de formation ou de gestion imposées de l'extérieur ou par des cadres cognitifs ou comportementaux décomposables<sup>26</sup>. On assure la sécurité grâce à une interaction dynamique entre le personnel de première ligne, les superviseurs et les commandants et les conditions opérationnelles et organisationnelles en vigueur. Cette interaction se produit dans le cadre de la culture de l'organisme, et plus particulièrement de sa culture de la sécurité.

Un modèle contemporain de la sécurité devrait donc considérer les erreurs comme les symptômes et non les causes des défaillances au niveau de la sécurité, car les facteurs qui provoquent les erreurs sont latents dans le contexte créé principalement par la recherche d'un compromis entre sécurité et production<sup>27</sup>.

L'erreur humaine et, de fait, les facteurs humains devraient être considérés comme constituant le point de départ d'une enquête sur la sécurité, et non la cause. À la base de cette



Photo: Gp Marc - photo Gaudreault

conception se trouve le principe de rationalité locale<sup>28</sup>, qui soutient que les personnes qui travaillent dans un contexte précis agissent de façon rationnelle compte tenu de leurs connaissances, des ressources à leur disposition, de la tâche à accomplir et de leur perception de l'environnement. Contester ce postulat reviendrait à accepter que l'irrationalité est très répandue au sein de l'aviation militaire. Il faut donc arrêter de chercher à quelle erreur humaine attribuer l'incident et plutôt chercher à comprendre comment des connaissances restreintes (manque de connaissances ou préjugés), un état d'esprit limité ou changeant et de nombreux objectifs interdépendants ont pu influencer sur le comportement des personnes à mesure que la situation évoluait<sup>29</sup>.

Cette approche est décrite comme la nouvelle conception de l'erreur humaine<sup>30</sup> dans laquelle les erreurs sont des indicateurs d'objectifs contradictoires et de pression organisationnelle et dans laquelle on considère que les systèmes ne sont pas fondamentalement sûrs et que les personnes au sein de ces systèmes ont un rôle central à jouer pour créer la sécurité. De nombreux participants se sont dits surpris qu'il n'y ait pas plus d'accidents, compte tenu surtout des exigences opérationnelles actuelles. Pendant l'entraînement en temps de paix, le taux d'accidents dans l'aviation militaire est assez faible, et on constate

que de nombreux membres du personnel sont en mesure de s'adapter à des situations opérationnelles difficiles afin d'accomplir leur tâche de la façon la plus sûre possible. La plupart du temps, on réussit à obtenir les résultats requis afin que la sécurité des opérations soit assurée et que les tâches soient exécutées, ce qui sous-entend que l'on appuie fortement le principe que les personnes créent la sécurité.

Cette conception implique deux choses : D'abord, on doit se concentrer à commencer à comprendre comment le personnel opérationnel conçoit et crée la sécurité dans les faits<sup>31</sup>, puis effectuer des recherches plus approfondies afin de mieux comprendre comment assurer la sécurité des vols. On doit mieux comprendre les brillantes réussites afin de déterminer comment on pourrait « embouteiller » leurs mécanismes et les exporter<sup>32</sup>. Enfin, puisqu'il est peu probable que la même combinaison de causes se répète, les efforts déployés pour empêcher que des erreurs actives précises se reproduisent auront peu d'impact sur la sécurité du système dans son ensemble. Au pire, ils permettront uniquement de trouver de meilleures façons de bien fermer la porte de l'écurie une fois que l'étalon aura pris la clé des champs<sup>33</sup>.

Il n'est pas productif de chercher la cause d'un événement lié aux facteurs humains. Il faut plutôt essayer de trouver les raisons sous-jacentes qui expliquent pourquoi les événements se produisent. Atteindre un niveau supérieur de compréhension est difficile et prend du temps, mais cela permet de déceler des types de défaillance systémique qu'il est possible de régler par la suite. Les systèmes de compte rendu devraient utiliser la même approche envers les événements liés aux facteurs humains afin de permettre à l'organisme d'apprendre et d'intervenir de façon adéquate. La volonté d'apprendre constitue une part essentielle de la culture de la sécurité d'un organisme<sup>34</sup>.

### Éléments d'une culture de la sécurité efficace

Actuellement, on exige qu'une culture soit juste<sup>35</sup>, mais pour qu'une culture de la sécurité soit efficace, elle doit comporter trois éléments<sup>36</sup> : une culture de communication de l'information, une culture juste et une culture d'apprentissage<sup>37</sup>. Une culture de la sécurité se doit d'être juste, mais cela ne suffit pas pour assurer son efficacité. La notion de culture de la sécurité est assez récente. Elle a été introduite à la suite de l'accident de Chernobyl (1986). Toute culture de la sécurité doit respecter les deux critères essentiels suivants : les attitudes et les opinions relatives à la sécurité doivent être partagées aux niveaux individuel et organisationnel et il doit y avoir une stabilité dans le temps.

Les différentes perceptions face à la culture de la sécurité en vigueur oscillent entre la culture de blâme absolu, où culture de la sécurité équivaut à culture de blâme et punition du coupable, et la culture sans blâme. Certains croient que l'équilibre se situe plus près de la culture juste, mais la culture de sécurité en vigueur n'est pas encore bien déterminée, car pour certains incidents/accidents, on ne semble pas vouloir attribuer de blâme, tandis que pour d'autres, on semble plus porté à blâmer la personne ou le système sans tenir compte de la situation globale qui influe sur la durée de vie en service, plus particulièrement dans les secteurs très occupés et où il manque de ressources. Les différentes attitudes et opinions à propos

de la culture de la sécurité démontrent que le premier critère essentiel, un point de vue commun et partagé, n'a pas encore été appliqué.

### **Culture de confiance, culture de communication de l'information et culture juste**

La première chose à faire<sup>38</sup> lorsqu'on veut développer une culture de la sécurité c'est d'établir la confiance, car la confiance<sup>39</sup> est une exigence essentielle des trois composantes d'une culture de la sécurité. Une culture juste encourage les membres d'un organisme à fournir des renseignements relatifs à la sécurité, mais elle doit aussi clairement définir quels comportements sont acceptables et inacceptables. Cela n'équivaut pas à une culture sans blâme où une amnistie générale face à tous les actes dangereux serait considérée comme allant à l'encontre de la justice naturelle<sup>40</sup>.

Lorsqu'une culture juste a été mise en place, il est possible d'avoir une culture de communication de l'information. Au sein de l'aviation militaire britannique, une culture de communication de l'information a déjà

été établie et, à première vue, il semble y avoir un certain degré de confiance. Pourtant, même si certains sentent que la culture de la sécurité s'améliore, d'autres croient toujours à la présence d'une culture de blâme, et les niveaux de confiance et de méfiance<sup>41</sup> semblent variables. Par conséquent, des renseignements utiles ou même essentiels ne sont pas divulgués. La culture de communication de l'information existante n'est peut-être pas aussi efficace qu'elle pourrait l'être.

### **Engagement de l'organisme et apprentissage**

Quelques participants ont mentionné que la sécurité des vols et les facteurs humains n'étaient pas abordés avec autant de sérieux dans les hautes sphères de l'aviation militaire qu'au niveau des spécialistes en aviation. Il se peut que les problèmes soient connus, mais qu'il ne soit pas possible d'agir pour des raisons organisationnelles plus élevées. Il se peut aussi que les problèmes ne soient pas signalés au niveau approprié de l'organisme afin d'être examinés. Dans les deux cas, il semble que les communications au sein de l'organisme ne soient pas efficaces et qu'elles ne contribuent pas à améliorer la culture de la sécurité existante.

L'élément le plus important dans une culture de la sécurité est probablement une culture d'apprentissage organisationnelle efficace. Pour être efficace, elle doit répondre à deux critères : elle doit être flexible, afin de pouvoir faire face à un environnement de travail dynamique et exigeant, et elle doit aussi être en mesure et avoir la volonté de tirer les bonnes conclusions de son système de sécurité... et de mettre en œuvre des changements lorsqu'ils sont nécessaires<sup>42</sup>. Il est reconnu que pendant les opérations ou dans d'autres contextes exigeants il est nécessaire, à un certain moment, de s'en tenir aux règles et aux procédures suivies en temps de paix, mais on a plutôt tendance à adopter une attitude téméraire, ce qui signifie que l'on passe outre aux règles pour faire en sorte que la tâche soit accomplie. Cela ne démontre pas une flexibilité organisationnelle.

On a déjà précisé comment on enquêtait sur les événements liés aux facteurs humains, comment on les classait par catégories et comment on pouvait changer ces façons de faire afin de mieux comprendre les raisons pour lesquelles ces événements se produisaient, au niveau de l'organisme et des systèmes. En se concentrant uniquement sur les facteurs humains, on peut éviter d'avoir à répondre à des questions organisationnelles complexes, mais cela empêche l'organisme d'apprendre et de s'améliorer<sup>43</sup>. Il est important de passer outre aux apparences pour accéder aux processus organisationnels, mais cette approche en matière de sécurité suscite toujours de la résistance<sup>44</sup>, car elle rejette le fait que la diminution de la sécurité soit une simple affaire de chiffres, ces mêmes chiffres qui continuent à alimenter la malencontreuse quête contre les 70 %. Sans ce niveau de compréhension, il est peu probable que l'on puisse tirer les bonnes conclusions des événements liés à la sécurité, et l'apprentissage organisationnel devient problématique. Un processus continu de rétroactions, d'apprentissage et d'adaptation devrait être appliqué à tous les niveaux de l'organisation<sup>45</sup>. Il est essentiel qu'une culture d'apprentissage organisationnelle, le troisième élément du trio d'éléments indispensables à une culture de la sécurité efficace, soit mise en place.



## Formation plus efficace

L'avis des participants par rapport à la formation actuelle sur les facteurs humains varie considérablement. Certains trouvent qu'elle est très utile et quelle fait réfléchir, tandis que d'autres trouvent qu'elle est très ennuyeuse et même endormante, surtout quand la majeure partie de la formation est donnée sous forme de présentations PowerPoint. Ces remarques mettent en lumière les différences importantes au niveau de la qualité de la formation. Certains participants ont précisé qu'il était utile de recevoir la formation assez tôt en début de carrière, car cela permettait d'attirer l'attention sur les facteurs humains, mais d'autres ont mentionné que lorsqu'ils sont entrés en poste, ils avaient déjà oublié ce qu'ils avaient appris. Il faut donc prendre en considération à quel moment donner la formation initiale. Parmi les aspects importants mentionnés par les participants, on note que la formation sur les facteurs humains ne constitue qu'une introduction et que le sujet n'est pas approfondi, que la formation ultérieure est très limitée et qu'elle fait beaucoup appel à l'autoformation, et que la formation de suivi ne constitue qu'une obligation de formation parmi d'autres qui empiète sur les heures de travail, ce qui sous-entend une lacune au niveau de la formation de suivi. On a aussi souligné que la formation sur les facteurs humains était axée principalement sur l'équipage navigant, aux dépens des autres membres de l'aviation, ce qui la rendait moins pertinente et intéressante. Qui plus est, on a souligné que la formation portait principalement sur la façon d'identifier les facteurs humains et pas suffisamment sur la façon de les régler, et que la formation sur les facteurs humains n'était pas aussi utile que l'expérience personnelle acquise face à des événements liés aux facteurs humains. Ces dernières remarques sont très importantes, car non seulement elles renforcent l'approche rétrospective en vigueur qui identifie les facteurs humains après les événements, mais elles soulignent aussi comment il est difficile d'établir des liens entre la théorie sur les facteurs humains et la pratique. Le fait que la formation actuelle sur les facteurs humains ne soit pas en mesure de fournir des solutions a été mentionné à maintes reprises, avec plusieurs conséquences.

## Approche actuelle face à la formation

L'utilisation de l'approche systémique en matière de formation interarmes<sup>46</sup> est largement répandue au sein des forces armées. Il s'agit d'un processus systématique qui fait appel à une approche behavioriste dans lequel les résultats obtenus à la suite de la formation sont observables et mesurables. Les objectifs de formation définissent ce que les stagiaires devraient être en mesure de faire, et l'objectif général est de développer des compétences. L'approche behavioriste a recours à des principes de réduction et de renforcement pour façonner l'apprentissage. Elle est abondamment utilisée pour le développement d'aptitudes psychomotrices de base<sup>47</sup>, et elle a aussi été utilisée pour l'apprentissage programmé et la formation automatisée. Il est très difficile d'aborder la formation sur les facteurs humains sous cet angle.

Comme on l'a vu précédemment, les résultats liés aux facteurs humains sont le produit d'une combinaison souvent unique de facteurs externes, circonstanciels et internes qui dépendent beaucoup du contexte. Il n'y a pas de processus clairement défini, et il est difficile de ramener les résultats à des éléments qui apparaissent de façon constante. De nombreux résultats sont le fruit de processus internes automatiques, et pour ne pas gaspiller nos ressources mentales on a généralement tendance à se limiter plutôt qu'à optimiser, à se contenter d'une solution qui convient, même si ce n'est pas la meilleure<sup>48</sup>. À moins que les résultats soient insatisfaisants, ils ne sont généralement pas examinés et ils ne peuvent pas être comparés à une norme préétablie. Par conséquent, la vue d'ensemble de la situation, la prise de décision satisfaisante, la communication efficace et la coopération ne peuvent pas être classées comme des compétences que l'on peut acquérir par formation, et l'approche systémique ne convient pas à la formation sur les facteurs humains.

La formation actuelle sur les facteurs humains est conçue de façon à fournir des connaissances sur les différents facteurs visés, et elle tient pour acquis que la formation permet un apprentissage efficace. La transmission de connaissances n'offre généralement pas de solutions, et depuis

de nombreuses années, dans le domaine de la formation et du développement, on s'intéresse au transfert d'apprentissage<sup>49</sup>. Il est très difficile de transposer la formation actuelle sur les facteurs humains en application pratique, ce qui donne fortement à penser que les liens entre la théorie et la pratique ne se font pas ou ne peuvent pas être faits. C'est ce qu'on constate à tous les niveaux de l'aviation, car malgré une formation initiale et des cours de perfectionnement annuels obligatoires au sein de l'aviation commerciale, on semble très préoccupé par le fait que les notions acquises pendant la formation sur les facteurs humains ne sont pas mises en application dans le poste de pilotage (et dans d'autres secteurs connexes de l'aviation)<sup>50</sup>. La formation telle qu'on la conçoit n'est pas efficace.

## Nouvelle approche face à la formation sur les facteurs humains

On pourrait soutenir qu'il n'est plus utile de donner de la formation individuelle sur les facteurs humains en vertu de la nouvelle conception de l'erreur humaine qui se concentre moins sur l'erreur individuelle. Même si la nouvelle conception met aussi l'accent sur des questions systématiques et organisationnelles, la prévention des erreurs individuelles demeure quand même importante en matière de sécurité des vols. La formation doit être modifiée, mais non abandonnée. Selon l'analyse effectuée, de nombreux participants considèrent que l'expérience acquise lors d'événements liés aux facteurs humains est plus utile que la formation reçue, ce qui semble indiquer que l'apprentissage se fait par l'expérience, et que cela donne lieu à une plus grande expertise professionnelle. Tout ceci met en évidence la différence entre la formation et l'apprentissage : la formation est souvent axée sur la prévision de résultats, tandis que l'apprentissage peut stimuler la motivation et la confiance en soi, et modifier les attitudes et les perceptions sur lesquelles seront basées les actions futures<sup>51</sup>. Les concepts sous-jacents qui permettent d'obtenir des résultats positifs semblent être renforcés par l'expérience, mais ces concepts sont encore inconnus. Il faudra effectuer des recherches plus approfondies afin de mieux comprendre comment on assure la sécurité des vols et de

découvrir ces concepts. On ne peut nier qu'une progression vers une expertise professionnelle dans tous les domaines de l'aviation est plus que souhaitable, mais puisque ce n'est que par l'expérience que cette progression est possible, il faut un certain temps pour l'acquérir. Par conséquent, pour plusieurs postes, après la formation de base, on fait appel au perfectionnement professionnel continu afin de réduire le délai nécessaire à l'atteinte de niveaux de rendement supérieurs.

