

MANUEL D'INSTRUCTION SUR LES FACTEURS HUMAINS

PREMIÈRE ÉDITION — 1998



*Approuvé par le Secrétaire général
et publié sous son autorité*

ORGANISATION DE L'AVIATION CIVILE INTERNATIONALE

MANUEL D'INSTRUCTION SUR LES FACTEURS HUMAINS

Doc 9683-AN/950

PREMIÈRE ÉDITION — 1998



AVANT-PROPOS

La sécurité du système aéronautique civil est l'objectif primordial de l'Organisation de l'aviation civile internationale. Des progrès considérables ont déjà été accomplis, mais de nouvelles améliorations sont nécessaires et elles sont réalisables. On sait de longue date que quelque trois accidents sur quatre sont le résultat de performances humaines qui n'ont pas été optimales; on peut donc espérer que toute avancée dans ce domaine jouera un rôle important dans l'amélioration de la sécurité de vol.

C'est ce que l'Assemblée de l'OACI a reconnu lorsqu'elle a adopté en 1986 sa Résolution A26-9 sur la sécurité de vol et les facteurs humains. Pour donner suite à cette résolution de l'Assemblée, la Commission de navigation aérienne s'est fixé une tâche correspondante, dont l'objectif est énoncé comme suit:

«Améliorer la sécurité de l'aviation en faisant en sorte que les États soient plus conscients de l'importance des facteurs humains dans les opérations d'aviation civile et qu'ils y soient davantage sensibilisés; cela pourrait se faire en leur fournissant des textes et mesures pratiques concernant les facteurs humains, qui auront été élaborés sur la base de l'expérience acquise dans les États, ainsi qu'en élaborant et en recommandant des modifications appropriées des textes actuels des Annexes et des autres documents qui portent sur le rôle des facteurs humains dans les environnements opérationnels actuel et futur. L'accent sera mis en particulier sur les questions liées aux facteurs humains qui peuvent influencer la conception, l'introduction et l'utilisation en service des futurs systèmes CNS/ATM de l'OACI».

Une des méthodes choisies pour donner suite à la Résolution A26-9 de l'Assemblée a été la publication d'une série d'études traitant de différents aspects des facteurs humains et de leur influence sur la sécurité de vol, qui étaient destinées principalement à être utilisées par les États pour

sensibiliser davantage leur personnel à l'influence des performances humaines sur la sécurité.

Ces études étaient destinées aux cadres des administrations de l'aviation civile et des entreprises de transport aérien, et notamment aux responsables de l'exploitation et de la formation dans les compagnies aériennes. Elles s'adressaient également aux organismes de réglementation, aux organismes chargés de la sécurité et des enquêtes, aux établissements de formation, ainsi qu'aux cadres supérieurs et moyens des compagnies aériennes autres que ceux des services d'exploitation.

Le présent manuel est essentiellement une refonte de la série des études de l'OACI sur les facteurs humains. Destiné en particulier aux responsables de la formation, de l'exploitation et de la sécurité dans l'industrie du transport aérien et les organismes de réglementation, il est articulé en deux parties:

La *1^{re} Partie — Généralités* présente le concept des facteurs humains en aviation, propose une vision systématique et moderne de la sécurité de l'aviation, esquisse les principes de base de la conception du poste de travail et examine les questions fondamentales de facteurs humains dans différents domaines de l'aviation, y compris le contrôle de la circulation aérienne et la maintenance.

La *2^e Partie — Programmes d'instruction pour le personnel d'exploitation* donne un aperçu des questions d'instruction sur les facteurs humains et propose le contenu de programmes types pour les pilotes, les contrôleurs de la circulation aérienne et les enquêteurs sur les accidents.

Il est prévu que ce manuel sera tenu à jour. Il sera amendé périodiquement à mesure que l'on disposera des résultats de nouvelles recherches, pour tenir compte du développement des connaissances en matière d'instruction sur les facteurs humains pour le personnel d'exploitation.

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>		<i>Page</i>
1^{re} PARTIE. GÉNÉRALITÉS			
Chapitre premier. Notions fondamentales concernant les facteurs humains	1-1-1	4.3 Capacités humaines	1-4-4
1.1 Introduction	1-1-1	4.4 Traitement de l'information par l'être humain	1-4-8
1.2 Sens du terme «Facteurs humains»	1-1-1	4.5 Mensurations humaines	1-4-10
1.3 Nécessité de tenir compte des facteurs humains en aviation	1-1-5	4.6 Dispositifs de présentation d'information, commandes et aménagement du poste de pilotage	1-4-11
1.4 Applications des connaissances sur les facteurs humains dans l'exploitation aérienne	1-1-8	4.7 L'environnement	1-4-22
Liste de références	1-1-16	Liste de références	1-4-27
Chapitre 2. Facteurs humains, management et organisation	1-2-1	Chapitre 5. Les questions de facteurs humains dans le contrôle de la circulation aérienne	1-5-1
2.1 Introduction	1-2-1	5.1 Introduction	1-5-1
2.2 Des individus aux organisations	1-2-2	5.2 Les facteurs humains dans les systèmes	1-5-1
2.3 Organisations sûres et organisations peu sûres	1-2-6	5.3 L'automatisation dans le contrôle de la circulation aérienne	1-5-5
2.4 Affectation de ressources	1-2-11	5.4 La sélection et la formation des contrôleurs de la circulation aérienne	1-5-11
2.5 Contribution des instances de direction à la sécurité	1-2-15	5.5 L'élément humain — Attributs spécifiques	1-5-16
Chapitre 3. Questions de facteurs humains dans le développement et la mise en œuvre des systèmes de communications, navigation et surveillance/gestion du trafic aérien (CNS/ATM)	1-3-1	Liste de références	1-5-22
3.1 Introduction	1-3-1	Appendice au Chapitre 5	1-5-27
3.2 Le concept CNS/ATM de l'OACI	1-3-3	Chapitre 6. Les facteurs humains dans la maintenance et l'inspection des aéronefs	1-6-1
3.3 Automatisation dans les systèmes aéronautiques avancés	1-3-6	6.1 Introduction	1-6-1
3.4 Technologie centrée sur l'humain	1-3-12	6.2 Les facteurs humains dans la maintenance et l'inspection des aéronefs	1-6-2
3.5 Principes d'une automatisation axée sur l'élément humain	1-3-14	6.3 L'erreur humaine dans la maintenance et l'inspection des aéronefs: perspective organisationnelle	1-6-3
3.6 Qualités d'une automatisation axée sur l'élément humain	1-3-18	6.4 Questions de facteurs humains influant sur la maintenance des aéronefs	1-6-9
Liste de références	1-3-23	6.5 Équipes et questions d'organisation dans la maintenance des aéronefs	1-6-15
Chapitre 4. Ergonomie	1-4-1	6.6 Automatisation et systèmes de technologie avancée	1-6-18
4.1 Introduction	1-4-1	6.7 Prévention de l'erreur: considérations et stratégies	1-6-20
4.2 Notions fondamentales d'ergonomie	1-4-1	Liste de références	1-6-23

	<i>Page</i>		<i>Page</i>
2^e PARTIE. PROGRAMMES D'INSTRUCTION POUR LE PERSONNEL D'EXPLOITATION			
Chapitre premier. Programmes d'instruction de base sur les performances humaines pour le personnel d'exploitation	2-1-1		
1.1 Introduction	2-1-1		
1.2 Instruction sur les facteurs humains pour les personnels d'exploitation: introduction et vue d'ensemble	2-1-2		
1.3 Situation antérieure	2-1-2		
1.4 Notions de base relatives aux facteurs humains	2-1-3		
1.5 Le modèle SHELL	2-1-5		
1.6 Incidences des dispositions de l'Annexe 1 et de l'Annexe 6, 1 ^{re} Partie	2-1-5		
1.7 Programmes d'instruction sur les performances humaines: proposition de l'OACI	2-1-6		
1.8 Programmes d'instruction sur les performances humaines pour les pilotes ...	2-1-7		
1.9 Habiletés requises	2-1-9		
1.10 Programmes d'instruction sur les performances humaines pour les contrôleurs de la circulation aérienne	2-1-10		
1.11 Instruction sur les performances humaines pour les techniciens de maintenance ...	2-1-13		
1.12 Considérations relatives à la mise en oeuvre de l'instruction et à la conception des programmes	2-1-13		
1.13 Philosophie et objectifs de l'instruction ..	2-1-14		
1.14 Acquisition d'habiletés, évaluation du personnel d'exploitation et évaluation des cours	2-1-16		
1.15 Programme d'instruction en performance humaine pour les techniciens/mécaniciens de maintenance d'aéronef	2-1-16		
Appendice 1 au Chapitre premier	2-1-21		
Appendice 2 au Chapitre premier	2-1-23		
Appendice 3 au Chapitre premier	2-1-27		
Chapitre 2. Formation à la gestion des ressources en équipe dans le poste de pilotage (CRM)	2-2-1		
2.1 Introduction	2-2-1		
2.2 Formation à la gestion des ressources en équipe dans le poste de pilotage (CRM) ...	2-2-1		
		2.3 Formation en gestion de menaces et d'erreurs (TEM)	2-2-7
		2.4 Guide d'intégration de la TEM à la CRM	2-2-12
		2.5 Entraînement type vol de ligne (LOFT) ..	2-2-19
		Liste d'ouvrages recommandés	2-2-27
		Chapitre 3. Questions de formation en rapport avec l'automatisation et les postes de pilotage de technologie avancée	2-3-1
		3.1 Introduction	2-3-1
		3.2 Introduction à l'automatisation	2-3-1
		3.3 Questions et préoccupations relatives à l'automatisation	2-3-6
		3.4 Formation en rapport avec l'automatisation	2-3-14
		3.5 Techniques et stratégies de la direction de l'exploitation	2-3-18
		Liste de références	2-3-21
		Appendice 1 au Chapitre 3	2-3-23
		Appendice 2 au Chapitre 3	2-3-28
		Appendice 3 au Chapitre 3	2-3-30
		Chapitre 4. Instruction sur les facteurs humains pour les enquêteurs de la sécurité aérienne	2-4-1
		4.1 Introduction	2-4-1
		4.2 Nécessité et objet des investigations techniques sur les facteurs humains	2-4-2
		4.3 Conduite de l'enquête	2-4-10
		4.4 Rapport d'enquête et mesures de prévention	2-4-19
		Appendice 1 au Chapitre 4	2-4-27
		Appendice 2 au Chapitre 4	2-4-35
		Appendice 3 au Chapitre 4	2-4-39
		Appendice 4 au Chapitre 4	2-4-42
		Appendice 5 au Chapitre 4	2-4-44
		Notes	

1^{re} PARTIE

GÉNÉRALITÉS

CHAPITRE PREMIER

NOTIONS FONDAMENTALES CONCERNANT LES FACTEURS HUMAINS

1.1 INTRODUCTION

1.1.1 Dans la majorité des accidents d'aviation, la performance humaine est mise en cause. Si l'on veut que le taux d'accidents diminue, il est nécessaire de mieux comprendre le problème des facteurs humains en aviation et d'appliquer cette connaissance plus largement, d'une façon proactive. On entend par là que les connaissances sur les facteurs humains devraient être appliquées et intégrées aux stades de conception et de certification des systèmes, ainsi qu'au cours du processus de certification du personnel d'exploitation, avant que les systèmes et les gens ne deviennent opérationnels. Une plus large prise de conscience de leur rôle est pour la communauté internationale de l'aviation la plus grande chance de rendre l'aviation à la fois plus sûre et plus efficace. L'objet du présent chapitre est de donner une vue d'ensemble des divers éléments constitutifs des facteurs humains et d'éclaircir le sens de cette expression.

1.1.2 Depuis que les humains ont commencé à fabriquer des outils, il y a quelques milliers d'années, ils ont toujours appliqué des principes élémentaires d'ergonomie pour améliorer l'efficacité de leur travail. Mais c'est seulement au cours du dernier siècle qu'a commencé l'évolution moderne de l'ergonomie vers les facteurs humains.

1.1.3 La nécessité d'optimiser la production des usines et d'affecter plus efficacement des milliers de recrues aux tâches militaires pendant la première guerre mondiale, puis pendant la seconde guerre mondiale le fait que la complexité du matériel dépassait les capacités humaines de l'utiliser avec le maximum d'efficacité, ont stimulé les recherches sur les facteurs humains. On a commencé aussi à aborder plus scientifiquement la sélection et la formation du personnel. Il serait cependant possible de soutenir que l'intérêt renouvelé pour la contribution de l'étude des facteurs humains à la sécurité de l'aviation a été une réaction aux limitations technologiques qui existaient à l'époque. C'est ainsi que les possibilités humaines ont été portées à leur maximum par l'application des connaissances acquises dans ce domaine, parfois au prix d'une méconnaissance des limites de l'être humain.

1.1.4 Avec la fondation d'organisations telles que l'Ergonomics Research Society en 1949, la Human Factors Society (maintenant Human Factors and Ergonomics Society) en 1957 et l'Association internationale d'ergonomie (IEA) en 1959, l'étude des facteurs humains s'est institutionnalisée.

1.1.5 La reconnaissance générale de la nécessité d'une éducation fondamentale sur les facteurs humains à tous les niveaux de l'industrie de l'aviation a conduit dans différents pays à différentes approches d'une instruction structurée dans ce domaine. Tragiquement renforcée par les enquêtes sur plusieurs accidents quasi entièrement imputables à des carences en la matière, elle a conduit l'OACI à introduire dans les spécifications de l'Annexe 1 (1989) et de l'Annexe 6 (1995) traitant de la formation et de la délivrance des licences, ainsi que dans le processus d'enquête sur les accidents que prévoit l'Annexe 13 (1994), des exigences d'instruction sur les facteurs humains.

1.1.6 L'accord intervenu en 1976 entre la Federal Aviation Administration (FAA) et la National Aeronautics and Space Administration (NASA) des États-Unis pour instituer un système de communication de comptes rendus volontaire, confidentiel et n'entraînant pas de sanctions, l'Aviation Safety Reporting System (ASRS), a constitué une reconnaissance officielle du fait que la meilleure façon d'obtenir des informations adéquates pour l'analyse du comportement humain et des erreurs dans la performance humaine est d'écarter toute menace de sanctions contre l'auteur du compte rendu. Des systèmes analogues ont été introduits par la suite au Royaume-Uni (CHIRP), au Canada (CASRP) et en Australie (CAIR).

1.1.7 Le présent chapitre porte sur:

- 1) le sens et la définition du terme «facteurs humains», avec un modèle conceptuel et une clarification d'idées fausses fort répandues ;
- 2) la nécessité de tenir compte des facteurs humains en aviation;
- 3) un bref aperçu de l'application des connaissances sur les facteurs humains dans l'exploitation des vols.

1.2 SENS DU TERME «FACTEURS HUMAINS»

1.2.1 Il est nécessaire de définir clairement le terme «facteurs humains»; en effet, lorsque ces mots sont employés dans le langage courant ils sont souvent appliqués à n'importe quel facteur en rapport avec l'être humain. L'élément humain est la partie la plus souple, la plus adaptable et la plus précieuse du système aéronautique, mais c'est aussi le plus

vulnérable à des influences qui peuvent compromettre ses performances. Au fil des ans, quelque trois accidents sur quatre ont été reliés à une performance humaine non optimale, classée sous l'appellation commune d'erreur humaine.

1.2.2 Or, le terme «erreur humaine» n'est d'aucune utilité pour la prévention des accidents; s'il peut indiquer OÙ se produit une rupture dans le système, il ne fournit par contre aucune indication sur le POURQUOI. Une erreur attribuée aux intervenants humains dans le système peut aussi bien provenir de la conception de celui-ci qu'être induite par une formation inadéquate, des procédures mal conçues ou des déficiences dans le contenu ou la présentation des listes de vérification ou des manuels. De plus, le terme «erreur humaine» permet de masquer les facteurs sous-jacents qu'il faut mettre en évidence si l'on veut prévenir les accidents. En fait, la pensée contemporaine en matière de sécurité soutient que, dans les investigations techniques sur les accidents et dans la prévention, l'erreur humaine devrait être le point de départ plutôt que la ligne d'arrivée.

1.2.3 L'approche axée sur les facteurs humains se préoccupe essentiellement de la compréhension des possibilités et des limites humaines prévisibles et de son application. Elle s'est progressivement développée, affinée et institutionnalisée depuis la fin du siècle dernier et s'appuie maintenant sur un vaste bagage de connaissances, que peuvent utiliser tous ceux qui s'occupent d'améliorer la sécurité du système complexe qu'est l'aviation civile moderne. Les formules de rechange «aspects humains» ou «éléments humains» qui sont employées couramment peuvent être utiles pour éviter l'ambiguïté et faciliter la compréhension.

Disciplines intervenant dans l'étude des facteurs humains

1.2.4 Initialement, beaucoup des préoccupations que suscitait l'aviation concernaient les effets exercés sur les êtres humains par le bruit, les vibrations, la chaleur, le froid et les forces d'accélération. En général, la première personne ayant des connaissances en physiologie que l'on avait sous la main pour émettre un avis à ce sujet était un médecin; c'est sans doute ce qui a entraîné un des malentendus les plus persistants à propos des facteurs humains: l'idée qu'il s'agissait en quelque sorte d'une branche de la médecine. Mais les travaux sur les aspects plus cognitifs des tâches aéronautiques ont proliféré depuis un demi-siècle et ils se situent en dehors du domaine de la médecine. L'optimisation du rôle des êtres humains dans ce milieu de travail complexe fait intervenir tous les aspects de la performance humaine: prise de décision et autres processus cognitifs, conception d'affichages et de commandes, agencement du poste de pilotage et de la cabine, communications et logiciels, cartes aéronautiques et documents tels que les manuels d'exploitation des aéronefs, listes de vérification, etc. Les connaissances sur les facteurs humains sont aussi de plus en plus employées dans la sélection, la formation et l'inspection du personnel, ainsi que dans la prévention et dans les investigations techniques sur les accidents.

1.2.5 L'étude des facteurs humains est multidisciplinaire par nature. Elle fait appel, par exemple, à la psychologie pour comprendre comment l'être humain traite l'information et prend des décisions. La psychologie et la physiologie aident à comprendre les processus sensoriels comme moyens de capter et de transmettre l'information sur notre environnement. L'anthropométrie et la biomécanique apportent des renseignements sur les mensurations et les mouvements du corps, qui sont essentiels pour optimiser la conception et l'agencement des commandes et certaines autres caractéristiques des lieux de travail que sont le poste de pilotage et la cabine. La biologie, avec une sous-discipline qui prend de plus en plus d'importance, la chronobiologie, aide à comprendre la nature des rythmes biologiques et du sommeil, ainsi que leurs effets lors du vol de nuit et du franchissement des fuseaux horaires. On ne pourrait analyser ou présenter les données en enquêtes ou des études sans posséder des notions fondamentales de statistique. En utilisant ces sources scientifiques d'information, l'approche axée sur les facteurs humains vise essentiellement à résoudre des problèmes pratiques du monde réel. De nature pragmatique, elle est davantage orientée vers les problèmes que centrée sur la discipline.

1.2.6 Étudier les facteurs humains, c'est s'intéresser aux êtres humains dans leurs situations de vie personnelle et de travail, à leurs relations avec les machines, les procédures et le milieu environnant, ainsi qu'à leurs relations avec autrui. Selon la définition que propose le Professeur Edwards, «l'approche axée sur les facteurs humains vise à optimiser les rapports entre les humains et leurs activités, par l'application systématique de sciences humaines, intégrée dans le cadre de l'ingénierie des systèmes». Ses objectifs sont à la fois l'efficacité du système, qui comprend sa sécurité et son efficacité, et le bien-être de l'individu. Le Professeur Edwards précise que le terme «activités» indique que l'on s'intéressera aux communications entre individus et au comportement des individus et des groupes; cela a été étendu récemment pour inclure les interactions des individus et des groupes avec les organisations auxquelles ils appartiennent, ainsi que les interactions entre les organisations qui constituent le système aéronautique. Les sciences humaines étudient la structure et la nature des êtres humains, leurs possibilités et leurs limites, leur comportement isolément et en groupe. L'idée d'une intégration dans le cadre de l'ingénierie des systèmes signifie que le praticien des facteurs humains cherche à comprendre les objectifs et les méthodes aussi bien que les difficultés et les contraintes sous lesquelles les humains qui travaillent dans des domaines interdépendants de l'ingénierie doivent prendre des décisions. Dans la perspective des facteurs humains, ces informations seront utilisées en fonction de leur pertinence à l'égard des problèmes pratiques.

1.2.7 Le terme «ergonomie» vient des mots grecs «ergon» (travail) et «nomos» (loi naturelle). On le définit comme «l'étude scientifique de l'efficacité des personnes dans leur milieu de travail». Dans certains pays, ce terme est appliqué strictement à l'étude des questions de conception des systèmes homme-machine. Le Chapitre 4 traite de l'ergonomie.

Modèle conceptuel des facteurs humains

1.2.8 L'emploi d'un modèle est utile pour aider à comprendre la notion de facteurs humains, car il permet de parvenir progressivement à la compréhension. Un schéma qui illustre ce modèle conceptuel utilise des cubes pour représenter les différents éléments qui interviennent. En construisant le modèle cube par cube, on perçoit visuellement la nécessité d'une bonne concordance des éléments. Le modèle SHEL, ainsi appelé d'après les initiales de ses éléments — Software, Hardware, Environment, Liveware — fut initialement élaboré par Edwards en 1972; un schéma modifié illustrant ce modèle a été proposé en 1975 par Hawkins. Les interprétations suggérées sont: Liveware = humain; Hardware = matériel, machine; Software = documentation/aides (procédures, symboles, etc.); Environment = situation dans laquelle le système L-H-S doit fonctionner. Comme il s'agit seulement d'aider à comprendre les facteurs humains, ce modèle ne

comprend pas les interfaces où ceux-ci n'interviennent pas (matériel-matériel, matériel-environnement, documentation-matériel).

1.2.9 L'être humain. Au centre du modèle se trouve une personne, l'élément le plus critique du système tout en étant le plus souple. L'être humain est sujet à de considérables variations de ses performances et souffre de nombreuses limitations, dont la plupart sont maintenant prévisibles en termes généraux; les bords de ce cube ne sont pas simples et rectilignes; il faudra veiller soigneusement à ce que les autres éléments du système leur soient soigneusement adaptés si l'on veut éviter des tensions dans le système, et à la longue une rupture.