### Programme en spirale

Les apprenants adultes préfèrent que les activités d'apprentissage mettent l'accent sur des problèmes et soient en rapport avec leur situation quotidienne, et ils veulent que les résultats d'apprentissage puissent **immédiatement être mis en application**<sup>52</sup>. Ce point a été soulevé à maintes occasions au cours de l'étude. Lorsque les concepts sous-jacents nécessaires à l'obtention de résultats positifs seront identifiés, ils pourront être intégrés au perfectionnement professionnel continu afin d'améliorer le rendement en vue d'atteindre le statut d'expert. Le perfectionnement professionnel doit commencer par présenter les concepts sous-jacents et fournir les connaissances nécessaires à l'appui de ces concepts. Les activités d'apprentissage subséquentes doivent être axées sur l'application de ces concepts aux situations réelles et plus particulièrement sur le dénouement de situations nouvelles et inédites. On qualifie ce processus de perfectionnement professionnel de programme en spirale. Ce type de programme était jugé contestable auparavant<sup>53</sup>, mais on suggérait de l'utiliser pour de la formation **axée sur un sujet** et basée sur une approche systémique que l'on avait déjà jugée inappropriée. Pour être efficace, un programme en spirale<sup>54</sup> exige une compréhension initiale des concepts clés essentiels suivie d'une mise en application de ces concepts clés, de plus en plus approfondie en fonction des situations inédites, afin de permettre un apprentissage génératif. Un programme en spirale axé sur les concepts offre donc une solution concrète aux exigences militaires en matière de formation sur les facteurs humains.

### Conclusion

La présente étude a permis de faire ressortir trois points importants relatifs aux facteurs humains au niveau militaire. En matière de facteurs humains, l'attention est surtout dirigée vers la personne, mais chaque personne œuvre au sein d'une organisation plus vaste (aviation militaire) qui peut avoir un impact important sur la performance individuelle. On a mis en évidence le lien étroit qui existe entre les facteurs externes, circonstanciels et internes et qui permet d'obtenir des résultats positifs en matière de facteurs humains et d'assurer la sécurité des vols. Ce lien étroit sous-entend qu'il ne faut pas s'arrêter à la personne comme cause des erreurs humaines, mais qu'il faut mieux comprendre les questions systémiques et organisationnelles pour être en mesure de savoir pourquoi les événements se produisent. La culture de la sécurité semble s'améliorer, mais on n'a pas encore implanté une culture juste, et les systèmes de compte rendus actuels ont besoin d'être optimisés. Pour que la culture de la sécurité soit efficace, elle doit comporter une culture d'apprentissage organisationnelle efficace qui oriente tous les niveaux organisationnels actifs dans le domaine de l'aviation vers un même but : la sécurité des vols. La formation sous sa forme actuelle n'est pas entièrement efficace en raison de la difficulté d'établir des liens entre la théorie et la pratique. La formation ne devrait pas uniquement être fondée sur des défaillances passées. Elle devrait tirer parti des immenses succès déjà remportés qui ont permis d'atteindre un niveau élevé de sécurité aérienne militaire, souvent dans des circonstances difficiles et très exigeantes.

### Référence

AMALBERTI, R. (2001). « The paradoxes of almost safe transportation systems », *Safety Science*, n° 37, p. 109-26.

ANTONACOPOULOU, E.P. (1999). « Training does not imply learning: the individual's perspective », *International Journal of Training and Development*, vol. 3, n° 1, p. 14-33.

ANTONACOPOULOU, E.P. (2001). « The Paradoxical Nature of the Relationship between Training and Learning », *Journal of Management Studies*, vol. 38, n° 3, p. 327-350.

BESNARD, D., D. GREATHEAD et G. BAXTER. (2004). « When mental models go wrong: co-occurrences in dynamic, critical systems », *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 60, n° 1, p. 117-128.

BROOKFIELD, S.D. (1986). *Understanding and Facilitating Adult Learning*, Buckingham, Open University Press.

BURNS, C., K. MEARNES et P. MCGEORGE (2006). « Explicit and Implicit Trust Within Safety Culture », *Risk Analysis*, vol. 26, n° 5, p. 1139-1150.

CHEETHAM, G. et G. CHIVERS (2001). « How professionals learn in practice: an investigation of informal learning amongst people working in professions », *Journal of Industrial Training*, vol. 25, n° 5.

COOPER, G., M. WHITE et J. LAUBER (1980). « Resource management on the flightdeck », *Proceedings of a NASA/Industry Workshop (NASA Conference Proceedings-2120)*, Centre de recherches NASA-Ames, Moffatt Field, Californie.

DEKKER, S.W.A. (2002). *The re-invention of human error*, Rapport technique 2002-01, Lund University School of Aviation, disponible à l'adresse suivante : <http://www.lusa.lu.se/o.o.i.s/6131>, consulté le 10 mai 2007.

DEKKER, S.W.A. (2003a). *Human Factors in Aviation – A natural history*, Rapport technique 2003-02, Lund University School of Aviation, disponible à l'adresse suivante <http://www.lusa.lu.se/o.o.i.s/6131>, consulté le 10 mai 2007.

DEKKER, S.W.A. (2003b). « Illusions of Explanation: A Critical Essay on Error Classification », *The International Journal of Aviation Psychology*, vol. 13, n° 2, p. 95-106.

DEKKER, S.W.A. et E. HOLLNAGEL (2004). « Human factors and folk models », *Cognition, Technology & Work*, n° 6, p. 79-86.

FLIN, R., P. O'CONNOR et K. MEARNES (2002). « Crew resource management: improving teamwork in high reliability industries », *Team Performance Management: An International Journal*, vol. 8, n° 3/4, p. 68-78.

GORDON, R., R. FLIN et K. MEARNES (2005). « Designing and evaluating a human factors investigation tool (HFIT) for accident analysis », *Safety Science*, n° 43, p. 147-171.

GORTON, A.P. (2005). *Report on the Scoping Study of Human Factors Training in the RAF*, Central Flying School Flying Training Development Wing, RAF Cranwell.

GREEN, R.G., H. MUIR, M. JAMES, D. GRADWELL et R.L. GREEN (1996). *Human Factors for Aircrew*, Aldershot, Ashgate Publishing Ltd.

HELMREICH, R.L. et A.C. MERRITT (2000). « Safety and error management: The role of Crew Resource Management' » dans B.J. Hayward et A.R. Lowe (ed.), *Aviation Resource Management*, Aldershot: Ashgate.

HÖPFL, H. (1994). « Safety Culture, Corporate Culture: Organizational Transformation and the Commitment to Safety », *Disaster Prevention and Management*, vol. 3, n° 3, p. 49-58.

LEWICKI, R.J., D.J. MCALLISTER et R.J. BIES (1998). « Trust and distrust: New Relationships and Realities », *Academy of Management Review*, vol. 23, no 3, p. 438-458.

MAURINO, D. E. (1999). « Safety Prejudices, Training Practices, and CRM: A Midpoint Perspective », *The International Journal of Aviation Psychology*, vol. 9, n° 4, p. 413-422.

MAURINO, D. E. (2000). « Human factors and aviation safety: what the industry has, what the industry needs », *Ergonomics*, vol. 43, n° 7, p. 952-959.

PARKER, D., M. LAWRIE et P. HUDSON (2006). « A framework for understanding the development of organisational safety culture », *Safety Science*, n° 44, p. 551-562.

PATTON, M.Q. (1990). *Qualitative Evaluation and Research Methods* (2<sup>e</sup> éd.), London, Sage.

REASON, J. (1990). *Human Error*, Cambridge, Cambridge University Press.

REASON, J. (1997). *Managing the Risks of Organizational Accidents*, Aldershot, Ashgate Publishing.

ROCHLIN, G.I. (1999). « Safe operation as a social construct », *Ergonomics*, vol. 42, n° 11, p. 1549-1560.

SALAS, E., C.S. BURKE, C.A. BOWERS et K.A. WILSON (2001). « Team Training in the Skies: Does Crew Resource Management (CRM) Training Work? », *Human Factors*, n° 43, p. 641-674.

TAYLOR, S. (2006). *An Advanced Professional Development Curriculum for Developing Deep Learning*, thèse de doctorat non publiée, Institute of Education, University of London.

UK Ministry of Defence, Defence Council Instruction, Joint Service 73 (2002) *Joint Services Systems Approach to Training (JS SAT) Quality Standard*.

UK Ministry of Defence, Joint Service Publication 551 (2006) *Military Flight Safety Regulations*, volume 1, section 400.

VAUGHAN, D. (2004). « Theorizing Disaster. Analogy, historical ethnography, and the Challenger accident », *Ethnography*, vol. 5, n° 3, p. 315-347.

WOODS, D.D. et R.I. COOK (1999). « Perspectives on Human Error: Hindsight Biases and Local Rationality », dans F.T. Durso (éd.), *Handbook of Applied Cognition*, New York, John Wiley & Sons, p. 141-171, disponible à l'adresse suivante [http://csel.eng.ohio-state.edu/woods/error/app\\_cog\\_hand\\_chap.pdf](http://csel.eng.ohio-state.edu/woods/error/app_cog_hand_chap.pdf), consulté le 22 février 2007.

WOODS, D.D. et R.I. COOK (2002). « Nine Steps to Move Forward from Error », *Cognition, Technology & Work*, vol. 4, n° 2, p. 137-144.

## Notes

1 Woods et Cook, 1999, p. 142.

2 Cooper, *et al*, 1980.

3 Helmreich, *et al*, 1999, p. 19.

4 Green, *et al*, 1996, p. ix.

5 JSP551, Vol, 1, Sect. 400, p. 1.

6 Helmreich et Merritt, 2000.

7 Salas, *et al*, 2001.

8 Flin, *et al*, 2002, p. 76.

9 Patton, 1990, p. 172.

10 plus de 84 %.

11 Vaughan, 2004.

12 Woods et Cook, 2002.

13 JSP 551, 2006.

14 Maurino, 1999, p. 413.

15 Reason, 1990, p. 174.

16 Woods et Cook, 1999, p. 143, soulignement original.

17 Dekker et Hollnagel, 2004, p. 79.

18 Gordon, Flin et Mearns, 2005, p. 151.

19 Dekker, 2002, p. 3.

20 Amalberti, 2001.

21 Dekker et Hollnagel, 2004, p. 79.

22 *ibid*, p. 80.

23 Woods et Cook, 1999.

24 Maurino, 2000, p. 954.

25 Woods et Cook, 1999, p. 147.

26 Rochlin, 1999, p. 1558.

27 Maurino, 2000, p. 956.

28 Woods et Cook, 1999.

29 *ibid*, p. 10.

30 Dekker, 2003a, p. 9.

31 Dekker, 2003b, p. 104.

32 Maurino, 1999, p. 417.

33 Reason, 1990, p. 174.

34 Reason, 1997.

35 JSP 551, 2006.

36 Reason, 1997.

37 Burns, *et al*, 2006, p. 1139.

38 Helmreich, *et al* 1999.

39 Aucune distinction n'est faite entre la confiance explicite et la confiance implicite. Pour de plus amples renseignements, consulter Burns, *et al*, (2006).

40 Burns, *et al*, 2006, p. 1140.

41 La confiance et la méfiance sont parfois considérés comme étant situés sur deux pôles, mais selon des recherches récentes, ces deux dimensions seraient distinctes mais liées. (Lewicki, *et al*, 1998, p. 439).

42 Parker, *et al*, 2006, p. 552.

43 Woods et Cook, 2002.

44 Höpfl, 1994, p. 56.

45 Woods et Cook, 2002, p. 140.

46 DCI JS 72, 2002.

47 Cheetham et Chivers, 2001.

48 Besnard, *et al*, 2004, p. 119.

49 Antonacopoulou, 1999, p. 18.

50 Salas, *et al*, 2001; Flin *et al*, 2002.

51 Antonacopoulou, 2001, p. 340.

52 Brookfield, 1986, p. 31, soulignement ajouté.

53 Gorton, 2005.

54 Taylor, 2006.



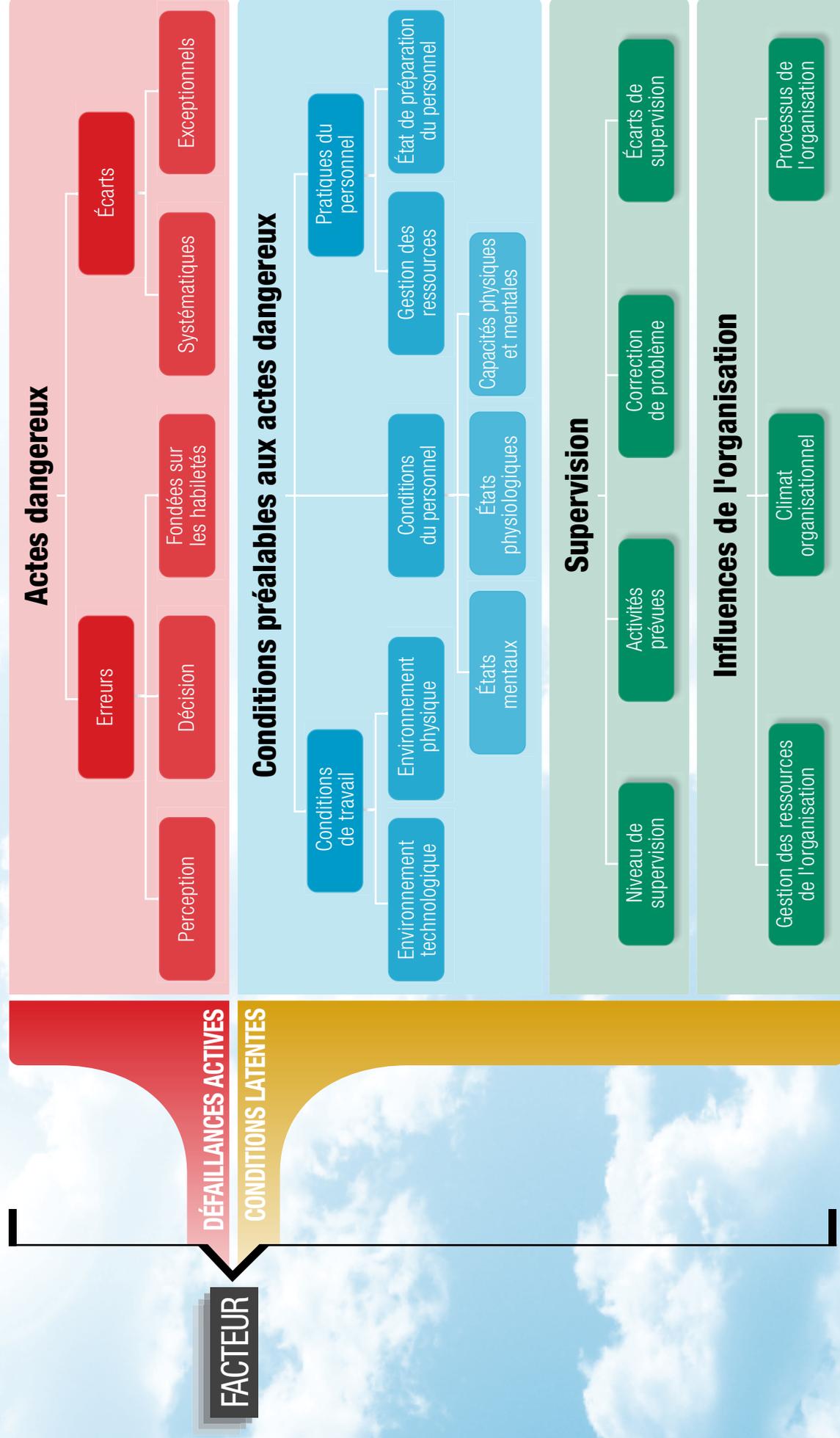
Photo: VVO Serge Peters

# DEUXIÈME PARTIE

# DEUXIÈME PARTIE DESCRIPTION FACTEURS HUMAINS

<b>Introduction</b>	
<i>Facteurs humains 101</i>	<b>47</b>
<b>Erreurs de perception</b>	
<i>Code 7700 – Un exercice de prise de décision</i>	<b>49</b>
<b>Erreurs de décision</b>	
<i>Pressions : perception ou réalité?</i>	<b>52</b>
<b>Erreurs fondées sur les habiletés</b>	
<i>Toujours revenir à l'indicateur d'assiette</i>	<b>54</b>
<b>Écarts</b>	
<i>L'astuce</i>	<b>55</b>
<b>Environnement physique</b>	
<i>Poser les bonnes questions pour obtenir les bonnes réponses</i>	<b>56</b>
<b>États mentaux</b>	
<i>Des erreurs malgré tous nos efforts... Pourquoi?</i>	<b>58</b>
<b>États physiologiques</b>	
<i>Il reste toujours quelque chose de la formation militaire</i>	<b>60</b>
<b>Capacités physiques et mentales</b>	
<i>Leçon sur l'instinct</i>	<b>62</b>
<b>Environnement technologique</b>	
<i>5 secondes avant l'impact</i>	<b>63</b>
<b>Gestion des ressources</b>	
<i>C'était un peu serré...</i>	<b>64</b>
<b>État de préparation du personnel</b>	
<i>Je peux passer au travers!</i>	<b>66</b>
<b>Supervision</b>	
<i>J'ai les commandes!</i>	<b>67</b>
<b>Influence de l'organisation</b>	
<i>Fromage suisse et sécurité des vols</i>	<b>68</b>

# Organigramme Facteurs Humains Forces Canadiennes





## Facteurs humains – Introduction

**FAIT:** Aujourd'hui, quand on demande : « À votre avis, qu'est-ce qui a causé cet accident ou y a contribué? », plus souvent qu'autrement le personnel navigant et le personnel au sol, ainsi que les témoins, les parties intéressées ou des observateurs de l'extérieur, répondront encore, souvent sans l'ombre d'une hésitation : « **Erreur du pilote** »!

## Facteurs humains 101

par le Major Martin Clavet,  
Direction de la sécurité des vols, Ottawa

### Il faut que ce soit une « erreur du pilote »

Errare humanum est. Il est humain de se tromper. C'est une réalité de la vie et elle n'est pas près de changer dans un avenir rapproché. Dans ce cas, nous n'avons plus qu'à lever le camp et à rentrer. Le pilote était aux commandes, et l'appareil s'est écrasé, donc, c'est une erreur du pilote. Mais l'est-ce vraiment?

Oui, les erreurs humaines continuent d'affliger l'aviation moderne, tant militaire que civile. Toutefois, conclure tout de go que les accidents d'aviation sont attribuables à une « erreur du pilote », ou même à une « erreur du technicien » ou à une « erreur du contrôleur » est une façon simpliste, si ce n'est naïve, d'envisager la cause des incidents et des accidents. Les incidents et les accidents ne peuvent être attribués à une seule cause ou, dans la plupart des cas, à une seule personne. Les accidents sont plutôt le résultat final d'une multitude de lacunes latentes ou actives qu'on appelle généralement facteurs contributifs.

### Le personnel comme facteur contributif

Un facteur contributif peut se définir comme étant tout événement, toute situation ou circonstance dont la présence ou l'absence, dans la mesure du raisonnable, accroît la probabilité que se produise un incident ou un accident menaçant la sécurité des vols.

Si nous raffinons un peu plus cette définition et nous penchons sur les facteurs contributifs associés au « personnel », par opposition à des facteurs contributifs associés au matériel ou à des conditions environnementales, nous nous trouvons en présence de « facteurs humains » proprement dits.

Lorsqu'un accident ou une situation dangereuse fait intervenir le personnel, l'étude des « facteurs humains » entre en jeu, et elle a montré qu'il y a deux grandes catégories de causes associées à la situation. Ces catégories sont les causes « actives » et les causes « latentes ». Les enquêtes sur la sécurité des vols doivent cerner des causes actives et latentes en cas d'événements ou de dangers pour que des mesures efficaces soient mises en œuvre afin de réduire la probabilité qu'ils se reproduisent.

### Causes « actives » et « latentes »

Les lacunes (ou causes) **actives** sont des erreurs, des événements ou des situations **directement liés** à l'incident ou à l'accident. Habituellement, les causes actives sont la dernière action menant à la situation ou à l'acte. On les appelle communément « erreur du pilote », ou quelque chose du genre, car ce sont des « actes dangereux » commis en dernier par des personnes et dont les conséquences sont souvent immédiates ou tragiques.

Les lacunes (ou causes) **latentes** sont, par ailleurs, des événements, des circonstances ou des erreurs associés à des personnes ou à des situations présentes partout dans la chaîne de commandement, ou le système de gestion de personnes qui **prédispose** à la séquence

tragiques des événements qui caractérisent un accident. Par exemple, il n'est pas difficile de comprendre comment surcharger des équipages au détriment de la qualité de leur repos peut mener à de la fatigue et, ultimement, à des erreurs (lacunes actives) dans le poste de pilotage. Dans cette perspective alors, les « actes dangereux » d'un équipage navigant sont les résultats finals d'une chaîne de causes prenant naissance dans d'autres parties (souvent les échelons supérieurs) de l'organisation. Les causes latentes **contribuent** à la séquence finale des événements menant à l'événement ou au danger en les prédisposant à se produire. Bien qu'elles ne soient pas la cause directe, **elles peuvent avoir autant d'impact sur l'issue négative que la cause directe, ou lacune active**. Le problème vient du fait que ces lacunes latentes **peuvent être dormantes ou passer inaperçues** pendant des heures, des jours, des semaines ou de plus longues périodes jusqu'à ce qu'un jour se produise un « acte dangereux » ou soit reconnue une « situation dangereuse » qui alors piège la personne qui présente la lacune active.

Si l'on regarde le modèle causal des « facteurs humains » dans son ensemble, on peut voir que les facteurs contributifs actifs peuvent être le résultat d'une longue chaîne, dont les racines se trouvent à d'autres endroits de l'organisation (causes latentes). Par exemple, des lacunes latentes, comme la fatigue, un excès de confiance en soi, la maladie et la perte de conscience de la situation compromettent tous l'exécution d'une tâche et ils peuvent passer facilement inaperçus. De même, des pratiques de supervision peuvent favoriser des situations dangereuses chez les utilisateurs, et des actes dangereux finiront par être commis.



Photo : Sgr Paz Quillie

Mais il ne s'agit pas de s'arrêter au niveau de supervision non plus, l'organisation elle-même peut avoir un effet sur l'exécution à tous les niveaux. Par exemple, des fonds pourraient être coupés et limiter, par voie de conséquence le temps consacré à la formation et au pilotage. Les superviseurs n'ont alors d'autre choix que d'affecter des membres d'équipage « moins compétents » à des missions parfois complexes. Il ne sera donc pas surprenant de constater que des facteurs contributifs comme la surcharge de tâches et la perte de conscience de la situation commenceront à se manifester et, par conséquent, c'est le comportement dans le poste de pilotage qui en souffrira. Comme tels, il faut traiter les facteurs contributifs à tous les niveaux si l'on veut qu'une enquête et un système de prévention relatifs aux incidents et aux accidents fonctionne.

Les enquêtes sur la sécurité des vols visent à cerner ces lacunes actives et latentes pour permettre de comprendre **pourquoi** l'événement s'est produit et **comment** il est possible d'éviter qu'il ne se reproduise à l'avenir. L'objectif consiste à éviter de futurs accidents grâce à la détermination soignée de la cause et à la recommandation de mesures préventives pour réduire ces lacunes actives et latentes.

## Pour en revenir aux « facteurs humains »...

Les facteurs humains signifient toutes sortes de choses pour toutes sortes de gens. Un ergonome vous dira que la conception et l'anthropométrie d'un poste d'équipage sont en cause. Un physiologue mettra l'accent sur le vol, comme l'altitude, le froid, l'accélération ou les mouvements le long d'un système de référence

à trois axes sur le corps humain. Un psychologue vous dira que les facteurs humains portent sur le traitement de l'information, l'émotion et la motivation. Un sociologue soutiendra qu'ils ont trait à la personnalité, aux événements stressants de la vie et aux rapports sociaux. Un spécialiste en survie parlera des systèmes d'évacuation et de l'équipement de survie. En fait, les facteurs humains comprennent tous ces éléments, et même plus, qui ont pour effet d'influencer le comportement humain.

Pour ce qui est des facteurs humains liés aux accidents d'aéronef, voilà qui laisse entendre que les accidents soi-disant attribuables à une « erreur du pilote » peuvent être décrits, sinon expliqués, en termes d'anomalies ou de déficiences au sein d'une de ces catégories ou plus.

Une étude approfondie des facteurs humains comprendrait donc les caractéristiques physiques, physiologiques, psychologiques, psychosociales et pathologiques des êtres humains dans l'optique de leur influence sur l'interaction entre la personne et son environnement.

L'environnement comprend ici des facteurs extérieurs à la personne qui déterminent ou modifient le comportement humain. Il comprend aussi la conception de tout le système organisationnel qui prépare une personne à faire face à des exigences extérieures.

L'interaction entre la personne et l'environnement se compose des échanges cruciaux entre eux qui sont incompatibles et se terminent par un accident.

## La lumière au bout du tunnel...

Les statistiques indiquent que la plus grande cause d'incidents et d'accidents d'aéronef est l'erreur humaine. La personne est présente à tous les niveaux où il est question de sécurité des vols : dans l'aéronef, sur la piste, dans la tour de contrôle... même au niveau de prise de décision dans un bureau. Le rôle clé joué par la personne explique pourquoi les facteurs humains, et non l'« erreur du pilote », en eux-mêmes ou combinés à d'autres facteurs, sont présents dans près de 80 % des accidents aériens, sinon tous. Les chiffres proviennent de toute évidence de statistiques et peuvent être sujets à interprétation selon l'angle sous lequel ils sont considérés; néanmoins, ils sont très élevés et ne peuvent être écartés du revers de la main.

Minimiser la réalité, l'importance et le rôle dominant joué par les facteurs humains dans l'enquête sur des accidents d'aéronef en ramenant le tout l'expression simpliste « erreur humaine » n'est pas seulement fallacieux, mais tout à fait à côté de la question.

Errare humanum est. Il est humain de se tromper. Et l'on continuerait à se tromper si l'on persistait à parler d'« erreur humaine » pour désigner tout ce qui va mal du côté de la personne lorsque se produisent des accidents d'aéronefs et des tragédies.



## Facteur humain – Erreurs de perception

*On peut concevoir la perception comme découlant d'un processus en trois étapes : la détection, la sensibilisation et la compréhension de la situation. Une erreur de perception peut se produire lorsque la personne en question a décelé des éléments (objets, menaces ou situations) de l'environnement de façon erronée (défaillance de détection), que la perception erronée soit de nature visuelle, auditive, olfactive, proprioceptive (intuitive) ou vestibulaire. Cependant, une erreur de perception peut toujours se produire même s'il y a eu détection précise, si la personne ne porte pas attention à l'information (défaillance de sensibilisation). Même si une détection précise et la sensibilisation à l'information sont réalisées, une erreur de perception peut toujours se produire si l'on ne comprend pas ou si l'on comprend mal leur portée (défaillance de compréhension). En fait, l'expérience joue un rôle à ce niveau, en ce que l'information relative à l'environnement est traitée par comparaison avec ce que la personne sait déjà.*

## Code 7700 – Un exercice de prise de décision

**par le Capitaine Daniel King, officier en sciences biologiques, Recherche et développement pour la défense Atlantique**

À titre d'enquêteur sur les accidents d'aéronefs spécialisé en facteurs humains, je me fais souvent demander comment distingue-t-on une erreur de l'utilisateur attribuable à des questions de perception d'une mauvaise décision prise par ce dernier. On me demande souvent aussi s'il est nécessaire d'établir une distinction entre les deux. La réponse courte à la deuxième question est que le système d'analyse et de classification des facteurs humains (HFACS) des FC m'oblige à établir cette distinction, mais je vais vous dire pourquoi il faut la faire.

Au cours de ma carrière comme contrôleur de la circulation aérienne au radar, l'affichage du code 7700 au transpondeur était un phénomène peu fréquent pour certains aéronefs VFR et IFR. Si un aéronef déclarait une situation d'urgence, l'équipage de conduite changeait le code transpondeur de l'appareil pour qu'il affiche 7700. Lorsque cela se produisait, le plot représentant l'aéronef en situation d'urgence sur l'écran radar commençait à clignoter, et une forte tonalité se faisait entendre pour alerter le contrôleur qu'il y avait sans doute un problème. C'est le scénario que nous allons examiner pour expliquer le processus de prise de décision.

Lorsqu'un plot 7700 commence à clignoter sur l'écran radar et que la tonalité se fait entendre, le contrôleur est le premier intervenant à la phase de détection du processus de perception. Lors du déroulement d'une enquête sur les facteurs humains, il est important de déterminer si la ou les personnes en question ont été en mesure de « déceler » les signaux offerts par l'environnement. S'enquérir de ce qu'elles ont vu, entendu, senti et ressenti, etc., est très important. De plus, lorsqu'on se penche sur l'état physiologique de l'individu, par exemple vérifier si des verres correcteurs sont prescrits ou portés, si l'individu en question souffre d'un problème auditif, etc., est aussi important. Il est également prudent de déterminer si le système a bien fonctionné. Si aucun plot n'a clignoté à l'écran et si le système radar n'a déclenché aucune tonalité, il est alors impossible pour le contrôleur de les déceler. Supposons que le contrôleur voit le plot qui clignote et qu'il entend la tonalité produite par le code 7700. Nous en concluons qu'il n'y a aucune défaillance à ce premier niveau de perception (détection) et que le contrôleur peut maintenant passer au prochain niveau, comme le prévoit le HFACS des FC.

Après avoir décelé les signaux disponibles, la ou les personnes doivent y porter attention. C'est le niveau de sensibilisation de la perception. Si la ou les personnes sont très occupées à ce moment-là, qu'elles remarquent le plot clignotant et entendent la tonalité, mais qu'elles

détournent leur attention sur quelque chose d'autre, la situation d'urgence n'est pas traitée. Encore une fois, il est important au cours de l'enquête de déterminer si la ou les personnes en question se souviennent d'avoir porté attention aux signaux. L'information sur les autres tâches qui étaient exécutées à ce moment-là pourrait être utile dans cette détermination. Si la personne était occupée par plusieurs tâches, il est possible qu'elle ait décelé les signaux mais qu'elle ne s'en soit pas occupée. Quelqu'un peut se rappeler avoir entendu la tonalité d'urgence au moment où le téléphone a sonné et avoir fait porter son attention sur ce dernier. Supposons que le contrôleur a décelé le plot clignotant et entendu la tonalité, et qu'il a consacré suffisamment d'attention à la situation. Nous pouvons conclure qu'il n'y a eu aucune défaillance au deuxième niveau de perception (sensibilisation); le contrôleur va alors passer au prochain niveau indiqué dans le HFACS des FC.

À ce stade, l'affichage 7700 d'urgence au transpondeur s'affiche sur l'écran radar, et un contrôleur ayant décelé les signaux visuel et sonore y a porté attention. Que se passe-t-il si le contrôleur ne sait pas ce qu'ils signifient? Nous voici maintenant au prochain niveau de perception, soit la compréhension des signaux décelés et considérés. Que la ou les personnes comprennent les signaux qu'elles reçoivent de leur environnement est une question importante à laquelle il faut répondre lors d'une enquête sur



les facteurs humains. Il est utile de demander à la ou aux personnes en question ce que signifie ce signal ou cette indication pour elles et de déterminer si leur compréhension est juste. Supposons que le contrôleur a bien compris le sens du plot clignotant et de la tonalité. Selon le HFACS des FC, nous n'avons aucune défaillance de perception comme pour les trois autres niveaux de perception. Le contrôleur a bien décelé les signaux qui s'offraient à lui (détection), a porté son attention sur cette information (sensibilisation) et a compris que ce plot clignotant et cette tonalité dénotaient une identification d'urgence (compréhension).

La prochaine étape du processus consiste à utiliser cette perception de la situation pour prendre une décision à son sujet et, finalement, agir sur la foi de la décision prise. Compte tenu du fait qu'une personne a bien perçu ce qui se passait, on serait amené à penser qu'une décision correcte et appropriée serait prise et qu'une mesure serait choisie en conséquence. Ce n'est pas toujours le cas.