1.2.10 Pour assurer cette harmonisation, il est indispensable de bien comprendre les caractéristiques de cet élément central. Certaines des plus importantes sont les suivantes:



S = Software = Documentation (procédures, symboles, logiciels, etc.)

H = Hardware = Matériel

E = Environnement

L = Liveware = Être humain

Dans ce modèle, une bonne concordance entre les cubes (interface) est tout aussi importante que les caractéristiques des cubes eux-mêmes. Une inadéquation peut être source d'erreur humaine.

- a) Mensurations et morphologie. Les mensurations et les mouvements du corps humain, qui varient selon l'âge, le groupe ethnique et le sexe, jouent un rôle capital dans la conception de tout poste de travail et de la plupart des équipements. Des décisions sont à prendre à un stade précoce du processus de conception et elles doivent s'appuyer sur les données apportées par l'anthropométrie et la biomécanique.
- b) Besoins physiques. La physiologie et la biologie fournissent les indications nécessaires sur les besoins humains en aliments, en eau et en oxygène.
- c) Caractéristiques des intrants. Les humains sont pourvus d'un système sensoriel qui recueille des renseignements sur le monde environnant, ce qui leur permet de réagir aux événements extérieurs et d'accomplir leurs tâches. Mais tous les sens sont sujets à des dégradations, pour des raisons diverses, et les sources de connaissances sont ici la physiologie, la psychologie et la biologie.
- d) Traitement de l'information. Dans ce domaine, les possibilités humaines ont des limites strictes. Si un instrument ou un système avertisseur n'est pas bien conçu, c'est souvent parce qu'il n'a pas été tenu compte des possibilités et des limites du système humain de traitement de l'information. Il s'agit ici de la mémoire à court et à long terme, ainsi que de la motivation et du stress. La psychologie est ici la source des connaissances de base.
- e) Caractéristiques des extrants. Une fois l'information captée et traitée, des messages sont envoyés aux muscles pour que ceux-ci déclenchent la réaction voulue, que ce soit un mouvement physique de commande ou l'établissement d'une certaine forme de communication. Il faut connaître les forces de commande et la direction du mouvement qui sont acceptables, connaissance que fournissent la biomécanique, la physiologie et la psychologie.
- f) Tolérances à l'environnement. La température, la pression, l'humidité, le bruit, l'heure de la journée, la lumière et l'obscurité peuvent avoir des effets sur les performances ainsi que sur le bien-être. On peut également s'attendre à ce que l'altitude, les lieux confinés, ou encore un milieu de travail ennuyeux ou stressant, influencent les performances. Les informations sont ici fournies par la physiologie, la biologie et la psychologie.

L'humain est au centre du modèle SHELL des facteurs humains. Les autres éléments devront être adaptés et harmonisés à cet élément central.

1.2.11 Humain-Matériel. Cette interface est celle qui est le plus souvent envisagée lorsqu'on parle des systèmes homme-machine: conception de sièges adaptés aux caractéristiques du corps humain en position assise, d'affichages

répondant aux caractéristiques sensorielles de l'utilisateur et à ses possibilités de traitement de l'information, de commandes bien étudiées en ce qui concerne les mouvements à faire, le codage et l'emplacement. L'utilisateur n'aura peut-être jamais conscience d'une déficience de l'interface L-H, même si elle aboutit à une catastrophe; en effet, la caractéristique naturelle d'adaptabilité de l'être humain lui masquera une déficience à ce niveau, mais sans en supprimer l'existence. Il y a là un risque dont les concepteurs devraient être avertis. Avec l'avènement des ordinateurs et des systèmes automatisés évolués, cette interface s'est repositionnée à l'avant-plan des travaux sur les facteurs humains.

1.2.12 Humain-Documentation. Il s'agit de l'interface entre l'humain et les aspects non physiques du système: procédures, présentation des manuels et des listes de vérification, symboles, logiciels. Les problèmes à cette interface sont mis en relief dans les comptes rendus d'accidents, mais ils sont souvent difficiles à observer et sont donc plus difficiles à résoudre (par exemple, erreurs d'interprétation de listes de vérification ou de symboles, procédures non respectées, etc.).

1.2.13 Humain-Environnement. En aviation, cette interface a été la première à retenir l'attention. À l'origine, les mesures prises visaient toutes à adapter l'être humain à l'environnement (casque, combinaison de vol, masque à oxygène, vêtements anti-G). Plus tard, on a eu tendance à inverser le processus et à adapter l'environnement pour répondre aux besoins humains (systèmes de pressurisation et de climatisation, insonorisation). De nos jours, il faut relever de nouveaux défis, notamment les risques liés à la concentration d'ozone et au rayonnement pour les vols à haute altitude, ainsi que les problèmes associés à la perturbation des rythmes biologiques et les perturbations du sommeil ou la privation de sommeil résultant de voyages transméridiens de plus en plus rapides. Les illusions visuelles et la désorientation étant à l'origine de nombreux accidents d'aviation, il faut également tenir compte à cette interface des erreurs de perception induites par certaines conditions environnementales, par exemple les illusions visuelles aux phases d'approche et d'atterrissage. Par ailleurs, le système aéronautique fonctionne dans un contexte de larges contraintes politiques et économiques et c'est à cette interface que se produisent les interactions avec ces autres aspects de l'environnement. Dans bien des cas, les praticiens des facteurs humains n'ont pas la possibilité de modifier ces influences, alors qu'elles jouent un rôle décisif; il convient que les responsables qui ont la possibilité de le faire les examinent et s'en occupent comme il convient. Cette question est développée au Chapitre 2.

1.2.14 Humain-Humain. Il s'agit de l'interface entre les personnes. Par le passé, la formation et les épreuves de compétence se sont traditionnellement adressées aux individus. Si chacun des membres d'une équipe était compétent, on supposait que l'équipe formée par ces individus serait tout aussi compétente et efficace. Or, il n'en est pas toujours ainsi et depuis plusieurs années on porte de plus en plus d'attention à l'analyse du travail en équipe. Les équipages de conduite, les

contrôleurs de la circulation aérienne, les techniciens de maintenance et d'autres personnels d'exploitation ont un fonctionnement de groupe, et les influences du groupe jouent un rôle déterminant dans le comportement et la performance. À cette interface, nous nous intéressons au leadership, à la coopération au sein d'un équipage, au travail d'équipe et aux interactions des personnalités. Les relations entre le personnel et l'encadrement se situent également à cette interface, la culture d'entreprise, le climat de l'entreprise et les pressions qu'exerce la compagnie sur l'exploitation pouvant avoir une influence considérable sur la performance humaine. La 2^e Partie du présent manuel décrit des approches actuelles de l'industrie de l'aviation en matière de programmes de formation sur les facteurs humains pour les personnels d'exploitation.

1.3 NÉCESSITÉ DE TENIR COMPTE DES FACTEURS HUMAINS EN AVIATION

1.3.1 «Nous avons passé plus de cinquante ans à nous occuper du matériel, qui est maintenant assez fiable; il est temps de nous occuper des gens». Cette remarque qu'aurait faite en 1986 l'Amiral Donald Engen, ancien administrateur de la Federal Aviation Administration des États-Unis, peut servir de toile de fond à une analyse de la nécessité de tenir compte des facteurs humains en aviation. Alors que nous nous adressons à un avocat pour obtenir un conseil juridique, que nous engageons un architecte pour construire une maison et que nous demandons à un médecin le diagnostic d'un problème médical, n'est-il pas curieux que nous adoptions une approche intuitive et bien souvent superficielle lorsqu'il s'agit de résoudre des problèmes de facteurs humains qui peuvent mettre en jeu de nombreuses vies humaines? De longues années d'expérience dans l'aviation ou des milliers d'heures de vol se révèlent parfois de peu d'utilité lorsqu'on cherche la solution de problèmes que seule une connaissance approfondie des facteurs humains pourra nous aider à résoudre.

1.3.2 Ce constat est d'autant plus important que l'on sait depuis longtemps, comme nous l'avons déjà vu, que quelque trois accidents sur quatre proviennent d'erreurs d'individus apparemment en bonne santé, possédant les certifications requises. On peut faire remonter l'origine de certaines de ces erreurs à des défauts de conception du matériel ou des procédures, ou encore à des lacunes de la formation ou des instructions d'exploitation. Mais quelle que soit l'origine, la question centrale pour la technologie des facteurs humains est celle des possibilités et des limites de l'être humain et de son comportement. Le coût humain et économique de performances humaines non optimales est devenu si lourd qu'on ne peut plus se contenter d'une approche hâtive ou intuitive. La sécurité étant l'objectif ultime de tous les intervenants en aviation, il est logique d'assurer un niveau approprié de connaissance des facteurs humains à tous les niveaux de cette industrie.

1.3.3 La nécessité de prendre en compte les facteurs humains en aviation tient à leur influence dans deux vastes

domaines, si étroitement liés entre eux qu'ils se recoupent souvent et que les facteurs qui affectent l'un d'eux peuvent également affecter l'autre, à savoir:

- Efficacité du système
 - sécurité
 - efficacité
- Bien-être du personnel d'exploitation.

Efficacité du système

Sécurité

1.3.4 La meilleure façon d'illustrer les incidences des problèmes de facteurs humains sur la sécurité aérienne est de prendre des exemples d'accidents. Quelques accidents dans lesquels divers aspects des facteurs humains ont appelé l'attention de la communauté internationale, ce qui a ouvert la voie à l'essor des recherches dans ce domaine, sont passés en revue ci-après, à titre d'exemples.

- 1) Le même mois, en décembre 1972, deux avions s'écrasent: un L-1011 dans les Everglades, en Floride (NTSB/AAR 73-14) et un B-737 à l'aéroport Midway de Chicago (NTSB/AAR 73-16). Dans le premier cas, les tâches n'étaient pas bien réparties, tout l'équipage se préoccupant d'une ampoule d'indicateur de train d'atterrissage. Dans le second cas, le commandant — comme chef d'équipe — n'a pas bien géré les ressources qui étaient à sa disposition.
- 2) En 1974, un B-707 s'écrase à l'approche de Pago-Pago (Samoa) et 96 personnes perdent la vie. Un des facteurs de cet accident est une illusion visuelle liée au phénomène de trou noir (NTSB/AAR 74-15).
- 3) En 1974, un DC-10 s'écrase peu après le décollage parce qu'une porte de soute s'est ouverte et a été arrachée. La conception de la porte, la force appliquée par un manutentionnaire de fret pour la fermer et l'application incomplète des consignes d'un bulletin de service sont cités comme facteurs (Circulaire OACI 132-AN/93).
- 4) En 1974, au cours de son approche vers l'aéroport Dulles de Washington, un B-727 s'écrase sur le mont Weather et 92 personnes perdent la vie. Un manque de clarté et des lacunes dans les procédures et les règlements du contrôle de la circulation aérienne ont contribué à l'accident. Un autre facteur cité est le fait que l'organisme de réglementation n'ait pas pris en temps utile les mesures voulues pour résoudre un problème de terminologie de la circulation aérienne qui était connu (NTSB/AAR 75-16).