Dans notre exemple, comprendre que l'aéronef est en difficulté ne garantit pas que le contrôleur sache quoi faire. Le contrôleur peut décider d'une mesure et l'exécuter pour se rendre compte qu'elle ne permet pas de régler la situation (et dans bien des cas, elle risque de l'empirer). Effectuer un grand nombre de communications radio avec l'aéronef en difficulté pourrait être une voie à suivre pour le contrôleur. Cependant, les contrôleurs disposent de listes de vérifications, d'IPO et de scénarios d'entraînement visant à assurer que l'information essentielle est obtenue d'un aéronef en difficulté au moyen d'un minimum de communications radio afin de ne pas surcharger un équipage de conduite déjà très occupé. Le manque de connaissances d'un contrôleur sur ce qu'il faut faire à propos d'un aéronef en difficulté

se traduit par une erreur de décision fondée sur les connaissances ou l'information (c.-à-d. effectuer trop de communications radio). Plus simplement, le contrôleur n'a pas su comment agir pour obtenir le meilleur résultat. Au cours d'une enquête sur les facteurs humains, il peut être nécessaire que la ou les personnes en question expliquent la bonne procédure et cernent l'information sur laquelle elles se basent pour déterminer leur plan d'action. Les IPO, les instructions techniques, la tactique, les manuels d'instruction, etc., peuvent aussi devoir être consultés pour assurer qu'ils sont exacts et compréhensibles par tous. Supposons dans notre exemple que le contrôleur soit bien au fait des procédures d'urgence et qu'il décide d'un plan d'action approprié.

Les erreurs de décision fondées sur l'information ou les connaissances qui sont décrites ci-dessus portent sur des scénarios pour lesquels des procédures établies existent. En aviation, la ou les personnes font aussi face à des situations inédites pour lesquelles il n'y a aucune procédure établie. Soit notre exemple en contrôle de la circulation aérienne. Pendant que le contrôleur s'occupe d'un premier aéronef en situation d'urgence, un deuxième aéronef déclare une situation d'urgence et il affiche 7700 au transpondeur. Les deux se trouvent à 20 milles de l'aérodrome, et le contrôleur doit déterminer lequel de ces aéronefs doit se poser en premier. Cette situation n'est pas couverte dans les IPO ni dans un manuel de tactique. Dans ce cas, la décision devrait se fonder sur les caractéristiques de vol de chaque aéronef (c.-à-d. la vitesse), le degré de pilotabilité dont chaque pilote dispose, la nature de l'urgence, etc. Toutefois, le contrôleur en service est seul et il contrôle huit autres aéronefs IFR en plus des deux qui ont affiché 7700. Le contrôleur traite d'abord l'aéronef qui a déclaré une urgence en premier uniquement parce

qu'il a été le premier à déclarer une urgence. Le contrôleur a une perception très précise de la situation et il possède toutes les connaissances fondamentales lui permettant de s'en occuper de façon appropriée, mais il fonde simplement ses décisions sur un seul élément d'information sans tenir compte de tous les aspects dans son processus de raisonnement ou de gestion du risque. Selon le HFACS des FC, cette approche représente une erreur de décision en solution de problème ou en gestion du risque. Les questions portant sur ce à quoi d'autre s'occupaient la ou les personnes à ce moment et ce qu'elles avaient l'intention de réaliser au moyen de leurs mesures seraient d'excellents points de départ permettant d'enquêter sur cette situation.

Lorsque le trafic aérien est très intense (de nombreux plots VFR et IFR constellent l'écran radar), plusieurs plots peuvent fusionner sur l'écran. À l'occasion lorsque cette situation se produit, le système peut générer un faux plot 7700 et le faire clignoter en l'accompagnant de sa tonalité. La réponse immédiate à un code 7700 consiste à déterminer ce qui se passe et ce qu'il faut faire. Toutefois, du fait que le système peut générer ces faux codes d'urgence de temps en temps, il est possible que le contrôleur soit amené à croire qu'un code 7700 réel au transpondeur est tout simplement une autre fausse indication causée par la fusion de plots, et à ne pas en tenir compte. Dans ce cas, nous avons un événement (un code 7700 au transpondeur) qui aurait dû mener à une réaction structurée (s'occuper de l'urgence, des listes de vérifications, etc.). Mais la situation est mal évaluée comme étant un faux code 7700 et elle ne donne lieu à aucune réaction structurée. Cette situation représente une erreur de décision fondée sur les procédures ou les règles selon le HFACS des FC.



Maintenant que nous avons établi la distinction entre une erreur de perception et une erreur de décision en fonction du HFACS des FC et que nous avons cerné différents types d'erreur de perception et d'erreur de décision, on pourrait demander : pourquoi disséquer l'événement jusqu'à ce niveau de détail?

Pour répondre à cette question, nous devons revenir à la raison première qui justifie la tenue d'enquêtes. Nous tentons de déterminer ce qui a mal été et de réduire la gravité de l'événement ainsi que le risque qu'il se reproduise. Essentiellement, nous souhaitons apprendre de nos erreurs et trouver une « solution ». Supposons que j'aie mené une enquête et indiqué à mes supérieurs avoir déterminé que l'utilisateur avait pris une mauvaise décision et que je m'en sois tenu là. Quelle est la « solution » à cette situation? Parler à la personne pour qu'elle ne prenne pas cette mauvaise décision la prochaine fois? En fait, ce qu'il faut savoir, c'est que plus nous définissons la nature de l'erreur, plus efficace est la « solution » que nous mettons en place pour réduire le risque que l'événement se reproduise ainsi que sa gravité.

Dans l'exemple du code 7700 affiché au transpondeur dont il a été question, si le contrôleur était incapable de « déceler » le plot clignotant ou d'entendre la tonalité, la « solution » consiste peut-être à augmenter le volume de la tonalité ou la visibilité du plot clignotant, ou peut-être y a-t-il un problème avec la vue ou l'ouïe du contrôleur, auquel cas il faudrait y voir. Si le contrôleur a correctement décelé les signaux visuel et sonore, mais qu'il ne s'en est pas vraiment occupé, alors la « solution » se trouve peut-être dans la formation de la personne ou dans la nature de la tâche. Il faudrait peut-être entraîner le contrôleur pour que, face à ces types de signal, il sache qu'il est primordial de s'en occuper et de les traiter immédiatement. Par ailleurs, peut-être que la personne ne s'est pas occupée de l'information parce que la tâche exécutée à ce moment l'absorbait trop. Si c'est le cas, ou bien la tâche doit être modifiée, ou bien la personne n'a peut-être pas les aptitudes intellectuelles nécessaires pour traiter des situations aussi complexes, et il faut alors revoir les critères de recrutement et de sélection. Si le contrôleur décèle les signaux et s'en occupe, mais qu'il ne sait pas ce qu'ils signifient, encore là, c'est peut-être une question de formation, et la « solution » porterait sur la formation (un différent type de formation que s'il s'était agi d'une erreur de sensibilisation).

Si l'on a déterminé qu'une erreur fondée sur l'information ou les connaissances a été commise, des manuels ou des consignes devront peut-être être révisés, ou même une nouvelle formation pour la tâche pourrait être nécessaire. Si une erreur attribuable à une solution de problème ou à la gestion du risque se produit, la tâche elle-même pourrait devoir être réévaluée ou la capacité de la personne à développer un raisonnement ou à gérer le risque face à une situation pourrait devoir être examinée. S'il est déterminé qu'une erreur de décision fondée sur des procédures ou des règles a été commise dans notre exemple, la « solution » pourrait être de débarrasser l'écran radar de sa capacité à générer de faux codes 7700 ou de donner de la formation ou des exposés supplémentaires sur l'importance de traiter toutes les indications d'urgence comme si elles étaient réelles jusqu'à preuve du contraire.

La clé permettant d'obtenir la « solution » la plus appropriée repose sur la qualité de l'information recueillie pendant l'enquête. Il ne faut pas oublier que le HFACS des FC est seulement un outil à la disposition des enquêteurs pour les aider à naviguer à travers les mécanismes de défaillance possibles et qu'il ne se substitue pas à des méthodes d'entrevue et d'enquête efficaces.



Photo: Adj. Serge Peters

## Facteur humain – Erreurs de décision

*Des décisions sont prises pour atteindre un but ou avec une intention dans lesquels les éléments perçus sont utilisés pour lancer le processus. La réussite d'une décision relève d'un entraînement approprié et de la connaissance de la tâche à exécuter, du système, des opérations, de la tactique, d'une exposition antérieure, de l'expérience et de la compétence. Les erreurs de décision sont des actes délibérés et conscients et elles surviennent lorsqu'un comportement volontaire se déroule comme prévu, mais que le plan est inadéquat ou inapproprié pour la situation. Une décision visant à atteindre un but précis n'est pas appropriée, ce qui se traduit par une situation dangereuse. Souvent appelées « erreurs de bonne foi », ces erreurs représentent habituellement de mauvais choix, la sélection et l'application de procédures inappropriées, ou une mauvaise interprétation ou utilisation de l'information. Le manque de temps, l'inexpérience ou un manque de compétence, ainsi que des contraintes extérieures, comme une surcharge ou la saturation des tâches, peuvent compromettre la prise de décisions sécuritaires.*

## Pressions : perception ou réalité?

**par le Major Gary Cherwonick (à la retraite), pilote de Sea King**

Notre vénérable Sea King a été « affligé de problèmes de maintenance » pendant les premiers trois mois de notre déploiement OTAN. Les autres hélicoptères de plus petite taille ont fini par s'occuper de la plupart des missions de réapprovisionnement logistiques de la flotte qui nous étaient normalement dévolues. Les taquineries amicales de nos alliés au début ont laissé place à une réelle compassion, et notre moral était au plus bas.

Vers la mi-période de notre déploiement, de nombreux membres d'équipage du navire avaient réservé leur vol pour partir en congé dans leurs foyers; aussi, avons-nous quitté la flotte pour une visite prolongée dans un port de l'est de la Méditerranée. Là, nous sommes finalement sortis de notre inactivité. Un long voyage s'annonçant, nous ne disposions que d'une fenêtre de trois heures pour recueillir un arriéré de plusieurs semaines de fret et de courrier provenant de notre aérodrome logistique. Comme le navire devait passer par le sud de l'Italie, nous avions prévu aller chercher les biens et le courrier en priorité.

Le temps était favorable, la mer et le vent étaient relativement calmes, la visibilité et le plafond étaient bons, et il y avait une bruine légère. Tout juste avant le décollage, j'ai demandé au copilote de mettre en marche les essuie-glace

pour dégager le pare-brise. Ils ont balayé une seule fois le pare-brise, puis ils se sont arrêtés. Le pare-brise était suffisamment dégagé, et la pluie était légère; nous avons donc décidé de décoller. Après tout, une pluie légère n'était pas un gros problème puisque la circulation de l'air aiderait à réduire la couche d'eau, et peut-être que les essuie-glace se remettraient en marche plus tard. Si nous avions arrêté notre hélicoptère pour procéder à des réparations, nous n'aurions plus disposé de notre fenêtre de trois heures. Conséquence : PAS DE COURRIER!

La première étape s'est raisonnablement bien déroulée, malgré quelques restrictions de visibilité. (L'écoulement de l'air sur le pare-brise n'était pas aussi efficace que nous l'avions cru!) Lors de notre second voyage de retour au navire, la pluie était plus intense, le vent fraîchissait et le pont d'envol n'était plus stable. Néanmoins, l'atterrissage s'est bien déroulé, même si le pare-brise était presque complètement obscurci. Il ne restait plus qu'un voyage, mais le temps empirait. Nous avons obtenu une mise à jour météorologique au cours de laquelle on nous a dit que la bruine légère et la pluie devaient bientôt cesser. Alors que nous étions assis sur le pont à ruminer ces données et à regarder un hangar très flou, l'averse a commencé à se dissiper comme on nous l'avait dit. Finalement, le temps s'est amélioré suffisamment pour que nous puissions décoller.

La troisième sortie a été plus difficile. Il est devenu évident que nous avions décollé dans une « trouée provisoire ». Une forte pluie, un vent fort et un pont agité nous attendaient. Selon nos instruments, nous n'avions pas suffisamment de carburant pour nous rendre sur la terre ferme; l'appontage était notre seule solution. Volant en stationnaire au-dessus du pont pendant l'arrimage, nous ne disposions que d'une vision périphérique alors que la structure du hangar ne se trouvait qu'à quinze pieds devant l'arc du rotor. J'aurais bien voulu que les essuie-glace se remettent en marche... et me trouver à cent lieues de là. Nous avons pu nous poser sans incident, puis nous avons rempli un rapport sur les essuie-glace. L'équipage du navire était extrêmement ravi, car le courrier en mer relève considérablement le moral.

Nous avons tous entendu parler de la pression qui s'exerce pour que le travail soit fait, ou nous l'avons peut-être même subie. On dit parfois de cette pression qu'elle est « perçue », mais, dans la plupart des cas, lorsque quelqu'un perçoit une pression à faire quelque chose, plus souvent qu'autrement cette perception devient « réelle ». À quelle pression avions-nous été soumis?

Après une longue période de graves problèmes d'hélicoptère, le seul problème ce jour-là avait trait aux essuie-glace. Mettre fin à la collecte du courrier alors que le temps n'était pas si mauvais que cela aurait sans aucun doute suscité un tollé de protestations. Aurions-nous réduit

l'importance du problème en discutant avec tous les membres d'équipage? Ne pas disposer des essuie-glace est un léger contretemps qui peut être facilement surmonté. Vraiment? Que se serait-il passé si nous avions subi un problème de commande de vol au-dessus du pont qui tanguait?

Après la mission, nous avons analysé les événements de la journée et conclu que la question du courrier avait influencé notre décision. Nous avons tous été d'accord sur le fait que la plupart des missions opérationnelles auraient été annulées à coup sûr, mais à ce moment-là rien ne semblait s'opposer à un vol destiné à récupérer du courrier. Pourquoi? En rétrospective la pression exercée pour que nous décollions était fondée sur le moral à bord du navire et, peut-être, notre désir de rétablir notre valeur et notre raison d'être. Avons-nous été influencés par une pression perçue ou réelle? Le type de pression compte-t-il vraiment? À quel moment auriez-vous annulé le vol?



Photo: Adj Sarge Peters

## Facteur humain – Erreurs fondées sur les habiletés

*L'utilisation, la qualité d'exécution ou les habiletés mécaniques deviennent automatiques à force d'être exercées. Il s'ensuit que l'exécution de ces activités devient systématique et, par conséquent, se fait sans effort conscient. Les erreurs fondées sur les habiletés peuvent survenir lorsqu'une activité automatique est exécutée incorrectement. Contrairement aux erreurs de décision, qui résultent d'un plan d'action prévu, les erreurs fondées sur les habiletés sont involontaires. Ces types d'erreur peuvent résulter d'une mauvaise technique, d'un manque d'attention ou de trous de mémoire. Parmi les exemples de conditions préalables pouvant mener à ce type d'erreur, on trouve une compétence insuffisante (p.ex. des capacités amoindries ou moins qu'optimales en ce qui a trait aux procédures et aux urgences, une expérience totale limitée), un manque d'entraînement approprié ou des lacunes dans le maintien des connaissances à jour (p. ex. une expérience récente limitée, l'incapacité à atteindre le nombre d'heures de vol à effectuer ou la séquence à exécuter sur une période donnée, ce qui mène à l'érosion des habiletés et des connaissances) au sujet de la tâche à effectuer.*

## Toujours revenir à l'indicateur d'assiette

**par le Capitaine Kevin Big Canoe,  
429<sup>e</sup> Escadron de transport,  
8<sup>e</sup> Escadre Trenton**

Pour ceux d'entre nous qui œuvrons dans le domaine de l'aviation, peu importe notre occupation, nous nous rappelons tous de certaines énoncés importants qui nous ont été martelés pendant notre formation. De mon séjour à Moose Jaw, je me souviens de la première partie de la phase de formation aux instruments, pendant laquelle mon instructeur me rappelait constamment de « toujours revenir à l'indicateur d'assiette pendant la surveillance des instruments. » Je me souviens aussi qu'il disait : « Cela pourrait même vous sauver la vie un jour. » Suivre le programme de cours était déjà assez difficile, alors raffiner une surveillance d'instruments qui me donnait assez souvent le tournis... J'étais loin de me douter que très peu de temps après la formation initiale et l'entraînement en UIO, j'aurais à réfléchir sur ses paroles sages qui sont toujours là pour vous appuyer.

Quelques mois seulement après mon entraînement sur Hercules en UIO et ne totalisant que quelques heures de vol sur l'avion, je me suis retrouvé au sein d'un équipage très expérimenté pendant l'été dans le cadre de l'opération Boxtop 03. Quelle formidable expérience pour un jeune, euh enthousiaste, copilote. L'approche PAR à Alert n'était pas complètement opérationnelle et, de ce fait, nous nous sommes fiés à l'approche NDB d'Alert. Le temps était typique de l'endroit :

un demi-mille terrestre dans une neige légère et des nuages en stationnaire à 200 pieds au-dessus du sol. Pas très réjouissant pour une approche de non-précision, mais nous avions amplement de carburant, et le temps allait s'améliorer de quelques ouvertures, d'après ce que nous avait dit le sol. Comme nous approchions d'Alert sans que le temps s'améliore, nous avions prévu exécuter trois approches, puis retourner à Thulé si nous n'arrivions pas à nous poser. J'occupais le siège de droite, et le temps à notre aéroport de décollage dictait une approche de non-précision surveillée par le pilote, ou plus simplement, une approche exécutée du siège de droite.

Comme je n'avais pas beaucoup volé aux instruments ces derniers temps, j'ai décidé d'exécuter manuellement l'approche pour me dérouiller. Première erreur. En rétrospective, j'aurais dû laisser le pilote automatique exécuter l'approche. La première approche a été sûre et efficace, ce que je sais maintenant vouloir dire plutôt molle et mouvementée. Nous avons entamé la deuxième approche après l'approche interrompue en faisant appel au pilote automatique sur le conseil de mon commandant de bord. Nous avons pénétré dans les nuages à 2000 pieds MSL et n'avons rien vu pendant que nous exécutions l'approche. J'ai commencé l'approche interrompue, laquelle nécessite un virage immédiat à droite en montée pour éviter du granit en phase cumulus à l'autre extrémité de la piste. Tout en montant, virant et rentrant le train, j'ai laissé l'avion s'incliner au-delà de 30°

et se mettre en palier avec une augmentation correspondante de vitesse. Deuxième erreur. Au même moment, j'ai remarqué l'angle d'inclinaison excessif et j'ai entendu « BANK », suivi de « AIRSPEED » en stéréo de la part des autres membres d'équipage. Une réduction de l'inclinaison suivie par une légère traction sur le manche n'a pu empêcher la vitesse de franchir 165 kt pour atteindre 172 kt, soit une vitesse de sept nœuds supérieure à celle autorisée pendant que le train se déplaçait. Après une troisième approche impeccable, nous sommes retournés à Thulé où l'avion devait être inspecté visuellement et où ce serait ma tournée. L'avion n'avait rien, et les deux autres semaines se sont déroulées normalement, apportant tout un lot d'expériences formidables, et je me suis exercé à remplir mon premier compte rendu de sécurité des vols.

En y repensant plus tard dans la journée, je me suis souvenu de ces énoncés immuables mais éprouvés et vrais. Si ma surveillance des instruments avait été plus dynamique, je n'aurais pas laissé l'angle d'inclinaison augmenter au point de dépasser la vitesse autorisée pour tout déplacement du train. La compétence étant en train de devenir un enjeu dans certains milieux, pour toutes sortes de raisons, il est essentiel que nous revenions en arrière de temps à autre pour nous fier à notre entraînement ainsi qu'à ces paroles de sagesse qui nous ont été transmises par ceux qui nous ont précédés : « Toujours revenir à l'indicateur d'assiette. »



## Facteur humain – Écarts

*Un écart représente le fait de passer volontairement outre aux ordres, règlements ou autres règles. Contrairement aux erreurs, les écarts sont délibérés. Il y a deux formes d'écart par rapport aux règles : l'écart systématique et l'écart exceptionnel. Ces deux types d'écart se différencient non pas par la nature de l'acte, mais selon le fait que l'acte devient ou non la norme dans l'organisation, quel que soit le niveau.*

**Les écarts systématiques** ont tendance à être des comportements courants ou habituels par nature, et ils sont souvent favorisés par un système de supervision ou de gestion au sein d'une organisation qui tolère un tel éloignement par rapport aux règles et aux règlements. Si l'on cerne un écart systématique, il faut mener une enquête en remontant la chaîne de supervision pour déterminer l'ampleur de l'acceptation de ce comportement. Des « contournements » systématiques et des procédures inhabituelles ou des écarts habituels de la part d'une seule personne ou d'un petit groupe de personnes au sein d'une unité ou d'un milieu qui sont admis par la direction sont des exemples d'écart systématique.

**Les écarts exceptionnels** aux règles et aux règlements constituent des écarts isolés (non respect délibéré). Ils sont inhabituels ou isolés à des personnes spécifiques plutôt qu'à de plus gros groupes, et ils ne sont pas approuvés ni admis par les superviseurs et la direction. La plupart des écarts exceptionnels sont flagrants, mais il est important de noter qu'ils ne sont pas considérés exceptionnels à cause de leur nature extrême. Ils représentent plutôt un comportement grossièrement négligent et ils ne font pas partie du comportement habituel d'une personne ni ne sont admis par les autorités. Signer la remise en service d'un aéronef après réparation sans inspection, ne pas utiliser l'équipement requis ou autorisé, exécuter une manœuvre improvisée ou non approuvée à basse altitude, ou effectuer une tâche ou une mission malgré un non-maintien des connaissances à jour ou sans qualification ou autorisation appropriée sont des exemples d'écarts exceptionnels. Dans une « culture juste », la résolution de la présence d'un écart exceptionnel devrait se faire à l'extérieur de la sécurité des vols.

## L'astuce

### Auteur anonyme

Dans le cadre du Programme de vol à voile des Cadets de l'Air, c'est une pratique courante pour nous d'essayer d'être aussi efficaces et opérationnels que possible. Dans notre cas, cela signifie exécuter le plus grand nombre de vols possible dans une journée. Parfois, il est possible d'accélérer les vols à voile sans compromettre la sécurité, en d'autres occasions, l'efficacité prend le temps qui lui est nécessaire.

Une des « astuces » que j'ai apprises pendant l'entraînement avait trait à la gestion du carburant. Dans l'avion remorqueur, il est courant qu'un des réservoirs de carburant se vide plus rapidement que l'autre. Toutefois, quand les deux indicateurs de carburant atteignent la marque « NO TAKE-OFF », aucun autre décollage ne peut être effectué. Même si les aiguilles sont sur la marque « NO TAKE-OFF », il reste toujours un peu de carburant dans les deux réservoirs. L'« astuce » qu'on m'a enseignée était qu'en vidant d'abord complètement un réservoir, puis en réglant le sélecteur de carburant sur « BOTH », on pouvait maximiser le temps de vol. Il était important de s'assurer que le sélecteur de carburant soit sur « BOTH » pour les décollages et les atterrissages.

Les manuels d'utilisation et les consignes de vol n'interdisaient pas cette pratique; elle semblait donc être un moyen acceptable d'améliorer le nombre des vols possibles avant qu'on ait à refaire le plein de carburant.

Après mon entraînement j'ai continué à utiliser cette pratique pour que nous soyons encore plus opérationnels. Cependant, un jour, lors d'opérations de vol à voile, alors que je surveillais d'autres appareils pendant mon approche, j'ai oublié de remettre le sélecteur de carburant sur « BOTH » pour l'atterrissage. Tout a bien été jusqu'au moment de l'arrondi où le moteur s'est arrêté. L'avion s'est posé sans incident et s'est immobilisé comme il l'aurait fait dans un atterrissage normal.

J'ai rapidement réglé le sélecteur de carburant sur « BOTH », ai redémarré le moteur, puis je me suis immédiatement rendu aux pompes à carburant. Je n'y ai pas trop pensé au début, mais je me suis rendu compte plus tard des risques inutiles auxquels j'avais exposé ma propre personne... et les autres autour de moi.

Si une remise des gaz avait été nécessaire, j'aurais pu subir une extinction moteur qui m'aurait forcé

à me poser dans les arbres droit devant. Si j'avais été en mesure d'effectuer un autre décollage et si j'avais oublié de ramener le sélecteur de carburant sur « BOTH », j'aurais également mis en danger la vie de ceux qui se seraient trouvés à bord du planeur.

Je n'étais pas le seul pilote d'avion remorqueur qui exécutait couramment cette pratique, mais j'ai été chanceux qu'elle n'ait pas été à l'origine d'un grave incident. Il est à espérer que cela ait servi de leçon aux autres pilotes d'avion remorqueur, novices et expérimentés. Les consignes de vol ont été modifiées pour assurer que cette situation ne se reproduise pas.



Photo: Stéphane Theriault

## Facteur humain – Environnement physique

*La sous-catégorie Environnement physique est présente lorsque l'entourage immédiat, les conditions météorologiques et l'exposition à celles-ci ainsi que l'espace de travail nuisent à la capacité du personnel d'exécuter la mission ou la tâche efficacement. Les dangers matériels qui contribuent à l'événement font aussi partie de cette catégorie de conditions préalables.*

## Poser les bonnes questions pour obtenir les bonnes réponses

**par le Major Steve Valko, officier de la sécurité des vols de l'escadre, 4<sup>e</sup> Escadre Cold Lake**

L'exposé avant vol sur les opérations par le pilote en service était tout ce qui était nécessaire avant que nous nous dirigions vers les CF18 pour une sortie matinale. Stationner à l'extrémité de la rangée était toujours agaçant, mais c'était une bonne occasion de procéder à une vérification avant vol initiale de l'avion pour découvrir des choses qui clochaient. La visite extérieure a été effectuée, les pneus ont reçu quelques coups de pied et leur pression a été vérifiée, et toutes les autres jauges d'accumulateur se situaient dans les tolérances. Des panneaux ont été fermés, les goupilles ont été retirées, et deux réacteurs étaient prêts à développer leurs 32 000 livres de poussée. Le moment était venu de grimper dans l'échelle d'embarquement, de se brûler, de régler les pédales de direction vers l'avant vers la cloison et de démarrer l'avion à réaction. Le démarrage s'est déroulé en douceur. Après obtention d'une autorisation du contrôle au sol, c'était le moment de rouler. Le frein de stationnement a été desserré, la vérification initiale des freins a été exécutée, le système de navigation à inertie (INS) a été réglé au mode navigation, et l'avion roulait maintenant vers la piste en service à environ 20 nœuds. Tout a semblé normal pendant la phase de roulage au sol, sauf pour une légère traction sur la gauche. Le vent soufflait de façon modérée, mais pas suffisamment pour faire dériver l'avion.

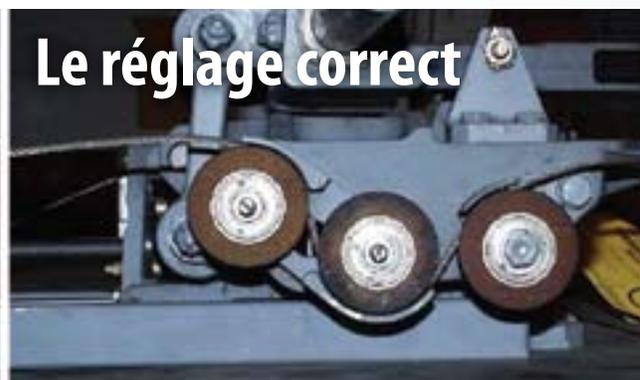
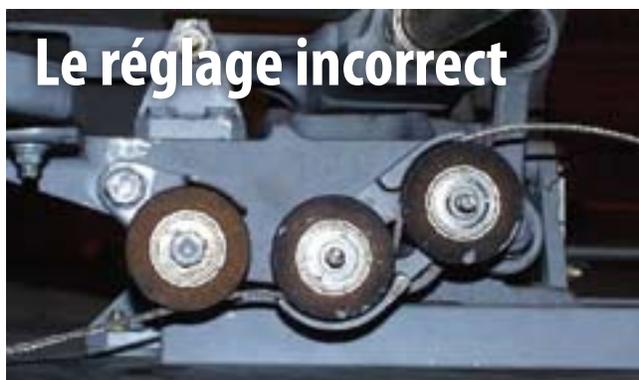
Alors que l'avion s'immobilisait au point d'armement, j'ai jeté un coup d'œil à mon

aillier, qui se trouvait du côté gauche de mon appareil. « CAT 42 du leader, jetez un coup d'œil au train gauche. Le pneu semble-il dégonflé? » « Négatif », a-t-il répondu. « Je ferai une autre vérification de base au début de la course au décollage. » Le contrôle de la circulation aérienne nous a donné notre autorisation de décoller, et je roulais maintenant sur la piste en service. J'ai pris l'air à 165 nœuds, sans shimmy ni autre problème notable. La sortie s'est déroulée sans problème. Une fois atteints la réserve Bingo (niveau minimum de carburant requis pour revenir à la base et atterrir avec une très petite marge en cas de délai retardant l'atterrissage) et le moment de revenir à la base, nous avons effectué nos vérifications et sommes revenus pour exécuter un dégagement à l'horizontale. L'atterrissage s'est bien passé, le vent soufflant à moins de cinq nœuds, ce qui nous laissait plein d'espace pour quitter la piste par la voie de circulation haute vitesse. Nous avons communiqué avec le contrôle au sol et sommes revenus à l'escadron en roulant. Encore une fois, il y a eu une légère traction sur la gauche. La puissance nécessaire était légèrement supérieure à la normale, sans être alarmante.

C'est en virant en vue de stationner l'avion que le pneu a fini par lâcher. Rien de catastrophique, la pression s'est simplement relâchée par le flanc. L'avion a été arrêté tout juste avant d'atteindre sa place de stationnement, et l'équipe de piste a remédié rapidement à la situation par la suite. Un remplacement de pneu a été inscrit dans le carnet de bord de l'avion, et ce dernier était fin prêt pour la sortie de l'après-midi. Quelques

jours plus tard, je signalais la sortie du même avion auprès des Opérations. Un examen des antécédents d'anomalies techniques de l'avion révélait que le remplacement du pneu était la dernière inscription dans le carnet. Autrement, l'avion était en bon ordre. Le démarrage du moteur et le roulage se sont bien passés; cependant, encore une fois au roulage suivant le retour d'un vol, le pneu a subi une défaillance. Maintenant, des questions allaient être posées qui nécessiteraient des réponses. Quelle quantité de carburant aviez-vous? Que faisiez-vous après l'atterrissage? Avez-vous sollicité les freins trop rapidement pour pouvoir quitter la piste par la voie de circulation haute vitesse? La réponse était toujours la même. « J'ai stoppé de la façon habituelle. » À quelques reprises, une remarque amusée du genre « pour moi, c'est la technique de freinage » s'est fait entendre. Les questions étaient fastidieuses, mais en fait, c'était bien de voir un groupe aussi préoccupé par le problème.

L'équipe de maintenance a inspecté le pneu à la recherche de problèmes de frein, mais elle n'a rien trouvé rien de particulier. Le pneu a été remplacé, et un essai de roulage a eu lieu sans qu'on trouve quoi que ce soit d'anormal. Le Hornet a de nouveau été remis en service et il était prêt à voler. Quelques mois ont passé, et j'ai passé plus de temps que la normale à évaluer ma technique de freinage. L'avion a éventuellement été emprunté par l'escadron se trouvant deux hangars plus loin pour quelques vols visant à répondre à une demande de son officier des opérations. Le même jour, je circulais au sol en vue d'une sortie, comme d'habitude, et j'ai



entendu un avion interrompre son décollage à la suite d'une crevaison. C'était le même avion. Trois crevaisons en trois mois. Ce qui était bizarre, c'est que l'avion avait volé à plusieurs reprises entre les incidents sans que rien ne soit mentionné sur la page exposé après vol du pilote dans le carnet de bord. L'autre escadron a inspecté et réparé l'avion, mais le résultat était toujours le même. Pneu remplacé, train inspecté, essai de roulage exécuté, et aucune anomalie trouvée. Deux mois se sont écoulés, et un autre pilote a subi une crevaison à bord du même avion. À ce moment, notre équipe de maintenance a conclu à la nécessité de procéder à une inspection complète du système de freinage. Finalement, le problème a été découvert. À l'inspection des pédales de direction, le câble de frein avait été mal installé. Cela semblait bien simple, mais voici ce qui avait retardé la découverte du problème.