- 5) En 1977, deux B-747 entrent en collision sur la piste à Tenerife. La catastrophe, qui coûte la vie à 583 personnes, est imputée notamment à une défaillance des procédures normales de communications et à une mauvaise interprétation de messages verbaux (Circulaire OACI 153-AN/98).
- 6) En 1979, un DC-10 s'écrase sur le mont Erebus dans l'Antarctique. Des erreurs dans la communication des informations et dans l'insertion de données ont joué un rôle dans cet accident (Compte rendu d'accident n° 79/139, Nouvelle-Zélande).
- 7) En 1982 à Washington, un B-737 s'écrase au décollage dans des conditions de givrage. Les facteurs cités sont notamment des lectures erronées de la poussée des moteurs (supérieures à la poussée réelle) et une intervention trop peu énergique du copilote lorsqu'il communique ses inquiétudes et ses observations sur les performances de l'avion au décollage (NTSB/AAR 82-08).
- 8) Le compte rendu d'un accident survenu en 1983 à un A-300 à Kuala Lumpur indique que des différences dans l'agencement des tableaux de bord des divers avions de la flotte ont affecté la performance du personnel (l'avion était loué coque nue). (Compte rendu d'accident n° 2/83, Malaisie).
- 9) En 1984, un DC-10 dépasse la piste à l'aéroport JFK de New York. D'après le compte rendu d'accident, le pilote s'est trop fié aux automatismes (NTSB/AAR 84-15). Le fait de trop s'en remettre aux automatismes est également mis en cause dans un incident de perte de contrôle où un B-747 subit des dommages structuraux en descendant de 20 000 ft en moins de deux minutes, en 1985 (NTSB/AAR 86-03).
- 10) En août 1987, un MD-80 s'écrase au décollage à Detroit. Les pilotes, en infraction aux normes d'exploitation, n'ont pas sorti les volets. De plus, pour des raisons non déterminées, l'avertisseur de configuration au décollage n'a pas retenti (NTSB/AAR 88-05).

Efficacité

1.3.5 Ce n'est pas uniquement dans l'intérêt de la sécurité de vol qu'il faut prendre en compte les facteurs humains. L'application, ou l'absence d'application, des connaissances dans ce domaine, exerce aussi une influence décisive sur l'efficacité. En exploitation, on peut s'attendre à ce que l'exécution des tâches ne soit pas optimale si les facteurs humains sont négligés. Les paragraphes qui suivent donneront un aperçu de certaines applications de connaissances en la matière qui ont rapport avec l'efficacité.

1.3.6 La motivation fait la différence entre ce qu'une personne est capable de faire et ce qu'elle fera effectivement;

des sujets motivés sont plus efficaces que des sujets non motivés. La technologie des facteurs humains permet de contrôler l'erreur humaine et ses conséquences en aviation, ce qui améliore l'efficacité.

1.3.7 Un bon agencement des écrans et des commandes dans le poste de pilotage favorise et améliore l'efficacité. Des membres d'équipage bien formés et supervisés seront sans doute plus efficaces. Dans cette perspective d'efficacité, les procédures d'utilisation normalisées (SOP) qui sont mises au point pour assurer les méthodes d'exploitation les plus efficaces devraient être considérées comme un moyen de mesurer la performance des membres d'équipage.

1.3.8 L'application des principes de l'interaction au sein des groupes renforce le rôle d'encadrement du commandant de bord, dont le leadership est essentiel à l'intégration de l'équipe et donc à une performance plus efficace. Les relations entre le personnel de cabine et les passagers sont importantes également. Le personnel de cabine devrait comprendre les comportements des passagers et les situations émotionnelles qu'il peut s'attendre à rencontrer à bord, et être capable de gérer de telles situations.

Bien-être du personnel d'exploitation

1.3.9 Trois des nombreux facteurs qui peuvent affecter le bien-être du personnel d'exploitation, la fatigue, la perturbation des rythmes biologiques et la privation de sommeil/les perturbations du sommeil, seront brièvement abordés ci-après. La température, le bruit, l'humidité, la lumière, les vibrations, la conception du poste de travail et le confort des sièges sont d'autres facteurs qui influent sur le bien-être physiologique ou psychologique.

Fatigue

1.3.10 La fatigue peut être considérée comme un état reflétant l'insuffisance de repos, avec un ensemble de symptômes liés au déphasage ou à la perturbation des rythmes biologiques. De longues périodes de service ou un enchaînement de tâches particulièrement exigeantes, à exécuter en un court laps de temps, entraînent de la fatigue aiguë. Une fatigue chronique est produite à long terme par l'accumulation des effets de fatigue. Même avec un repos physique normal, un stress émotionnel peut entraîner de la fatigue mentale. De même que la perturbation des rythmes biologiques, la fatigue peut conduire à des situations potentiellement dangereuses, avec une dégradation de l'efficacité et du bien-être. L'hypoxie et le bruit sont des facteurs qui y contribuent.

Perturbation des rythmes biologiques

1.3.11 Le plus communément reconnu des rythmes biologiques est le rythme circadien (cycle de 24 heures), lié à la durée de rotation de la Terre. Les plus puissants facteurs qui

contribuent à maintenir ce cycle sont la lumière et l'obscurité, mais les repas et les activités physiques et sociales exercent aussi une influence sur le fonctionnement de l'organisme. La perturbation des rythmes biologiques qu'entraînent les vols sur grandes distances effectués de nos jours affecte la sécurité, l'efficacité et le bien-être. Les effets de la dysrythmie circadienne ne se limitent pas aux vols transméridiens long-courriers. Ils peuvent affecter la performance du personnel navigant qui effectue des vols sur courtes distances avec des horaires irréguliers ou nocturnes (transports de courrier et de fret, par exemple). Des contrôleurs de la circulation aérienne qui changent fréquemment d'horaire de travail sont exposés à une dégradation analogue de leurs performances.

1.3.12 On appelle couramment décalage horaire la perturbation ou le dyschronisme des rythmes biologiques. Il s'agit du malaise éprouvé après un voyage aérien long-courrier au cours duquel plusieurs méridiens ont été franchis. Il se manifeste par divers symptômes: troubles du sommeil, perturbation des habitudes alimentaires et intestinales, lassitude, anxiété, irritabilité, dépression. On peut constater objectivement un ralentissement des réactions et des décisions, la perte ou l'inexactitude de la mémoire des faits récents, des erreurs de calcul ainsi qu'une tendance à admettre un abaissement des normes de performance opérationnelle.

Le sommeil

1.3.13 Les symptômes physiques les plus courants associés aux vols long-courriers proviennent de la perturbation du rythme normal du sommeil, qui peut aller dans certains cas jusqu'à la privation totale de sommeil. Les adultes prennent généralement leur sommeil quotidien en une seule longue période; une fois établi, ce rythme devient un rythme naturel du cerveau, même lorsqu'une veille prolongée est imposée. De larges différences entre individus sont observées en ce qui a trait à leur aptitude à déphaser leur sommeil par rapport à leur rythme biologique. La tolérance aux perturbations du sommeil varie entre les membres d'un équipage; elle est liée principalement à la chimie du métabolisme, et parfois à des facteurs de stress émotionnel.

1.3.14 L'insomnie définit un état dans lequel une personne éprouve des difficultés à dormir. Si elle se produit alors que les conditions sont normales, en phase avec le rythme biologique, on parle d'insomnie primaire. On parle de troubles du sommeil liés au rythme circadien en cas de difficultés à s'endormir dans certaines conditions où les rythmes biologiques sont contrariés; c'est ce qui nous préoccupe dans le cas des vols long-courriers transméridiens.

1.3.15 La prise de médicaments tels que les somnifères (hypnotiques), sédatifs (y compris les antihistaminiques à effet sédatif) ou tranquillisants afin de provoquer le sommeil est généralement à déconseiller, car ils peuvent affecter la performance jusqu'à 36 heures après l'ingestion lorsqu'ils sont pris à dose thérapeutique. L'alcool est un déprimeur du système nerveux. Il a un effet soporifique, mais perturbe le rythme

normal du sommeil et nuit à sa qualité; ses effets persistent alors même qu'il n'est plus présent dans le sang («gueule de bois»). L'ingestion de somnifères combinée à celle d'alcool peut produire des effets bizarres. La caféine que contiennent le café, le thé et diverses boissons rend plus éveillé; elle réduit normalement les délais de réaction, mais risque de perturber le sommeil. Les amphétamines, lorsqu'on les utilise pour maintenir le niveau de performance d'une personne privée de sommeil, ne font que différer les effets de la perte de sommeil.

1.3.16 Le sommeil a une fonction réparatrice et est indispensable au bon fonctionnement mental. La privation de sommeil et les troubles du sommeil peuvent réduire la vigilance et l'attention, avec des incidences évidentes sur la sécurité. Si ce phénomène est constaté, il faut un effort supplémentaire pour rétablir au moins partiellement la vigilance et l'attention.

1.3.17 Pour résoudre le problème des troubles du sommeil ou de la privation de sommeil, on peut:

- établir les horaires des équipages en tenant compte du rythme circadien et de la fatigue qu'entraînent la privation et les perturbations du sommeil;
- adapter le régime alimentaire en tenant compte de l'importance des heures des repas et adopter certaines autres mesures en rapport avec l'exposition à la lumière/à l'obscurité, les horaires de repos/d'activité et les relations sociales;
- tenir compte des effets indésirables de longue durée qu'ont les médicaments (ainsi que la caféine et l'alcool);
- optimiser l'environnement du sommeil;
- apprendre des techniques de relaxation.

Santé et performance

1.3.18 Certains états pathologiques — troubles gastro-intestinaux, crise cardiaque, etc. —, provoquent parfois une incapacité soudaine du pilote; il arrive dans de rares cas qu'ils contribuent à des accidents. Alors qu'une incapacité totale est en général rapidement constatée par les autres membres de l'équipage, une réduction de la capacité ou une incapacité partielle, provoquée par la fatigue, le stress, le sommeil, une perturbation du rythme biologique, un médicament ou certains états légèrement pathologiques, risque de passer inaperçue de la personne elle-même.

1.3.19 Même si l'on n'en a pas de preuves concluantes, la bonne forme physique peut être en relation directe avec la performance et la santé mentales. Une meilleure forme physique réduit la tension et l'anxiété; elle renforce l'estime de soi. Elle a des effets favorables sur les émotions, lesquelles influent sur la motivation, et il semble qu'elle améliore la

résistance à la fatigue. Les facteurs connus pour exercer une influence sur la forme physique sont notamment le régime alimentaire, l'exercice, le stress, le tabac, l'alcool et les drogues.

Le stress

1.3.20 Le stress se manifeste dans beaucoup de métiers, mais les facteurs de stress sont particulièrement nombreux en aviation. Nous nous intéresserons surtout ici aux effets du stress sur les performances. Quand l'aviation était à ses débuts, les facteurs de stress venaient de l'environnement: bruit, vibrations, température, humidité, forces d'accélération, etc. et ils étaient principalement de nature physiologique. De nos jours, certains d'entre eux ont été remplacés par de nouvelles sources de stress: rythmes de travail et de repos irréguliers, perturbations du rythme circadien associées aux vols long-courriers, aux horaires irréguliers ou au vol de nuit.