Il a fallu quelques minutes pour scruter directement la photo afin de finalement déceler le problème d'acheminement. La difficulté d'accès a compliqué la difficulté de découvrir le problème. Pourquoi la traction sur la gauche était-elle intermittente? On s'est rendu compte que cette anomalie ne se produisait qu'avec les pilotes de plus grande taille de l'escadron. Nous étions les pilotes qui réglaient les pédales jusqu'à la cloison. Ce n'était qu'un enfoncement complet des pédales qu'il y avait suffisamment de pression sur les câbles pour exercer une pression sur le système de freinage. Les pilotes de moins grande taille n'avaient aucune influence sur le mauvais acheminement du câble. Le pilote qui avait passé la remarque « pour moi, c'est la technique de freinage » était un des pilotes qui avaient finalement subi une crevaison à bord de l'avion, et les questions que je me posais comme « qu'est-ce que je fais qui cause le problème? » ont finalement reçu une réponse.

Que se serait-il passé si la piste avait été mouillée ou s'il avait fallu exercer une pression de freinage suffisante pour stopper un avion lourdement armé? Que se serait-il passé si la crevaison s'était produite lors d'un décollage en patrouille? Combien de gens auraient été mobilisés si l'avion avait été en route vers sa destination de déploiement et que la crevaison s'était produite à un autre endroit éloigné? Combien de temps avait-il fallu à l'équipe de piste pour remplacer ce pneu quatre fois? Quelles pensées traversaient l'esprit des pilotes qui croyaient être à la source du problème? Que se serait-il passé si l'atterrissage avait été plus mouvementé et que le dispositif d'arrêt avait été absent?

Quelles leçons peut-on tirer d'un ensemble d'incidents relativement bénins comme celui-ci? Premièrement, la résolution de problèmes prend du temps et nécessite une conjugaison d'efforts. La minutie a permis de régler le problème, mais aurait-elle pu se manifester plus tôt? Le pilote subissant un incident doit toujours donner le maximum de détails à ceux qui corrigeront une anomalie, et l'équipe de piste doit poser des questions et aller au-delà des évidences. Un compte rendu d'incidents liés a été ce qui a permis de procéder à la grande inspection du système de direction.

La capacité de régler cette anomalie légère mais récurrente a pris du temps et des efforts de la part d'un certain nombre de personnes. Est-ce que cette situation se produit souvent? Tout le temps. Parfois, la correction se fait rapidement, parfois la solution prend du temps. Le temps pris à régler le problème a été attribuable au processus de résolution de problème et à l'incapacité de tenir compte de tous les facteurs. Le problème dans ce cas n'était pas la crevaison. L'erreur se trouvait dans l'ensemble pédales de direction et câble de frein. La crevaison n'était que le résultat du problème. Il s'agit d'un type

de problème que du personnel plus expérimenté sera en mesure de résoudre plus rapidement, habituellement parce que les questions qu'il pose seront différentes et liées à des expériences antérieures. J'ai appris à communiquer plus de renseignements, et l'équipe de piste en question a appris à demander plus de détails.

Parfois, une anomalie technique n'est pas ce qu'elle semble être. Vous commencez à regarder à un endroit pour trouver le problème, et sa solution se trouve à un endroit complètement différent.



## Facteur humain – États mentaux

*La sous-catégorie États mentaux comprend les conditions psychologiques qui influencent directement le rendement.*

*La complexité de la plupart des tâches ou des missions en aviation exige que la ou les personnes qui les exécutent soient mentalement préparées. Une déficience dans l'état de préparation mental, donc du rendement cognitif, peut être causée par de la fatigue, un déficit d'attention, ainsi que des traits de personnalité ou des attitudes.*

## Des erreurs malgré tous nos efforts... Pourquoi?

**par l'Adjudant-maître Gillis, 410<sup>e</sup> Escadron d'entraînement opérationnel à l'appui tactique**

Rédiger un article sur les facteurs humains peut être facile si vous reproduisez les recherches de quelqu'un d'autre ou truffez votre texte de toutes sortes de statistiques. Je suis néanmoins d'avis que l'expérience personnelle est beaucoup plus intéressante et profitable. Ce n'est que tard dans ma carrière que j'ai commencé à recevoir de la formation en facteurs humains à titre d'adjudant de la sécurité des vols fraîchement nommé au sein d'un escadron de chasse extrêmement occupé. Après ma formation, j'ai commencé à réfléchir sur des incidents et des accidents antérieurs auxquels non seulement moi mais aussi mes collègues de travail avons été mêlés. J'ai commencé à me rendre compte qu'un nombre non négligeable de ces événements étaient souvent liés à des causes attribuables aux facteurs humains.

Je me souviens d'un tel incident qui m'est arrivé à Summerside (I.-P.-E.) au début des années 1980. Nous étions fréquemment responsables des décollages, tôt le matin, pour des missions de surveillance des pêches. Habituellement, les aéronefs décollaient à 6 h; par conséquent, notre équipe d'entretien courant était souvent à pied d'œuvre avant 5 h afin de préparer les aéronefs à leur mission.

Un matin après un décollage hâtif, j'ai décidé de donner un coup de main à l'équipe du matin en effectuant une vérification avant vol des autres appareils qui devaient voler plus tard dans la journée. Au cours des deux heures qui ont suivi, j'avais effectué la vérification « B » de cinq autres appareils, et j'étais bien heureux des témoignages de reconnaissance de la part des membres d'équipage qui se présentaient au travail et constataient avec surprise qu'une bonne partie du travail du matin était déjà fait. Vers 9 h, mon caporal-chef est venu me parler pour me demander de le suivre vers un des appareils que j'avais inspectés. Il m'a demandé d'aller dans le logement du train d'atterrissage droit et de vérifier si je ne voyais pas quelque chose d'anormal. J'ai pénétré dans le logement de train et je n'ai rien vu qui sorte de l'ordinaire, jusqu'à ce qu'il me demande de jeter un coup d'œil par-dessus mon épaule droite. C'est à ce moment que j'ai aperçu avec stupéfaction une perforation dans la trappe du train droit. Le dommage était grave, et s'il était passé inaperçu, il aurait pu causer le coincement en position rentrée du train en vol. De ce fait, l'aéronef a été retiré du programme de vol et a été en réparations pendant deux jours pour qu'on puisse corriger la situation.

À ce moment-là, je ne comprenais pas comment j'avais pu commettre une erreur aussi flagrante, et pendant des mois cet incident a ébranlé ma confiance en moi-même. Je croyais sincèrement qu'à l'époque j'étais immunisé contre les erreurs, et qu'elles n'affligeaient que les techniciens les moins compétents. Quel retour à la réalité!

Au cours des années qui ont suivi, j'ai travaillé sur différents aéronefs et j'ai été chanceux de ne pas me retrouver dans une situation semblable. Avec le temps, j'ai repris confiance en moi. Cependant, je n'ai jamais oublié l'incident de la trappe de train endommagée et je raconte souvent cette anecdote au personnel subalterne dans le cadre de sa formation en facteurs humains.

Aujourd'hui, quand je repense à cet incident, je commence à me rendre compte que plusieurs facteurs humains avaient concouru à me faire manquer quelque chose de très évident. Premièrement, je travaillais souvent fatigué, ayant de jeunes enfants qui se réveillaient fréquemment la nuit. Deuxièmement, je précipitais les inspections, ayant développé une façon spéciale d'exécuter mes vérifications avant vol; après tout, il était très rare que je découvre quelque chose qui n'allait pas. Troisièmement, j'avais une très grande confiance dans mes capacités, et nous étions récompensés si nous travaillions plus que ce que d'autres pouvaient endurer. J'avais même dans mon



WO Serge Peters

dossier personnel une lettre d'appréciation pour avoir travaillé 23 heures. Enfin, et le plus important, je n'avais reçu aucune formation en facteurs humains et n'avais aucune idée de la façon selon laquelle des influences extérieures, le rythme circadien ou la rationalisation du travail jouaient un rôle dans l'erreur.

Heureusement, vingt ans plus tard, nous sensibilisons les techniciens tôt dans leur carrière au sujet des facteurs humains. C'est un pas énorme dans la bonne direction et, avec le temps, cette sensibilisation va changer la culture qui régit comment, à titre d'organisation, nous comprenons les erreurs. Toutefois, pour que ce programme connaisse du succès, il doit épouser étroitement les enjeux du jour et convenir tout à fait aux besoins du milieu de la maintenance dans lequel nous travaillons. La formation maison sur les facteurs humains donne les meilleurs résultats lorsque des incidents ou des événements proches de nous font l'objet d'échanges et que les superviseurs et le personnel supérieur appuient activement le programme. De plus, un des meilleurs moyens de faire progresser la formation en facteurs humains consiste à élaborer des études de cas et à les étudier lors des journées de formation ou des réunions quotidiennes sur la sécurité.

Mais à quoi ressemble la formation sur les facteurs humains? En tout cas, je peux vous dire ce qu'elle n'est pas. Elle ne se fait pas au moyen d'un crochet dans une case lors de LA journée de formation annuelle qui confirme que vous êtes bon pour une autre année. Si c'est ce que vous croyez, votre attitude pourrait être votre plus gros handicap et vous empêcher d'améliorer vos connaissances en facteurs humains. Je suis d'avis que le personnel peut travailler en étant mieux sensibilisé aux risques quotidiens, comprendre les conséquences de ces risques et s'organiser de manière à prendre des mesures en fonction des plans. Avec le temps, les échanges sur les facteurs humains deviendront aussi normaux que le contrôle de l'outillage en milieu de travail. Il est souvent difficile de mesurer un changement de culture, mais je suis convaincu que les techniciens que nous formons aujourd'hui reçoivent des connaissances qui, il y a plusieurs années, n'étaient données qu'au personnel supérieur faisant enquête sur les incidents liés à la sécurité des vols. Aujourd'hui, je sors de mes nombreuses premières entrevues avec les nouveaux apprentis bien satisfait de leur niveau de connaissances en facteurs humains et je suis convaincu que nous leur offrons les outils qui leur permettent de devenir de véritables professionnels dans leur milieu de travail.



## Facteur humain – États physiologiques

*La sous-catégorie États physiologiques renvoie à un trouble médical ou physiologique qui exclut toute sécurité dans les opérations. Certains troubles médicaux ou physiologiques rendent la ou les personnes particulièrement vulnérables à des réactions néfastes et à des sensations erronées dans le milieu de l'aviation. Particulièrement importants pour l'aviation sont les troubles physiologiques qui augmentent la vulnérabilité de la ou des personnes à la désorientation spatiale, aux illusions, à la perte de conscience sous forte accélération (G-LOC), à la quasi-perte de conscience (A-LOC), à l'hypoxie, à la fatigue physique ainsi qu'à de nombreuses anomalies pharmacologiques et médicales connues pour compromettre le rendement. Ces troubles peuvent survenir, par exemple, lorsque le pilote vole alors qu'il souffre d'une infection aux oreilles, ce qui le rend plus vulnérable à la désorientation spatiale, ou lorsqu'un technicien de maintenance consommant des médicaments sous ordonnance est plus vulnérable à une somnolence accrue lorsqu'il travaille en hauteur ou qu'il opère de la machinerie spécialisée.*

## Il reste toujours quelque chose de la formation militaire

par Paul Molnar, pilote, Top Aces

Mon histoire me ramène presque 10 ans en arrière dans un superbe paysage de carte postale du nord de l'Arizona. Après 11 ans dans les Forces canadiennes comme instructeur et pilote de CF18 Hornet, et après avoir participé aux opérations Bouclier du désert et Tempête du désert, je dirigeais maintenant mon entreprise de rêve, laquelle présentait des missions de combat aérien et des démonstrations aériennes à deux appareils à des milliers de personnes en Amérique du Nord. À ce moment-là, nous étions déployés depuis notre base d'attache à Niagara, au Canada, dans la région du Grand Canyon avec deux avions de voltige aérienne Extra 300L pour le tournage d'un film IMAX. À la fin du tournage (le bouclage) en mai de cette année, mon partenaire en affaires et moi-même avons décidé de demeurer sur place à Page (Arizona) où nous pourrions nous concentrer sur nos exercices en vue de la prochaine saison de spectacles aériens sans être distraits par nos affaires à Niagara.

Cela faisait six semaines que nous étions là; nous étions bien familiers et « à l'aise » avec les conditions locales, l'aérodrome et les environs. Ai-je bien dit « à l'aise »? Notre premier spectacle aurait lieu dans deux semaines seulement, et il nous restait une tonne de travail à abattre en préparation de la saison avant de « revenir précipitamment » dans le nord-est jusqu'en Ontario. Ai-je bien dit « revenir précipitamment »?

Nos deux avions performants Extra 300L nous allaient comme un gant : je pouvais faire tout ce que je voulais dans cet avion! Absolument tout!

C'est avec beaucoup de fierté que nous exécutions des passages croisés précis qui semblaient défier la mort, et que nous occupions le devant de la scène pendant les 10 minutes de notre présentation. Cette journée-là, j'ajoutais une nouvelle manœuvre qui nécessiterait un passage croisé alors que les deux avions effectuaient des lomcevaks, l'ailier (moi-même) maintenant la manœuvre un tout petit peu plus longtemps qu'en temps normal afin de permettre un rassemblement diamétral rapide, juste à temps pour revenir au centre de l'aire de présentation afin d'exécuter la figure du « cœur dans le ciel ». Eh oui, une autre manœuvre légèrement empruntée aux Snowbirds!

L'après-midi était magnifique en Arizona : temps superbe, température avoisinant les 100 degrés et altitude-densité bien au-dessus de 5000 pieds! Nous avons commencé la répétition de notre programme complet sous les yeux de notre entraîneur au sol qui nous guidait aussi au moyen d'une radio portative. Tout était parfaitement normal, sauf pour le prochain segment que j'allais corser un peu plus en « ajoutant une manœuvre »!

Nous avons effectué des repositionnements en exécutant des demi-huits cubains inversés à 6000 pieds l'un de l'autre, puis nous avons

pointé nos appareils vers le centre de l'aire de présentation en nous rapprochant l'un de l'autre à une vitesse de 300 mi/h. « Leader, contact », « Deux, contact », et le passage croisé commence. Un passage gauche sur gauche commence sans qu'il y ait de mouvement sur le pare-brise et avec un soupçon d'inclinaison latérale à droite (en touchant à peine à la pédale de droite), le mouvement de droite à gauche sur le pare-brise signifie que l'évitement se produira. Pour ce passage, le leader annonce « Pull » pour amorcer la montée à 45 degrés et juste au moment où nous allons nous croiser, nous exécutions simultanément des déclenchements — en fin de compte une manœuvre que les Snowbirds ne peuvent pas faire. Nous avons exécuté cette manœuvre des centaines de fois, et elle est pas mal spectaculaire. Mais aujourd'hui, en l'absence de la foule, j'ai décidé d'ajouter un autre  $\frac{3}{4}$  de tour pour accélérer le rassemblement, en le faisant suivre de la « boucle en cœur ». Pas d'exercice de cette figure sans un autre appareil à proximité immédiate. Pas d'exercice de cette figure à plus haute altitude juste au cas où les choses n'iraient pas comme prévu. Vous ai-je déjà dit que l'Extra 300L m'allait comme un gant, comme s'il faisait partie de moi-même? Vous ai-je déjà dit que je pouvais faire absolument tout à bord de cet avion?

Eh bien... si vous avez déjà entendu l'expression « hors de contrôle comme un bronco déchaîné »,



Photo: Cpl J.F. Lazé

vous pouvez la multiplier par 10! L'Extra ne s'est pas arrêté à ce  $\frac{3}{4}$  de tour additionnel et il a poursuivi les rotations, auxquelles j'ai finalement pu mettre fin au moyen de sollicitations musclées en contrant en direction et en tirant sur le manche. L'avion est sorti de ses culbutes en piqué sur le dos à 45 degrés, à 800 pi AGL, à pleine puissance, mais sans aucune vitesse.

Et maintenant, les premières bonnes nouvelles depuis les 15 dernières secondes. J'ai bien reconnu cette « assiette » en remontant dans le passé jusqu'à ma formation en cas d'assiettes inhabituelles à bord du CT114 Tutor, à Moose Jaw. Faisant appel à une procédure normalisée en cas d'assiette inhabituelle en piqué, j'ai rapidement mais méthodiquement :

- conservé la pleine puissance (j'aurais besoin de cette énergie bien assez tôt!);
- tiré moins de g en rendant la main;
- remis l'Extra 300L à l'endroit à l'horizon le plus proche plutôt que de terminer la manœuvre;
- rien fait, une fois mes ailes à l'horizontale! Si je tirais sur le manche sans disposer d'énergie, j'étais mort!
- à mesure que l'énergie augmentait (en fonction de l'énergie potentielle et de l'énergie cinétique), j'ai alors été en mesure de tirer doucement mais énergiquement de façon symétrique au-dessus de l'horizon et d'amorcer une montée... alors qu'il ne me restait plus que 50 pieds!

Mon entraîneur m'a demandé à la radio si j'avais besoin de me poser (de son point de vue, j'étais réellement disparu de l'autre côté de la mesa, et il a cru que je m'étais écrasé); j'ai répondu : « Négatif, au débriefage. Passons à la prochaine séquence ».

Nous avons terminé l'exercice et nous sommes posés pour un débriefage complet de toutes les manœuvres, y compris le damné « regroupement croisé en culbutes ». Nous savions tous les trois que je l'avais échappé belle et nous savions que les mesures de prévention dans une telle situation étaient coulées dans le béton depuis longtemps déjà. Le problème était que je savais tout cela, mais que j'avais quand même décidé que j'étais capable de me passer des nombreuses étapes de préparation menant à une nouvelle manœuvre, et j'avais failli y laisser ma peau.

Réfléchissant sur la situation, je peux facilement cerner quelques rappels ou leçons de base qui ont été renforcées cette journée-là :

1. Toujours adopter une approche méthodique et modulaire lorsqu'on exécute une nouvelle manœuvre ou tactique pour la première fois.
2. Exposer les procédures d'urgence et les techniques de rétablissement pour chaque mission : vous en aurez sans doute besoin un jour, et elles vous sauveront la vie!
3. Affaires et sécurité ne font pas bon ménage!
4. Si vous suivez le cours Stupidités de pilotage 101, pas sûr que vous obtiendrez votre diplôme.

5. La formation en cas d'assiettes inhabituelles : ça marche!
6. Si tout semble aller trop bien, soyez à l'affût!
7. Soyez à l'aise dans votre sommeil, pas aux commandes de votre avion!
8. Centralisez, analysez, réagissez au moyen de la procédure appropriée!



Photo: Cpl Eric Jacques

## Facteur humain – Capacités physiques et mentales

*La sous-catégorie Capacités physiques et mentales renvoie aux cas où les exigences de la tâche ou de la mission dépassent les capacités de la ou des personnes se livrant à cette activité. Cette situation peut être causée par des limites des capacités des êtres humains en général ou des limites des capacités de la ou des personnes en question. Si la tâche ou la mission dépasse les capacités des être humains en général, l'interface personne-machine ou la tâche elle-même doivent être revues. Si, par contre, la tâche ou la mission dépasse la capacité de la ou des personnes en question, il faudrait peut-être revoir la norme de recrutement ou de sélection, la formation ou procéder à une réaffectation. Cette sous-catégorie comprend les aptitudes ou d'autres caractéristiques physiques sur lesquelles la ou les personnes en question n'ont pas beaucoup de prise. Cette situation peut survenir, par exemple, lorsqu'un pilote ne peut atteindre les pédales de direction de l'aéronef parce que ses jambes sont trop courtes. Elle comprend aussi les questions de qualification et de formation pour lesquelles des mesures correctives pourraient être possibles. De plus, cette situation peut se produire lorsqu'un préposé à la maintenance manque de compétence face à la tâche qu'il est en train d'exécuter.*

## Leçon sur l'instinct

**par le Capitaine David Schell, 2<sup>e</sup> École de pilotage des Forces canadiennes, Moose Jaw**

En tant que nouveau pilote et pilote instructeur débutant, je suis toujours à l'affût de nouvelles techniques afin d'améliorer mes compétences de pilotage et enseigner à mes élèves comment piloter efficacement et en toute sécurité.

Une des leçons que j'ai apprises en exerçant mes fonctions d'instructeur c'est que certaines choses que je fais d'instinct ne viennent pas nécessairement de manière instinctive aux nouveaux élèves-pilotes.

Récemment, j'ai effectué un vol préalable au vol en solo avec un élève-pilote dans le cadre d'une mission de vol à vue tôt le matin. Au cours de cette mission, nous devions mettre en pratique certaines manœuvres pour la première fois, dont l'atterrissage. La mission se déroulait normalement, et l'élève-pilote a réussi à faire un atterrissage sans que j'aie à trop intervenir. Ce jour là, un léger vent de travers soufflait sur la piste. Pendant la portion vent arrière du circuit, j'ai rappelé à l'élève-pilote la technique d'atterrissage par vent de travers, qui demande de manœuvrer la gouverne de direction et les ailerons. L'élève-pilote a accusé réception de mes indications et précisé qu'il utiliserait cette technique lors de l'atterrissage suivant.

L'approche suivante a été effectuée sans problème, et pendant que je suivais ce qui se passait aux commandes, j'ai remarqué que l'élève-pilote appliquait la technique correctement. Immédiatement après le toucher des roues, j'ai senti une légère traction provenant du côté face au vent de l'avion et entendu une légère détonation. J'ai pris les commandes de l'appareil et je me suis immédiatement rendu compte que nous avions une crevaillon. Nous avons poursuivi la course à l'atterrissage sans autre incident et convenu avec la tour de nous arrêter sur la voie de circulation, puis nous avons attendu l'arrivée des techniciens.

Pendant le débriefage, j'ai demandé à l'élève-pilote s'il avait serré les freins au moment de l'atterrissage. J'ai alors appris que l'élève-pilote volait les pieds entièrement posés sur les pédales de direction. Dans cette position, il est possible de serrer les freins par mégarde en manœuvrant la gouverne de direction. Si on place les talons au plancher, on peut manœuvrer la gouverne de direction sans risquer de serrer les freins. Pour exercer une pression de freinage, il faut appuyer sur le haut des pédales avec le bout des pieds.

L'élève-pilote a précisé qu'il avait effectué tous les vols précédents les pieds bien à plat sur les pédales. Je lui ai alors dit qu'il devait glisser les talons jusqu'au plancher après avoir desserré

les freins au moment du décollage et les laisser dans cette position jusqu'à la vérification des freins après l'arrêt complet.

J'ai appris que certaines choses pouvaient se faire purement par instinct, mais que d'autres devaient nous être enseignées. La connaissance d'une technique toute simple peut faire la différence entre un atterrissage sans histoire et un incident touchant la sécurité des vols et la perte de matériel. Maintenant, j'enseigne cette technique à mes élèves, en leur expliquant pourquoi, afin d'éviter que d'autres incidents semblables se produisent. De plus, cet incident m'a incité à réfléchir plus attentivement aux différentes choses que je fais « instinctivement » quand je vole, ce qui m'a permis de développer de nouvelles techniques d'instruction.



## Facteur humain – Environnement technologique

*L'environnement technologique renvoie à l'équipement utilisé pour effectuer une tâche ou une mission, ou à l'interaction d'une ou des personnes avec cet équipement. Cette sous-catégorie comprend l'utilisation par une ou des personnes d'un équipement inapproprié à la tâche ou à la mission, la non disponibilité du bon équipement pour faire le travail ou une interaction qui laisse à désirer entre la personne et l'équipement. Ces caractéristiques créent des circonstances dans lesquelles une ou des personnes sont forcées de « s'arranger », ce qui augmente le risque d'erreurs.*

### 5 secondes avant l'impact

**par le Capitaine Sheldon Tuttosi,  
410<sup>e</sup> Escadron d'entraînement  
opérationnel à l'appui tactique**

La journée avait commencé par un vol d'entraînement de routine pour appuyer quelques Starlifter des forces de l'air des États-Unis (USAF) qui s'étaient déployés à la 4<sup>e</sup> Escadre Cold Lake à l'occasion d'un exercice, comme c'était souvent le cas au 417<sup>e</sup> Escadron de soutien au combat. Toutefois, cette situation allait bientôt changer.

Notre rôle à l'escadron consistait à fournir un soutien au combat au moyen de nos vénérables avions T-33. Nous étions utilisés par les escadrons de chasse qui appelaient Cold Lake à leur retour, ainsi que par toute autre unité qui se déployait à la 4<sup>e</sup> Escadre Cold Lake et nécessitait un soutien. J'étais arrivé à l'escadron seulement deux mois auparavant et j'étais en train de terminer mon instruction de perfectionnement me permettant d'effectuer des sorties en solo. Cette journée-là, j'occupais la place arrière alors qu'un pilote qualifié de l'escadron était assis en place avant.

La mission était assez ordinaire, en ce que les Starlifter volaient sur une route à basse altitude et nous devions jouer le rôle de chasseurs rouges qui tentaient de se faufiler et de « descendre » les Starlifter. Cet exercice permettrait aux équipages de l'USAF de peaufiner leurs habiletés à la vigie et de s'exercer aux manœuvres d'évitement à basse altitude. Une des approches que nous aimions bien utiliser était de voler bas (200 pieds AGL) et vite (450 KIAS) pour tenter de faire le contact visuel avec les Starlifter d'assez

grande taille avant qu'ils nous voient. Une fois que nous avions le contact visuel avec eux et que nous nous étions rapprochés à une distance de quelques milles, nous remontions brusquement à 1000 pieds AGL pour commencer l'attaque.

Le T-Bird convenait parfaitement à ce type de mission parce que c'était un vieil appareil encore plein de ressources. Cependant, un certain nombre de points restaient à régler sur cet appareil. Comme cela c'était produit à l'occasion par le passé, après une averse, de l'eau avait tendance à s'accumuler dans le logement du manche pilote de l'avion, ce qui causait un court-circuit (et l'emballement) de la commande de compensation au moment le plus mal choisi. Cette situation s'était produite par le passé, et la solution était simple : le T-33 avait besoin d'un bouton d'isolation de la compensation, comme dans le Tutor. Cette solution n'avait toutefois pas encore été appliquée, malgré les grommellements des pilotes insistant sur la nécessité d'en avoir un. Mais je méloigne du sujet...

Cette journée-là, le temps était parfait, et nous n'avions pas eu de pluie depuis plusieurs jours; alors cette question était loin de nos préoccupations. Je venais de terminer un passage sur un des avions de l'USAF, et nous nous trouvions à 1000 pieds AGL lorsque j'ai senti le manche pilote me sortir brusquement des mains, et ma tête coincée contre le dessus de la verrière, alors que nous nous trouvions dans une demi-boucle inversée à -3 g en direction du sol. Ma première pensée a été : « Mais qu'est-ce qu'il fait en avant? Il n'a même pas demandé

les commandes. » Le pilote en place avant m'a dit plus tard qu'il avait eu la même pensée en se demandant ce que le nouveau en arrière faisait. Nous nous sommes bien vite rendu compte qu'il était arrivé quelque chose à l'avion, et nous avons tous deux agrippé le manche et tiré fortement vers l'arrière. Nous avons exécuté notre ressource à environ 100 pieds AGL. À ce moment, nous avons stoppé l'exercice et sommes retournés à la base.

L'enquête après l'incident a révélé qu'il y avait une petite quantité d'eau dans le logement du manche pilote, laquelle avait dû causer un court-circuit de la compensation en piqué. Un peu de calcul après l'événement a indiqué qu'à la vitesse à laquelle nous volions, une compensation complète en piqué s'était traduite par une force de plus de 80 lb à contrer au manche. De plus, à partir de 1000 pi AGL et à -3 g, nous aurions percuté le sol au bout de 5 secondes. Heureusement, nous avions tous deux eu la présence d'esprit (lire l'instinct de survie) d'agripper le manche et de tirer plutôt que d'essayer d'imaginer ce que l'autre faisait. Encore quelques secondes perdues à nous demander ce qui se passait, et nous aurions figuré dans les statistiques. Après quelques documents sur la sécurité des vols et l'enquête qui a suivi, un bouton d'isolation de la compensation a été monté sur l'avion. Après 45 ans de service du T-Bird, mieux vaut tard que jamais, n'est-ce pas?



## Facteur humain – Gestion des ressources

*Toutes les phases des opérations aériennes et de la maintenance nécessitent un esprit d'équipe efficace. Des équipes efficaces font appel aux connaissances, aux habiletés et aux capacités de tous leurs membres et tirent profit des bonnes interactions entre eux; des lacunes et des problèmes de communication, de coordination et de planification peuvent être néfastes à leur cohésion, compromettre leur rendement et nuire à la sécurité.*

### C'était un peu serré...

#### Auteur inconnu

Nous avons décollé dans une formation de deux hélicoptères Griffon. Nous utilisons des lunettes de vision nocturne (LVN) et étions déployés dans la région d'Ottawa en appui à un exercice. Notre tâche consistait en un rendez-vous avec des soldats dans une zone d'embarquement prédéterminée, à assister à un exposé, puis à amener les troupes à leur zone d'atterrissage souhaitée. Le commandant de notre détachement (cmdt Dét) avait effectué une reconnaissance de la zone d'atterrissage plus tôt pendant la semaine, et le seul risque connu provenait du souffle rotor sur un cimetière voisin. À la suite des exposés au sol à la zone d'embarquement, nous avons rapidement décollé pour nous rendre directement à la zone d'atterrissage. Nous étions le deuxième hélicoptère et avions un espacement d'environ deux minutes derrière l'hélicoptère de tête. Lorsque le Griffon de tête a appelé pour annoncer que la zone d'atterrissage était dégagée, il a précisé que nous devons nous attendre à ce que l'endroit exigü soit « *un peu serré* ». Le commandant de bord a alors décidé de prendre les commandes pour l'approche et l'atterrissage. Le cimetière a été repéré, et nous nous sommes déplacés bien en avant de notre descente. À titre de mécanicien de

bord de l'équipage, j'avais la responsabilité de guider l'hélicoptère en descente et vers la gauche pour donner à notre appareil un dégagement « très prudent » d'un demi-rotor. Le commandant de bord m'a informé qu'il y avait très peu de place permettant de se déplacer vers la gauche. Je ne croyais pas que c'était un problème puisque nous pouvions nous déplacer « à petits pas » et réévaluer le dégagement d'un demi-rotor en arrivant. Après le prochain palier vers le bas, nous nous sommes arrêtés de nouveau et avons réévalué la situation, et c'est à ce moment que j'ai décelé une dérive de l'hélicoptère vers l'arrière et la droite, suivie d'une dérive vers le bas. Nous dérivions rapidement dans les arbres. Dérive arrière, dérive à droite, dérive vers le bas... *montez... montez... montez*, ai-je répété avec hâte et dans un sentiment d'urgence. Notre commandant de bord a mis fin à la dérive et il se trouvait déjà en remise des gaz lorsque le pilote non aux commandes a annoncé « *couple excessif... 105* ». À ce moment, nous avons décidé d'annuler la mission et de ramener l'hélicoptère hors service à notre base de déploiement.

Nous avons fait notre travail, évité une collision et subi seulement un couple excessif nécessitant une inspection de précaution. Notre recours à une terminologie uniformisée et à la technique de gestion des ressources dans le poste de pilotage (CRM) avait donné des résultats et permis d'éviter ce qui aurait pu être un grave accident. Toutefois, en fin de compte, je ne me suis pas senti mieux et je me suis retrouvé à fouiller les tréfonds de mon âme à me demander ce que j'aurais pu faire de mieux. Dans ce processus, j'ai tiré plusieurs conclusions. Je connaissais les plus évidentes, mais plusieurs autres étaient en fait des facteurs insidieux qui avaient contribué à l'incident.

- **Repos** – même si nous avons bénéficié d'un repos suffisant, nous avons travaillé en fonction d'un horaire assez particulier de jours et de nuits pendant la semaine. J'étais debout le matin précédant la mission et j'ai été envoyé plus tard en repos après qu'on nous eut dit que nous volerions un peu plus de quatorze heures plus tard, tôt le lendemain. Même si je me sentais prêt à y aller, je savais que je n'étais pas totalement en pleine forme. À cause du mauvais temps, nous n'avions que très peu appuyé l'exercice pendant toute la semaine, et quant à moi, je ne voulais pas les « laisser tomber ».