1.3.21 D'autres sources de stress sont liées à des événements de la vie privée, tels qu'une séparation familiale, ou à des situations telles que les examens médicaux et les contrôles de compétence périodiques. Même des événements positifs de la vie privée tels qu'un mariage ou une naissance peuvent introduire du stress dans la vie normale. De même, dans des situations où la charge de travail mental est très lourde, par exemple au décollage, à l'atterrissage ou en cas d'urgence en vol, du stress mental peut apparaître.

1.3.22 Les réactions au stress varient selon les individus. C'est ainsi que le vol dans une zone orageuse sera perçu par un certain pilote comme un défi à relever, tandis qu'il provoquera du stress chez un autre. Le même facteur de stress (l'orage) produit des réactions différentes chez différentes personnes; les dommages qui peuvent en résulter devraient être attribués à la réaction plutôt qu'au facteur de stress lui-même.

1.4 APPLICATIONS DES CONNAISSANCES SUR LES FACTEURS HUMAINS DANS L'EXPLOITATION AÉRIENNE

Contrôle de l'erreur humaine

1.4.1 Pour endiguer et contrôler l'erreur humaine, il faut d'abord en comprendre la nature. À ce sujet, quelques notions de base seront rappelées. Les erreurs humaines peuvent avoir des origines fondamentalement différentes; par ailleurs, les conséquences d'erreurs semblables peuvent être, elles aussi, tout à fait différentes. Si certaines erreurs sont dues à la négligence, à l'inattention ou au manque de jugement, d'autres peuvent être induites par du matériel mal conçu, voire même résulter de la réaction normale d'une personne à une certaine situation. Ce dernier type d'erreur est susceptible de se répéter et son occurrence est prévisible.

Erreurs aux interfaces du modèle

1.4.2 Chacune des interfaces du modèle SHELL présente un certain potentiel d'erreurs si les éléments ne sont pas bien harmonisés. Par exemple:

- L'interface Humain-Matériel est fréquemment source d'erreurs. Des boutons ou des leviers mal situés ou mal indiqués créent de l'inadaptation à cette interface.
- À l'interface Humain-Documentation, des retards et des erreurs risquent de se produire si des documents ou des cartes sur lesquels il faut chercher des renseignements d'importance vitale sont confus, trompeurs ou surchargés.
- Des erreurs à l'interface Humain-Environnement peuvent être liées à des facteurs environnementaux (bruit, chaleur, lumière, vibrations) ou provenir de la perturbation des rythmes biologiques lors des vols long-courriers, du fait de l'irrégularité des périodes de travail et de sommeil.
- À l'interface Humain-Humain, ce sont les interactions interpersonnelles qui entrent en jeu et qui influent sur l'efficacité des équipages. Dans ces interactions interviennent notamment le leadership et le commandement; des déficiences à cette interface réduiront l'efficacité opérationnelle et entraîneront malentendus et erreurs.

Traitement de l'information

1.4.3 Avant qu'une personne puisse réagir à une information, il faut d'abord qu'elle la capte et il y a là une source d'erreurs possibles, liées aux étroites marges de fonctionnement des organes sensoriels. Une fois que ceux-ci ont capté l'information, elle est transmise au cerveau qui la traite et qui formule une conclusion sur la nature et le sens du message reçu. Cette activité d'interprétation, appelée perception, est un terrain où des erreurs peuvent germer. Les attentes, l'expérience, l'attitude, la motivation et l'activation influent sur la perception et sont des sources possibles d'erreurs.

1.4.4 Une fois formulées les conclusions sur le sens du message, il s'agit de prendre une décision. De nombreux facteurs peuvent conduire à des décisions erronées: formation ou expérience, émotions ou considérations commerciales, fatigue, médicament, motivation, troubles physiques ou psychologiques. La décision est suivie d'action (ou d'absence d'action). C'est une autre étape qui comporte un potentiel d'erreur; en effet, si un équipement est ainsi conçu qu'il risque d'être mal utilisé, il le sera certainement tôt ou tard. Une fois l'action effectuée, un mécanisme de retour d'information commence à fonctionner. Des déficiences de ce mécanisme peuvent également entraîner des erreurs.

Contrôler l'erreur humaine

1.4.5 Le contrôle de l'erreur humaine exige deux démarches différentes. Il faut en premier lieu réduire le nombre d'erreurs qui surviennent; à cette fin, il faut assurer un niveau élevé de compétence du personnel, concevoir des commandes adaptées aux caractéristiques humaines, veiller à la bonne conception des listes de vérification, procédures, manuels, cartes, etc. et, enfin, réduire le bruit, les vibrations, les extrêmes de température et autres facteurs de stress. Des programmes de formation visant à renforcer la coopération et la communication entre membres d'équipage réduiront le nombre d'erreurs (l'élimination totale de l'erreur humaine est un objectif difficile à atteindre, l'erreur étant un ingrédient normal du comportement humain). La seconde démarche visera à limiter les conséquences des erreurs qui se produisent néanmoins, par la surveillance réciproque et la coopération au sein de l'équipage. Une conception de l'équipement rendant l'erreur réversible et des dispositifs capables de surveiller la performance humaine, de lui servir de complément et de la soutenir peuvent également contribuer à limiter les erreurs ou leurs conséquences.

Formation et évaluation

1.4.6 L'objet de cette section est d'illustrer la façon dont la connaissance des facteurs humains s'applique à la

conception des méthodes de formation des personnels d'exploitation.

1.4.7 L'éducation et l'instruction sont considérées ici comme deux aspects différents du processus d'enseignement. L'éducation porte sur un vaste ensemble de connaissances, de valeurs, d'attitudes et d'habiletés nécessaires pour constituer la base sur laquelle des compétences professionnelles plus spécifiques pourront être édifiées par la suite. L'instruction est un processus visant à développer des compétences, des connaissances ou des attitudes spécifiques en vue d'un certain poste ou d'une certaine tâche. Une instruction appropriée et efficace ne peut être assurée que si l'éducation a tout d'abord établi les fondements nécessaires au développement de ces compétences, connaissances ou attitudes.

1.4.8 Une compétence est un ensemble organisé et coordonné d'activités psychomotrices, sociales, linguistiques et intellectuelles. Enseigner est en soi-même une compétence et le fait qu'une personne possède une compétence dans une certaine activité n'implique pas forcément qu'elle possède la compétence de l'enseigner à autrui. C'est là une considération importante dans la sélection des instructeurs de pilotage, des pilotes vérificateurs et de toute personne engagée dans une activité d'enseignement.

1.4.9 Les compétences, les connaissances ou les attitudes acquises dans une situation donnée peuvent souvent être

LE PARLER VRAI

L'essence d'aviation coûtant cher, un pilote privé écrit un jour à la Direction générale de l'aéronautique civile pour demander s'il pourrait la mélanger avec du kérosène. Il reçut la réponse suivante:

«L'emploi du kérosène dans un moteur alternatif n'est pas sans comporter certains aléas quant à la puissance recueillie et à la tenue du métal.»

Le pilote câbla en retour:

«Merci du renseignement. Commencerai à employer kérosène semaine prochaine.»

Il reçut alors, par courrier prioritaire, une lettre se lisant en substance comme suit:

«Il est à craindre que pareille décision ne fasse pas la part des incertitudes. L'utilisation du kérosène peut avoir des conséquences à propos desquelles il est permis de s'interroger, tant en ce qui concerne le comportement des organes aciérés que le rendement thermodynamique.»

Le pilote en accusa réception, toujours par câble:

«Merci encore. Suis sûr pouvoir réduire facture carburant.»

Le jour même, il reçut enfin un message clair, net et précis:

«PAS DE KÉROSÈNE DANS VOTRE MOTEUR. ÇA LE TUERAIT ET VOUS AVEC!»

utilisées dans une autre situation. C'est ce que l'on appelle un transfert positif. Par contre, il y a transfert négatif si ce qui a été appris précédemment crée des interférences avec un nouvel apprentissage. Il est important d'identifier les éléments d'une formation qui risquent de provoquer un transfert négatif, car un retour à des pratiques apprises précédemment risque de se produire dans une situation génératrice de stress.

1.4.10 L'apprentissage est un processus interne et la formation est le contrôle de ce processus. On déterminera le succès ou l'échec d'une formation d'après les changements que produit l'apprentissage dans la performance ou le comportement. Puisque c'est l'apprenant qui effectue l'apprentissage, et non l'enseignant, il doit être un participant actif et non passif. L'apprentissage fait intervenir la mémoire. La mémoire à court terme (STM) permet de stocker des informations qui seront rapidement oubliées, tandis que la mémoire à long terme (LTM) permet un stockage de longue durée. La STM est limitée à quelques éléments d'information, qu'elle permet de retenir pendant quelques secondes. Par la répétition, des informations seront transférées dans la LTM. Celle-ci a une très grande capacité et moins de problèmes de stockage, mais il y a assurément des problèmes de restitution, comme ceux que l'on constate lorsque des témoins sont appelés à se souvenir d'événements du passé.

1.4.11 Nombre de facteurs peuvent compromettre le succès d'un programme de formation; certains sont évidents — maladie, fatigue, inconfort physique — mais il y en a d'autres: anxiété, faible motivation, piètre qualité de l'instruction, choix peu judicieux de l'instructeur, techniques d'apprentissage inadaptées ou communication inadéquate.

1.4.12 Observer une approche systémique de la formation assure un bon rapport coût-efficacité. La première étape est de déterminer les besoins de formation, ce qui peut se faire par une analyse des tâches afférentes au poste. La deuxième étape comprend une description claire et une analyse du poste. On peut ensuite formuler l'objectif de la formation et établir des critères de sélection des stagiaires. Le contenu du cours est ensuite déterminé et le cours est mis en oeuvre par différentes méthodes: exposés, leçons, débats, travaux dirigés, audiovisuel, instruction programmée et formation assistée par ordinateur.

1.4.13 Il existe deux grands types de moyens d'instruction: les aides didactiques (diapositives, films vidéo, tableaux, cartes murales), qui aident l'enseignant à exposer un sujet, et le matériel d'instruction (tel que les simulateurs de vol) qui permet la participation active de l'élève et la pratique. L'emploi de simulateurs répond à la nécessité de dispenser une formation pratique dans un environnement aussi réaliste que possible, à faible coût, avec peu de risques mais avec un niveau élevé d'efficacité. Pour obtenir l'agrément des autorités de certification, il faut que le simulateur soit suffisamment fidèle pour développer la compétence et les performances qui sont escomptées dans la réalité.