- Attente – notre équipage s’attendait à un atterrissage très routinier et facile dans un endroit exigu. En outre, nous étions vraiment préoccupés par les dommages susceptibles d’être causés au cimetière situé à proximité de la zone d’atterrissage.
- Complaisance et excès de confiance en soi – Je totalisais plus de 1000 heures de vol, dont 175 avec LVN. J’avais exécuté des missions semblables à de nombreuses reprises par le passé, souvent dans des conditions autrement plus difficiles et rudes. Pour moi, ce n’était qu’une simple mission de routine pour l’insertion d’un seul soldat.
- Environnement – voler avec des LVN dans des conditions de mauvais éclairage.
- Procédures – le mécanicien de bord se place normalement du côté du pilote aux commandes pour la vigie. J’occupais cette position, mais lorsque le commandant de bord a pris les commandes pour exécuter l’approche dans la zone, je n’ai pu me replacer à cause de la présence des troupes dans la cabine. Je ne m’en étais pas aperçu avant que la séquence de pénétration dans l’endroit exigu soit bien entamée.
- Jugement – lorsque j’ai été confronté à un endroit exigu qui semblait plus difficile que je ne l’avais prévu à l’origine, j’aurais dû demander une remise des gaz et suggérer une reconnaissance approfondie de l’endroit exigu. Notre manuel de manœuvres standard contient une procédure de reconnaissance de zone exiguë, et j’aurais dû l’utiliser.

En fouillant dans moi-même, j’avais découvert de nombreux facteurs sous-jacents ayant contribué à cet incident de vol. Ils constituent ce que notre entraînement et notre instinct nous ont enseigné à éviter. C’est un certain nombre d’événements et de facteurs peu évidents qui mèneront à une situation qui pourrait vous embêter, ou pire, vous tuer!



## Facteur humain — Etat de préparation du personnel

*Dans tout milieu professionnel, la ou les personnes sont tenues de se présenter au travail prêtes à fonctionner au niveau optimal. C'est encore plus le cas en aviation. Si des habitudes ou des comportements personnels vont à l'encontre de cette exigence, alors c'est la présente sous-catégorie qu'il faut indiquer. Un manque de préparation du personnel peut se produire lorsque la ou les personnes négligent de se préparer physiquement et mentalement pour la tâche ou la mission qu'elles doivent exécuter, ce qui peut nuire à leur rendement, mener à des erreurs et nuire à la sécurité. Ce ne sont pas toutes les omissions de préparation du personnel qui sont attribuables au non-respect ou à la négligence des règles et des règlements. Même si certains comportements ou certaines conditions ne sont régis par aucune règle ou ne vont à l'encontre d'aucun règlement en vigueur, la ou les personnes doivent faire preuve de bon jugement lorsqu'elles décident si elles sont « prêtes » à travailler. Une personne qui se présente au travail tout juste après avoir fait trop d'exercices (c.-à-d. déshydratée après une course de longue distance dans un environnement chaud et humide), une personne qui se présente au travail insuffisamment reposée, avec une gueule de bois (c.-à-d. sous l'influence des effets résiduels de l'alcool malgré une période d'abstinence conforme aux règlements) ou dont la vigilance est compromise (p.ex. à cause des effets directs, secondaires ou résiduels de drogues ou de médicaments) constituent des exemples de cette sous-catégorie. Cette personne ou ces personnes ne sont pas prêtes à fonctionner efficacement et à un niveau optimal en milieu de travail.*

## Je peux passer au travers!

**par le Lieutenant Commander Coupe,  
US Navy**

*Cet article est reproduit avec l'aimable permission du magazine « Approach »*

Avez-vous déjà eu un rhume et vous êtes-vous déjà senti obligé de voler en vous disant : « Je peux passer au travers »? Je volais dans la dernière phase d'exercices lorsque je me suis senti tout à coup épuisé. Je souffrais des symptômes caractéristiques du rhume : nez bouché, mal de tête, fatigue et frissons. Je me suis retiré du calendrier de vol, ne me suis pas préoccupé des commentaires sarcastiques de l'officier des opérations (O Op), ai pris des médicaments et suis retourné me coucher. Je me sentais beaucoup mieux le lendemain, les symptômes du rhume avaient disparu, sauf pour un nez qui coulait. Je pouvais facilement me déboucher les oreilles, et j'ai dit à l'O Op de me remettre sur le calendrier de vol.

Notre exposé a eu lieu à 3 h le lendemain, le premier jour de la guerre d'exercice. Le commandant m'a demandé si j'étais vraiment suffisamment bien remis pour voler, et je lui ai répondu que j'allais bien et de ne pas s'en faire. Nous avons décollé à 5 h. J'ai éternué et me suis

mouché à quelques reprises pendant la montée initiale et la mission. Lors de la descente initiale pour notre approche, j'ai senti de la pression dans mes oreilles et je les ai débouchées au moyen de la manœuvre de Valsalva. Un peu plus loin dans la descente, la pression est revenue fortement. Même manœuvre pour déboucher mes oreilles, mais la pression sur mon front a continué à s'intensifier. À peu près à 5000 pieds, la douleur est devenue intolérable au point de recroqueviller mes orteils tant elle était aiguë et intense, un peu comme si on me plantait une aiguille entre les deux yeux.

La personne à côté de moi m'a demandé si j'allais bien; c'est à peine si j'ai pu lui répondre. Le pilote s'est mis en palier et, après quelques instants, la pression s'est suffisamment atténuée pour que je puisse poursuivre la mission. Je lui ai dit que j'étais suffisamment bien pour pousser jusqu'à l'approche. À environ 2000 pieds plus loin, la douleur intolérable était de retour, mais je n'ai rien dit. Tout ce que je voulais, c'était d'atterrir et de mettre fin à cette séance de torture.

La douleur aux sinus a brusquement disparu au toucher des roues, à mon grand soulagement. Par contre, je souffrais maintenant d'un lancinant mal de tête. Dans la salle d'attente des équipages,

j'ai raconté ma mésaventure pendant l'exposé après vol, peu conscient des reproches que j'étais sur le point de recevoir : mon patron n'était vraiment pas content. Il m'a ordonné de voir le médecin de l'air. J'ai quitté la salle en me traînant les pieds et avec un sentiment d'impuissance.

L'examen approfondi comprenait une radiographie des sinus, laquelle a révélé que mes sinus frontaux étaient déchirés. Voilà ce qui expliquait pourquoi la pression avait cessé, mais j'en avais été quitte pour un mal de tête. J'ai été cloué au sol pendant trente jours, affecté au « fauteuil de guérison » (officier de service durant le quart de nuit), interdit de retour à la maison sur C-9 ou vol commercial, et avisé de ne pas conduire ni prendre le bus dans les Rocheuses.

Je suis arrivé à Mayport deux semaines plus tard. Ma conjointe en fin de grossesse se trouvait à Whidbey Island, et Noël était dans cinq jours. Comment allais-je pouvoir me rendre à la maison? Quelques heures plus tard, je me suis retrouvé dans un taxi en direction d'une gare AMTRAK pour un périple d'un océan à l'autre en classe touriste, et non en wagon-lit. Les trois prochaines journées m'ont donné amplement le temps de déterminer s'il valait vraiment la peine d'endurer « pour passer au travers ».



Photo : Cpl Eric Jacques

## Facteur humain – Supervision

*Les superviseurs influencent les conditions et les pratiques des individus ainsi que le type d'environnement dans lequel ils travaillent. La supervision est un facteur dans un événement si les méthodes, les décisions ou les politiques de la chaîne de commandement de supervision influencent directement les pratiques, les conditions ou les actions des individus ou leurs conditions de travail et se traduisent par des erreurs humaines ou des situations dangereuses.*

*Des facteurs Supervision font souvent partie de la chaîne des événements liés à la cause d'un événement. Comme conditions latentes, ces facteurs découverts dans la chaîne de supervision immédiate de l'individu ou des individus ne sont pas considérés comme étant la cause directe de l'événement. Toutefois, même s'ils peuvent être dormants ou non décelés pendant un certain temps, ils peuvent contribuer à la séquence finale des événements auxquels ils sont associés en les prédisposant à se produire. En ce sens, des actes dangereux peuvent être « mis en place » par des facteurs Supervision. Les facteurs Supervision se subdivisent en Niveau de supervision, Activité prévue, Correction de problèmes et Dérogations aux règles.*

## J'ai les commandes!

**par le Capitaine Jillian Bristow,  
430<sup>e</sup> Escadron tactique  
d'hélicoptères, Valcartier**

Comme nouvelle élève-pilote aux commandes du nouvel avion d'entraînement évolué du Canada, le CT156 Harvard, je me préparais à mon premier vol en solo. Le vol consistait à quitter l'environnement d'entraînement de Moose Jaw afin d'effectuer un certain nombre de circuits à l'aéroport international de Regina, situé non loin de là. Comme j'avais déjà une certaine expérience du pilotage, j'étais sûr que ce vol se déroulerait sans problème.

La première moitié du vol était standard, et nous nous sommes rendus à notre zone d'entraînement pour exécuter quelques figures de voltige de base et une séquence de décrochages en vol lent. Pendant le rétablissement du vol lent, j'ai mis pleine puissance, réglé les volets en position médiane afin de laisser l'avion accélérer avant de les rentrer complètement. Pendant cette transition, mon instructeur a annoncé de la place arrière qu'il avait les commandes et qu'il s'occupait à tirer moins de g pour permettre à l'avion de continuer à accélérer. À ce moment, croyant qu'il avait les commandes de l'avion, j'ai regardé par la verrière pour contempler le paysage, une des rares occasions qui s'offrent à l'élève-pilote d'admirer la vue. Comme nous accélérions vers une altitude VFR appropriée, nous ne pouvions faire accélérer l'avion à plus de 248 noeuds, ce qui est inhabituel pour l'avion Harvard II.

C'est à ce moment que nous avons découvert que les volets avaient été laissés sortis pour les manœuvres précédentes et qu'ils avaient été soumis à une vitesse excessive de 100 noeuds supérieure à celle autorisée, puisque la vitesse maximale de manœuvre du train d'atterrissage et des volets du Harvard II est de 148 noeuds. Nous avons rentré les volets et nous sommes dirigés vers Regina pour exécuter des dégagements à l'horizontale et des posés-décollés. Nous avons discuté comme équipage des conséquences possibles que cette survitesse pouvait avoir sur l'avion et nous sommes revenus à la base en exécutant une approche directe et un atterrissage suivi d'un arrêt complet à Moose Jaw. Au toucher des roues, le voyant de l'aérofrein s'est allumé pour indiquer que celui-ci était au moins partiellement déployé. Mon instructeur a déployé complètement, puis a rentré l'aérofrein à un certain nombre de reprises sans que cela ne change quoi que ce soit.

Nous avons appelé nos Opérations et l'équipe de maintenance pour les informer du problème, et ils nous ont dit d'arrêter complètement l'avion et que ce dernier pourrait être inspecté une fois l'hélice complètement immobilisée. Comme nous marchions le long du côté droit du fuselage, quelques techniciens regardaient le fuselage avec surprise. Nous avons découvert que le panneau hydraulique s'était ouvert de quelque façon et qu'il avait été écrasé par l'aérofrein lorsque ce dernier avait été déployé et rentré.

Après cette expérience, j'ai pu tirer des leçons de ce qui s'était passé. La première a trait à l'importance d'un transfert des commandes en bonne et due forme, en ce que l'élève-pilote et l'instructeur sont tous deux responsables de la configuration de l'avion. La deuxième m'a appris qu'une fois une limite dépassée sur un avion, ce dernier devient inutilisable; par conséquent, poursuivre le vol à des fins d'entraînement n'était pas la bonne décision à prendre. Revenez à la base, assurez-vous que les techniciens inspectent l'avion et commencez à remplir le compte rendu d'événement lié à la sécurité des vols!



## Facteur humain – Influence de l'organisation

*De mauvaises décisions de la haute gestion, bien que de nature latente, peuvent avoir des conséquences directes sur l'organisation. De plus, elles peuvent avoir un effet néfaste direct sur les pratiques de supervision ou les conditions et les actions des individus. Bien que l'influence de l'organisation ait un effet direct sur les secteurs en question, on la considère comme un facteur latent indirect parce qu'elle n'a pas joué un rôle actif dans la condition ou l'acte qui est évalué. Ces défaillances latentes de l'organisation se subdivisent en trois catégories : Gestion des ressources de l'organisation, climat organisationnel et Processus de l'organisation.*

## Fromage suisse et sécurité des vols

**par le Capitaine Graeme Cook, 413<sup>e</sup>  
Escadron de transport et de sauvetage,  
Greenwood**

C'était une chaude matinée de décembre à Goose Bay lorsque mon équipage s'est réveillé dans un champ après un exercice de simulation de recherche et de sauvetage (SAR), le jour et la nuit précédents. Sachant qu'un petit déjeuner chaud nous attendait à l'escadron, nous avons ramassé notre équipement et préparé notre appareil pour le court trajet de retour à l'aérodrome.

Le moteur numéro un a démarré normalement après utilisation de la procédure de démarrage par temps froid. Au démarrage du moteur numéro deux, le régime de ralenti était normal, et une procédure de démarrage par temps froid n'a pas été utilisée. Pour faire allusion à la fameuse analogie du fromage suisse en sécurité des vols, c'est à ce moment que les trous ont commencé à s'aligner. Mais examinons d'abord à quoi sert la procédure de démarrage par temps froid et les récentes modifications qui y ont été apportées.

La procédure de démarrage par temps froid prévient toute accélération intempestive du moteur que pourrait causer le blocage par le gel des conduites sous pression du régulateur de régime. La procédure permet de réchauffer le moteur, dont le régulateur de régime et les conduites sous pression, pour libérer toute obstruction.

La procédure a subi des modifications récemment, mais avant qu'elles soient mises en œuvre, trois paramètres régissaient le recours à la procédure : la température extérieure, la température de l'huile moteur et le régime de ralenti du moteur. En l'absence d'un des paramètres de la procédure, il n'était pas nécessaire d'utiliser celle-ci. Le matin en question, le régime de ralenti du moteur numéro deux était normal, ce qui a permis de ne pas utiliser la procédure de démarrage par temps froid.

Ce qui nous amène au prochain point relatif aux modifications apportées à la procédure de démarrage par temps froid. Un message avait été diffusé à l'échelle de la flotte en novembre 2006, qui modifiait la procédure en retirant le critère du régime de ralenti du moteur. Mon escadron n'avait pas mis en œuvre cette procédure, car la modification n'avait pas été « officiellement » reçue par les escadrons SAR. Aussi, le message avait été envoyé, mais il ne pouvait être lu par notre logiciel de base à la 5<sup>e</sup> Escadre Goose Bay.

Revenons à l'incident. Nous avons maintenant démarré les deux moteurs, et cela faisait quelques minutes que nous étions en train de vérifier les systèmes. Le commandant de bord se trouvait en place droite et il s'occupait de vérifier la compensation d'effort; j'étais assis en place gauche, la tête penchée sur le bloc de commande et d'affichage. Le moteur numéro deux avait déjà légèrement accéléré un peu plus tôt, mais il répondait bien aux sollicitations

de la poignée des gaz. Tout à coup, le moteur numéro deux a décidé qu'il était temps de décoller. Tout s'est déroulé très vite, le son était sans équivoque, et les trois membres d'équipage ont reconnu un cas de surrégime du régulateur. Avant que le moteur puisse être arrêté, les dommages étaient déjà faits. Il a fallu remplacer le moteur, la boîte de transmission transfert, la boîte de transmission, la chaîne dynamique, etsoumettre l'hélicoptère à une grande révision.

Le surrégime aurait-il pu être évité si nous avions utilisé la procédure de démarrage par temps froid? C'est possible. Aurions-nous coupé le moteur plus tôt si nous n'avions pas passé la nuit dans le champ et n'avions pas eu légèrement hâte de regagner notre base d'attache? Peut-être. Une chose est sûre : si nous avions reçu et utilisé la modification de la procédure, nous aurions pu désaligner certains de ces trous dans le fromage suisse et sans doute éviter des millions de dollars de dommages.

La sécurité des vols ne se passe pas seulement en vol, ni même au sol. Elle touche aussi la diffusion rapide d'une information succincte, des communications appropriées et la responsabilité des équipages navigants de se tenir à jour des progrès réalisés dans leur domaine.