1.4.14 On croit souvent nécessaire, pour que l'instruction donne les meilleurs résultats, d'introduire le

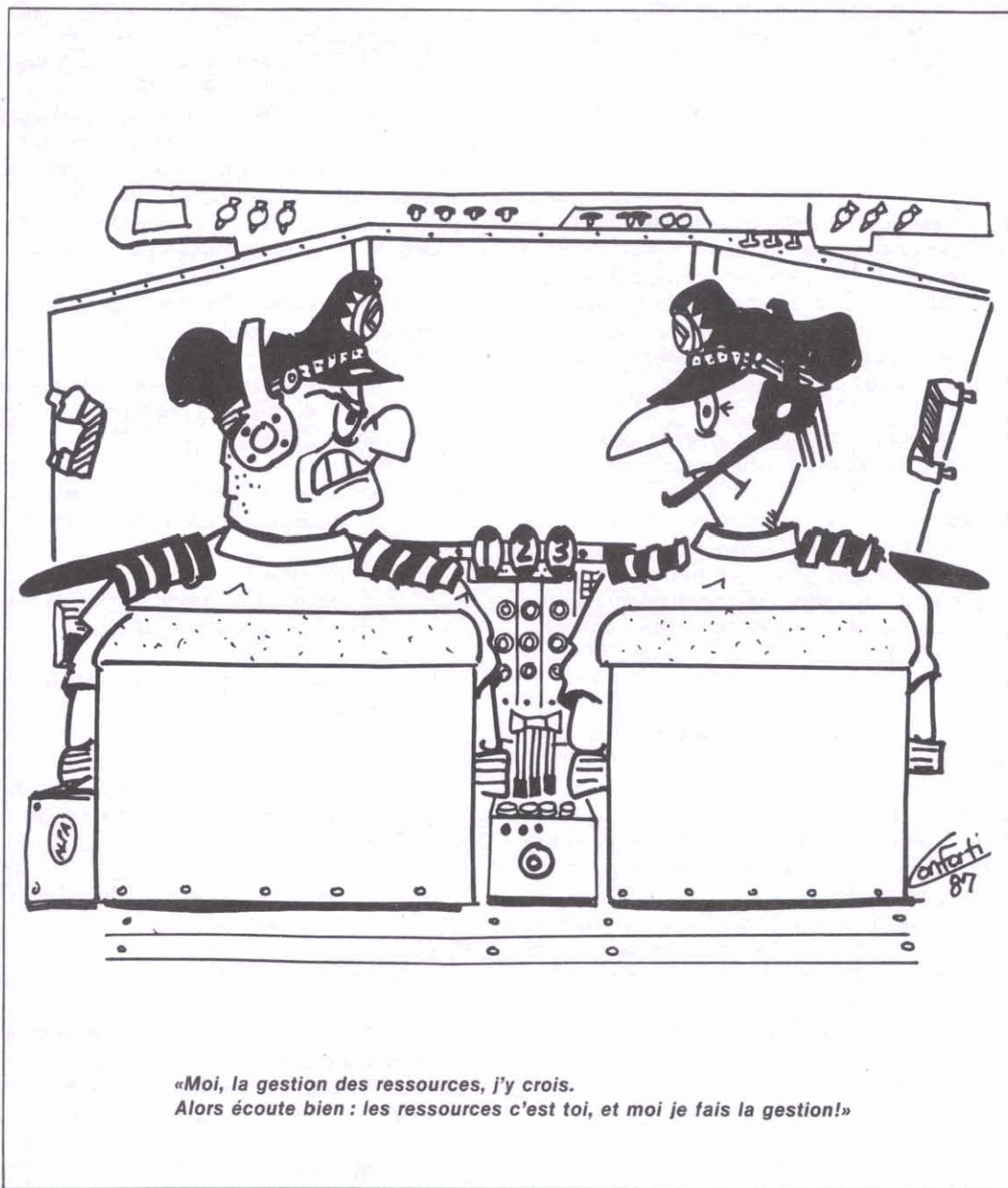
maximum de fidélité dans la situation de formation; or, la fidélité est coûteuse et il faut que le rapport coût-efficacité soit positif. Le mouvement, l'effort sur les commandes, les systèmes sonores et visuels, la simulation de certains éléments particuliers (radar, équipement de vérification intégré, calculateurs de gestion de vol, etc.) impliquent des dépenses considérables. Aux limites supérieures de la simulation, une très faible amélioration de la fidélité devient extrêmement coûteuse. Ce point est d'autant plus pertinent que, comme l'indique l'expérience, la formation peut souvent avoir un bon rendement avec des niveaux de fidélité modestes. C'est à un spécialiste qu'il appartient de déterminer le degré de fidélité nécessaire pour répondre à des besoins spécifiques de formation en vue d'une situation donnée. Un niveau élevé de fidélité est nécessaire dans un dispositif utilisé pour l'instruction lorsque l'élève doit apprendre à effectuer des discriminations pour le choix d'interrupteurs ou de commandes, ou lorsque les réactions nécessaires sont difficiles à acquérir ou sont d'importance critique pour l'opération dont il s'agit. Un équipement d'un faible niveau de fidélité est acceptable au début de l'apprentissage des procédures, pour éviter les confusions et ne pas surcharger le débutant. Lorsque l'enseignement progresse, une fidélité accrue devient généralement nécessaire pour assurer l'acceptation par l'utilisateur.

Leadership

1.4.15 Un leader est une personne dont les idées et les actes influencent la pensée et le comportement d'autrui. Par l'exemple et la persuasion, et parce qu'il comprend les objectifs et les désirs du groupe, le leader devient un agent de changement et d'influence.

1.4.16 Une distinction importante est à faire entre le leadership, qui s'acquiert, et l'autorité, qui est conférée. La situation optimale est celle où les deux sont combinés. Le leadership implique un travail d'équipe et la qualité de leader dépend du succès de la relation avec l'équipe. Il convient de développer chez tous, par une formation appropriée, des compétences de leadership; cette formation est indispensable dans l'exploitation aérienne, où des membres d'équipage novices sont parfois appelés à assumer le leadership au cours de l'exercice normal de leurs fonctions. C'est ce qui peut se produire lorsque le copilote doit prendre la relève d'un commandant frappé d'incapacité ou lorsqu'un agent de cabine novice doit contrôler les passagers dans une certaine section de la cabine.

1.4.17 Un leadership compétent peut être nécessaire pour comprendre et traiter diverses situations. Des conflits de personnalité et d'attitude au sein d'un équipage, par exemple, compliquent la tâche du leader et risquent d'avoir des retentissements à la fois sur la sécurité et l'efficacité. Des enquêtes sur des accidents et incidents d'aviation ont démontré que les différences de personnalité influencent le comportement et la performance des membres d'équipage. D'autres situations exigeant un leadership compétent peuvent avoir leurs racines



dans les sentiments de frustration qu'éprouve, par exemple, un copilote déçu par la lenteur des promotions ou un pilote employé comme mécanicien navigant.

Personnalité et attitudes

1.4.18 Nos traits de personnalité et nos attitudes influent sur la façon dont nous menons notre vie personnelle et professionnelle. Les traits de caractère sont innés ou acquis dans le jeune âge. Ce sont des caractéristiques ancrées, qui définissent une personne; elles sont très stables et résistent au changement. Des traits de caractère tels que l'agressivité, l'ambition ou les tendances dominatrices peuvent être considérés comme reflétant la personnalité.

1.4.19 Les attitudes sont des tendances acquises et durables ou des prédispositions plus ou moins prévisibles à réagir favorablement ou défavorablement à des personnes, des organisations, des décisions, etc. Une attitude est une prédisposition à réagir d'une certaine façon; la réaction est le comportement lui-même. On pense que nos attitudes nous procurent une sorte de représentation cognitive de l'organisation du monde où nous vivons, nous permettant de prendre rapidement des décisions sur ce qu'il convient de faire dans certaines situations.

1.4.20 Certains accidents ont été causés par la façon d'agir inadéquate de personnes qui auraient été capables d'agir efficacement mais qui ne l'ont pas fait. Les comptes rendus des programmes CHIRP (*Confidential Human Factors Reporting Programme*) et ASRS (*Aviation Safety Reporting System*) appuient l'idée que les attitudes et le comportement jouent un rôle important dans la sécurité de vol. Il est donc nécessaire de poursuivre des recherches sur les traits de personnalité désirables ou indésirables chez les navigants et sur l'importance d'une analyse efficace de la personnalité lors de la sélection des membres d'équipage. Si des différences de personnalité ou d'attitude dans le poste de pilotage ont été citées comme cause d'accidents ou d'incidents, il convient aussi que nous examinions dans quelle mesure il est possible d'influencer les attitudes par la formation.

1.4.21 La différence entre personnalité et attitude est importante; en effet, il n'est pas réaliste d'attendre d'une formation ordinaire ou d'une formation au commandement ou à la gestion qu'elle modifie la personnalité. Le processus initial de filtrage et de sélection est le lieu et le moment où il faut prendre la décision appropriée. Les attitudes, par contre, sont plus susceptibles d'être modifiées par la formation. L'efficacité de la formation dépend de la force de l'attitude ou des attitudes à modifier. Certains États ont montré l'intérêt que présentent pour la sécurité, en particulier dans le cas de vols avec un seul pilote, certains programmes visant à améliorer le processus décisionnel chez le pilote en identifiant les modes de pensée dangereux. On peut aussi agir directement sur la sécurité et l'efficacité en modifiant les attitudes ou les types de comportement par la persuasion. Les bulletins internes, les notes de service et la publicité sont des formes de communication qui recourent à la persuasion.

Communication

1.4.22 Une communication efficace, englobant tous les transferts d'information, est un élément essentiel de la sécurité de vol. Le message peut être transmis par la parole, par écrit, par divers symboles et affichages (instruments, écrans, cartes) ou par des moyens non verbaux tels que les gestes et le langage corporel. La qualité et l'efficacité de la communication dépendent de son intelligibilité, de la mesure dans laquelle le message est compris par le destinataire.

1.4.23 Plusieurs facteurs peuvent compromettre la qualité de la communication:

- ratés au cours du processus de transmission (p. ex. envoi de messages peu clairs ou ambigus, problèmes linguistiques);
- difficultés causées par le moyen de transmission (p. ex. bruits de fond ou distorsion des informations);
- défaillances à la réception (p. ex. attente d'un autre message, interprétation erronée du message arrivant, voire omission d'en tenir compte);
- défaillances dues à des interférences entre les niveaux rationnel et émotionnel de communication (p. ex. dispute);
- problèmes physiques entravant la parole ou l'écoute (p. ex. port d'un masque à oxygène ou mauvaise audition);
- emploi de l'anglais entre locuteurs anglophones et non anglophones;
- codage/décodage/bruit.

1.4.24 L'instruction sur les facteurs humains visera notamment à éviter les erreurs dans les communications. Cette tâche comprend l'explication des problèmes courants de communication et le renforcement d'un langage normalisé, pour assurer la transmission des messages sans erreur et leur bonne interprétation. Des communications ambiguës, prêtant à confusion, hors de propos ou mal structurées ont été citées comme facteurs de nombreux accidents, dont le plus tristement fameux est la catastrophe de Tenerife (mars 1977), qui a impliqué deux B-747.

Coordination au sein de l'équipage

1.4.25 La coordination de l'équipage, c'est tout l'avantage que présente le travail en équipe par rapport à la juxtaposition d'individus hautement qualifiés. Ses principaux bénéfices consistent à:

- accroître la sécurité par la redondance pour déceler les erreurs des individus et y remédier;

- renforcer l'efficacité en assurant l'utilisation bien organisée de toutes les ressources existantes, ce qui améliore la gestion des vols.

1.4.26 Les variables fondamentales qui déterminent la qualité de la coordination de l'équipage sont les attitudes, la motivation et la formation de ses membres. Surtout dans des conditions de stress (physique, émotionnel ou de gestion), il y a un risque élevé de défaillances de la coordination de l'équipe. Il y aura moins de communication (échanges d'information marginaux ou nuls), davantage d'erreurs (décisions erronées par exemple) et moins de chances de rectification des écarts par rapport aux procédures d'utilisation normalisées ou à la route à suivre. Il peut aussi en résulter des conflits émotionnels dans le poste de pilotage.

1.4.27 Vu les risques élevés qu'entraîne une défaillance de la coordination de l'équipage, on comprend la nécessité urgente de la formation CRM (*Crew Resource Management — gestion des ressources en équipe*) dont il sera question dans la 2^e Partie de ce manuel. Grâce à ce type de formation:

- le pilote aura une capacité maximale d'accomplir sa tâche primordiale, qui est de piloter l'avion et de prendre des décisions;
- la charge de travail est répartie également entre les membres d'équipage, ce qui évite qu'une charge excessive pèse sur l'un d'eux;
- une coopération coordonnée — comprenant l'échange d'informations, l'appui entre collègues et une surveillance mutuelle des performances — sera maintenue en toutes circonstances, normales ou anormales.

Motivation

1.4.28 La motivation fait toute la différence entre ce qu'une personne est capable de faire et ce qu'elle fera réellement; c'est ce qui pousse ou incite la personne à se comporter d'une certaine façon. Bien sûr, les êtres humains sont différents et ils sont mus par des motivations différentes. Même si la sélection, la formation et le contrôle ont donné l'assurance qu'une personne est capable de remplir certaines fonctions, c'est la motivation qui détermine si elle les accomplira convenablement dans une situation déterminée.

1.4.29 Il existe une relation entre attentes et récompenses comme éléments de la motivation, puisque l'intérêt d'une récompense et la probabilité subjective de l'obtenir détermineront le niveau d'effort qui sera fourni pour cela. Il faut que des compétences appropriées sous-tendent cet effort. Il est important que ceux dont les performances sont excellentes soient en meilleure position pour obtenir une récompense que ceux qui ont des performances médiocres, sans quoi leur motivation risque de baisser. La satisfaction professionnelle incite à fournir des performances supérieures.

1.4.30 Le recours aux récompenses pour modifier le comportement et les performances est ce que l'on appelle le renforcement positif; le recours aux pénalisations ou aux sanctions pour dissuader d'adopter des comportements indésirables est appelé renforcement négatif. Le renforcement positif peut être plus efficace pour améliorer les performances, mais les responsables devraient pouvoir recourir à ces deux types de mesures. Il faut s'attendre à des réactions différentes de la part de différentes personnes à l'égard des facteurs de renforcement positif et négatif et prendre garde de ne pas produire l'effet contraire de celui qui est recherché.

Documents

1.4.31 Les lacunes dans les documents aéronautiques ont des effets sur deux plans: il y a l'aspect économique, lié au fait que l'exécution d'une certaine tâche demandera plus de temps ou sera impossible, et l'aspect sécurité. En matière de documents, y compris les documents de vol électroniques affichés sur écran, il faut optimiser certains aspects fondamentaux en tenant compte des facteurs humains:

- la langue écrite, incluant non seulement le vocabulaire et la grammaire, mais aussi la façon de les employer;
- la typographie, notamment le style de caractères, l'impression et la disposition, qui jouent un rôle important dans la compréhension des écrits;
- l'emploi de photos, de schémas ou de tableaux pour remplacer de longs textes descriptifs, ce qui facilite la compréhension et soutient l'intérêt. L'emploi de la couleur dans les illustrations réduit l'effort de discrimination et a un effet motivant;
- au moment de déterminer la taille des caractères et les dimensions des pages, il faut tenir compte du cadre de travail dans lequel le document sera utilisé (une carte d'aéroport trop petite peut être source d'erreurs lors de circulation au sol).

Conception du poste de travail

1.4.32 Aux fins de la conception, le poste de pilotage devrait être considéré comme un système plutôt que comme un assemblage de différents aspects ou systèmes (circuit hydraulique, circuit électrique, pressurisation, etc.). De l'expertise devra être appliquée pour harmoniser les caractéristiques de ces systèmes avec celles de l'être humain en tenant compte des tâches à accomplir. Il importe que les aires de travail soient bien adaptées aux mensurations et aux caractéristiques humaines. On utilisera, par exemple, les données sur la taille, la morphologie et les mouvements du corps humain pour assurer une bonne visibilité dans le poste de pilotage, ainsi que pour optimiser l'emplacement et la conception des commandes et des affichages et le design des sièges.



1.4.33 Du point de vue de la sécurité, il est particulièrement important de normaliser l'agencement du tableau de bord. En effet, on possède de nombreux comptes rendus d'erreurs dues à des variations dans l'agencement des tableaux de bord (le pilote revenant par inadvertance à un geste qu'il avait l'habitude de faire dans un avion qu'il pilotait précédemment). De nombreux éléments interviennent dans le design des sièges: commandes du siège, appui-tête, coussin et étoffe, appui lombaire, appui des cuisses, etc.

1.4.34 Un affichage est un moyen de présenter directement des informations à un opérateur. Les affichages peuvent faire appel à la vue, à l'ouïe ou au toucher. Pour être transmises au cerveau, il faut que les informations fournies sur l'affichage soient filtrées, mémorisées et traitées, ce qui peut poser des problèmes. Il est essentiel de tenir compte de ces exigences dans la conception des affichages du poste de pilotage. Il faut présenter les informations de façon à faciliter le traitement, non seulement dans des conditions normales, mais aussi lorsque le stress ou la fatigue affectent la performance.

1.4.35 Dans la conception d'un affichage, il est fondamental de déterminer par qui, comment et dans quelles circonstances il sera utilisé. D'autres points à prendre en considération sont les caractéristiques des affichages visuels et des signaux sonores, les exigences de luminosité, le choix d'un affichage analogique ou numérique, les possibilités d'utilisation de DEL (diodes électroluminescentes), d'affichages à cristaux liquides ou de tubes à rayons cathodiques, l'angle de vision de l'affichage et la parallaxe correspondante, la distance à laquelle il sera consulté et les risques d'ambiguïté de l'information.

1.4.36 La conception des systèmes avertisseurs, systèmes d'alarme et systèmes consultatifs doit répondre à trois objectifs opérationnels fondamentaux: ils doivent alerter l'équipage et appeler son attention, le renseigner sur la nature de la situation et, si possible, le guider dans les mesures correctives à prendre. La fiabilité du système est capitale, car une prolifération de fausses alertes entraînerait une perte de crédibilité, comme ce fut le cas des premières générations de systèmes avertisseurs de proximité du sol. En cas de défaillance technique de l'affichage, il ne faut pas que des renseignements erronés puissent être présentés à l'utilisateur. Ils devront être soustraits à sa vue ou être clairement signalés comme erronés. Par exemple, si la barre de tendance du directeur de vol n'est pas fiable, il faut qu'elle disparaisse. Des accidents sont survenus parce que des renseignements de guidage non valables étaient restés affichés.

1.4.37 Une commande est un moyen de transmettre de l'information ou de l'énergie, de façon ponctuelle ou continue, d'un opérateur à un dispositif ou à un système. Le dispositif de commande peut être un bouton-poussoir, un interrupteur à bascule ou rotatif, un levier à détente, un bouton rotatif, un volant ou une manivelle. Le type de dispositif de commande utilisé dépend des exigences fonctionnelles et de la force de manipulation nécessaire. Plusieurs caractéristiques de conception des commandes retiendront l'attention:

- a) emplacement;
- b) rapport commande-affichage (mouvement de la commande lié à celui de l'élément mobile de l'affichage qui lui est associé);
- c) direction du mouvement de la commande par rapport à l'affichage;
- d) résistance de la commande;
- e) codage de la commande, par sa forme, sa dimension, sa couleur, son étiquette, son emplacement;
- f) protection empêchant de l'actionner par inadvertance.

1.4.38 L'application de l'automatisation aux affichages et aux commandes du poste de pilotage risque d'amener les pilotes à relâcher leur vigilance et à trop s'en remettre aux automatismes; or, ceux-ci ont été mis en cause dans certains accidents et incidents. Si l'on tient compte comme il convient des questions liées aux facteurs humains (par exemple, limites des performances de l'humain comme surveillant et effets sur la motivation), l'automatisation peut être justifiée. Elle peut contribuer à améliorer les performances des aéronefs et des systèmes, ainsi que l'efficacité globale des activités. Elle peut décharger l'équipage de certaines tâches de manière à réduire sa charge de travail pendant les phases du vol où cette charge atteint les limites de ce qui est acceptable du point de vue opérationnel.

Aménagement de la cabine

1.4.39 Les éléments à prendre en considération pour l'aménagement de la cabine, dans la perspective des facteurs humains, comprennent des aspects concernant l'espace de travail et son agencement, ainsi que des données sur le comportement humain et la performance.

1.4.40 La taille et la morphologie de l'être humain doivent être prises en considération dans la conception du matériel de la cabine (toilettes, offices, chariots, compartiments de rangement supérieurs), du matériel de secours (gilets de sauvetage, radeaux, issues de secours, masques à oxygène), des fauteuils et du mobilier (ainsi que des distractions en vol), des strapontins et des sièges tournés vers l'arrière. C'est en tenant compte de la taille des utilisateurs et de la portée de leurs mouvements que seront déterminés l'emplacement des équipements et des commandes. Dans les compartiments de fret, il faut que l'accès soit commode et que le personnel ait assez de place pour travailler. Il faut tenir compte de façon réaliste de la force humaine nécessaire pour actionner les portes, les panneaux et l'équipement de manutention du fret. L'anthropométrie (étude des mensurations humaines) et la biomécanique (étude du mouvement des parties du corps et des forces qu'elles peuvent appliquer) fourniront l'information nécessaire.

1.4.41 Il faut porter dûment attention au traitement à réserver aux passagers spéciaux: personnes physiquement handicapées, personnes en état d'ébriété, personnes anxieuses... Il s'agit ici du comportement des passagers, y compris les influences de groupe, et de la prévision du comportement humain en situation de crise.

1.4.42 Des accidents et incidents récents ont montré combien il est nécessaire que les responsables d'activités au sol, comme les responsables de la maintenance et des inspections, ainsi que les supérieurs hiérarchiques des pilotes, soient bien informés en ce qui concerne le rôle des facteurs humains. De même, les responsables de la conception des systèmes de bord devraient avoir conscience des limites humaines en rapport avec la maintenance, l'inspection et l'entretien courant des aéronefs. Des facteurs tels que la formation, le milieu de travail, les méthodes de communication, les contraintes physiologiques et l'ergonomie du matériel doivent être pris en considération.

Performance visuelle et évitement des collisions

1.4.43 Une bonne compréhension du fonctionnement du système visuel aide à déterminer les conditions de travail optimales. Ce sont les caractéristiques et la mesure de la lumière, la perception des couleurs, la physiologie oculaire et le mode de fonctionnement du système visuel qui nous intéressent ici. D'autres facteurs importants sont ceux qui interviennent dans la capacité de repérer d'autres aéronefs à distance, de jour ou de nuit, ou d'identifier des objets extérieurs en présence de pluie ou de souillures sur le pare-brise.

1.4.44 Les illusions visuelles et la désorientation en vol peuvent affecter directement la sécurité. À toutes les phases du vol, mais en particulier à l'approche et à l'atterrissage, on pense que des illusions visuelles ont pu jouer un rôle important dans certains accidents auxquels il est difficile de trouver d'autres explications. Les facteurs qui interviennent ici sont notamment la pente du terrain, la largeur de la piste, l'intensité du balisage lumineux, le phénomène du «trou noir» et le manque de texture de la piste. Un moyen efficace de réduire les risques que créent ces illusions en vol est de faire comprendre, par l'instruction, qu'elles sont un phénomène naturel. L'instruction devrait aider à comprendre que les circonstances dans lesquelles elles surviennent sont souvent prévisibles. L'emploi de sources d'information complémentaires aux indices visuels (radars, affichage d'assiette, radioaltimètres, VASIS, DME, etc.) est la mesure de protection la plus efficace contre la désorientation et les illusions visuelles. On peut réduire ce risque dans une certaine mesure au stade de la conception, par exemple en prévoyant des éléments de sécurité tels que du verre de haute qualité optique pour les pare-brise, une bonne visibilité, un repère de position des yeux ou une protection efficace du pare-brise contre la pluie et le givrage.

LISTE DE RÉFÉRENCES

Revue

- Ergonomics*; Royaume-Uni; Taylor and Francis; mensuel; revue officielle de l'International Ergonomics Association and Ergonomics Society.
Human Factors; États-Unis; Human Factors and Ergonomics Society; trimestriel; revue de la Human Factors and Ergonomics Society.
The International Journal of Aviation Psychology; États-Unis; trimestriel; Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New York.

Bulletins

- Cabin Crew Safety Bulletin*; Flight Safety Foundation; États-Unis; bimensuel.
Human Factors Bulletin; Flight Safety Foundation; États-Unis; périodique.

Systèmes de compte rendu d'incident

- Callback*; États-Unis; NASA-Ames; mensuel; bulletin de l'ASRS;
ASRS Quarterly Reports; États-Unis; NASA-Ames; trimestriel; résumés et analyses;
ASRS Contractor Reports; États-Unis; NASA-Ames; périodique; analyses de données de l'ASRS;
Feedback; Royaume-Uni; Institute of Aviation Medicine; trimestriel; bulletin du CHIRP.

Livres — Lectures recommandées

- Campbell, R. et Bagshaw, M. *Human performance and limitations in aviation*; BSP Professional Books.
 Green, R.G., Muir, H., James, M., Gradwell, D. et Green, R.L. *Human Factors for Pilots*. Averbury Technical.
 Hawkins, Frank H. *Human Factors in Flight*. Gower.
 Hurst R. et Hurst L.R. (éd.) *Pilot Error* (2^e édition). Granada.
 Jensen, R.S., (éd.) *Aviation Psychology*. Gower.
 Jensen, R.S. *Pilot Judgement and Crew Resource Management*. Averbury Aviation.
 Johnston, A.N., McDonald, N. et Fuller, R. (éd.) *Aviation Psychology in Practice*. Averbury Technical.
 Johnston, A.N., McDonald, N. et Fuller, R. (éd.) *Applications of Psychology to the Aviation System*. Averbury Aviation.
 Johnston, A.N., McDonald, N. et Fuller, R. (éd.) *Aviation Psychology: Training and Selection*. Averbury Aviation.
 Johnston, A.N., McDonald, N. et Fuller, R. (éd.) *Human Factors in Aviation Operations*. Averbury Aviation.
 Maurino, D., Reason, J., Johnston, N. et Lee, R. *Beyond Aviation Human Factors*. Averbury Aviation.
 Nance, J.J. *Blind Trust: The Human Factors of Airline Accidents*. Morrow.
 O'Hare, D. et S. Roscoe. *Flightdeck performance: The Human Factors*. Iowa State University Press.
 Reason, J. et Mycielska, K. *Absent Minded*. Prentice-Hall.
 Reason, J. *Human Error*. Cambridge University Press.

- Sloan, S.J. et Cooper, C.L. *Pilots under stress*. Routledge & Kegan Paul.
- Telfer, Ross A. *Aviation Instruction and Training*. Ashgate.
- Trollip, S.R. et Jensen, R.S. *Human Factors for general aviation*. Jeppesen Sanderson, Inc.
- Wiener, E.L., Kanki, B.G. et Helmreich, R.L. (éd.) *Cockpit Resource Management*. Academic Press.
- Wiener, Earl et Nagel, David C. *Human Factors in Aviation*. Academic.
-

CHAPITRE 2

FACTEURS HUMAINS, MANAGEMENT ET ORGANISATION

2.1 INTRODUCTION

2.1.1 Depuis les débuts de l'aviation, l'erreur humaine est regardée comme un facteur majeur des accidents et incidents. De fait, éviter l'erreur humaine ou la maîtriser a toujours été, et restera, un des grands défis de l'aviation. Traditionnellement, elle a été étroitement associée au rôle du personnel d'exploitation: pilotes, contrôleurs, mécaniciens ou agents techniques d'exploitation. Les idées actuelles en matière de sécurité préconisent une perspective plus large, qui s'attache aux carences en matière de sécurité dans le système plutôt qu'à la performance individuelle. Les éléments apportés par les analyses menées dans cette perspective permettent de mettre en évidence le rôle de faiblesses de management à tous les stades des activités du système aéronautique comme importants facteurs contribuant aux accidents et incidents.

2.1.2 Les premières années, les efforts déployés pour assurer la sécurité aérienne ont visé surtout à améliorer la technologie; axés principalement sur les méthodes opérationnelles et d'ingénierie pour surmonter les dangers, ils ont permis, avec un remarquable succès, de réduire de façon soutenue le taux d'accidents. Lorsqu'il s'est révélé que l'erreur humaine parvenait à circonvenir même les dispositifs de sécurité les plus perfectionnés, les efforts se sont reportés sur l'élément humain du système. La fin des années 1970 et les années 1980 laisseront assurément le souvenir de l'enthousiasme dont on s'est pris alors pour les facteurs humains en aviation. Elles ont vu se multiplier, entre autres, les formations CRM (*Cockpit Resource Management*, ou plus récemment *Crew Resource Management*, gestion des ressources en équipe) et LOFT (entraînement type vol de ligne), les programmes d'instruction sur les facteurs humains et de développement d'attitudes, tandis qu'était lancée une campagne de sensibilisation au fait que c'est à tous les niveaux que l'erreur humaine peut affecter la sécurité de l'aviation. Quoi qu'il en soit, l'erreur humaine continue d'apparaître au premier plan dans les statistiques sur les accidents.

2.1.3 Les statistiques peuvent cependant être trompeuses lorsqu'il s'agit de comprendre la nature des accidents et de concevoir des mesures de prévention. Elles font apparaître les accidents comme une série de relations de cause à effet groupées en catégories distinctes (équipage de conduite, entretien, météo, contrôle de la circulation aérienne, etc.). Ce n'est pas les erreurs comme telles qui sont rapportées, mais certains de leurs effets: impact sans perte de contrôle, dépassement d'extrémité de piste après interruption d'un décollage,

etc. Les statistiques fournissent alors les réponses lorsqu'il est trop tard. Elles ne parviennent pas à représenter les accidents comme des *processus*, comportant de multiples chaînes d'interactions dont les origines sont souvent éloignées dans le temps et qui mettent en jeu de nombreux éléments différents du système d'ensemble.

2.1.4 Les enquêtes sur plusieurs catastrophes majeures survenues dans des systèmes de technologie avancée de grande envergure ont révélé qu'elles étaient le résultat d'une combinaison de nombreux facteurs dont les origines pouvaient être attribuées au fait que les facteurs humains n'avaient pas été pris en compte aux stades de conception et de mise en oeuvre du système, plutôt qu'à une certaine action malencontreuse du personnel d'exploitation. Des accidents comme ceux des centrales nucléaires de Three Mile Island (Pennsylvanie, États-Unis, 28 mars 1979) et de Tchernobyl (Ukraine, URSS, 26 avril 1986), celui de la navette spatiale Challenger (Floride, États-Unis, 28 janvier 1986), la collision de deux B-747 à Tenerife (Îles Canaries, Espagne, 27 mars 1977) ou la catastrophe de l'usine de produits chimiques de Bhopal (Inde, 3 décembre 1984) en sont des exemples. Les systèmes de technologie avancée de grande envergure tels que les centrales nucléaires et l'aviation sont appelés *systèmes sociotechniques* en raison de la complexité des interactions entre leurs éléments humains et technologiques. Les concepts de *facteurs de management* et d'*accident organisationnel* sont des concepts clés en ce qui concerne la sécurité des systèmes sociotechniques. Les expressions *accident systémique* et *accident organisationnel* traduisent le fait que certaines caractéristiques intrinsèques de ces systèmes, telles que leur complexité ou l'interaction imprévue de défaillances multiples, produiront inévitablement des ruptures de la sécurité. Dans les systèmes sociotechniques, les mesures correctives basées sur les constats relatifs à la sécurité ne doivent pas être limitées à ceux qui, les derniers, auraient pu empêcher l'accident, c'est-à-dire au personnel d'exploitation: elles doivent tenir compte de l'influence des concepteurs et des dirigeants ainsi que de la structure ou de l'architecture du système. Cette démarche vise à trouver *ce* qui ne va pas, plutôt que *qui* a tort.

2.1.5 Prenons l'énoncé des causes probables dans le rapport d'accident concernant l'écrasement d'un biréacteur de ligne lors d'une tentative de décollage en conditions de givrage:

«Selon le National Transportation Safety Board, les causes probables de cet accident sont le fait que ni le transporteur,

ni la FAA n'ont fait connaître aux équipages de conduite les procédures, conditions et critères compatibles avec les retards au décollage dans des conditions susceptibles d'entraîner le givrage de la cellule, ainsi que la décision de décoller prise par l'équipage de conduite sans avoir la certitude absolue que la voilure de l'avion était exempte d'accumulation de glace après les 35 minutes d'exposition aux précipitations qui ont suivi le dégivrage. La contamination de la voilure par la glace a provoqué un décrochage aérodynamique et une perte de contrôle après l'envol. Les procédures inappropriées employées par l'équipage de conduite et l'insuffisance de coordination entre ses membres ont amené l'avion à cabrer à une vitesse inférieure à la vitesse fixée, ce qui a contribué à l'accident.»¹

Tout en reconnaissant le rôle que le personnel d'exploitation a joué dans le déroulement des faits, l'analyse recherche les lacunes du système et admet que l'on peut faire remonter les causes profondes à des faiblesses dans la conception et la mise en oeuvre du système aéronautique.

2.1.6 Le présent chapitre traite donc de l'influence des facteurs de management sur la sécurité de l'aviation, dans la perspective d'accidents organisationnels. Son contenu, comme tous les changements ou les approches nouvelles en aviation, est plutôt *évolutionnaire* que *révolutionnaire*. En matière de prévention des accidents, les facteurs de management nous ramènent à certains des premiers textes sur la sécurité industrielle, qui datent de 40 ans ou plus; ils ont été le thème de cours de prévention depuis plus de trente ans (*Advanced Safety Management and System Safety Factors*, C.O. Miller, University of Southern California, 1965). L'objectif de ce chapitre est d'amener tous ceux qui, en aviation, prennent part au processus décisionnel — dirigeants des entreprises, services responsables de la réglementation, constructeurs et associations professionnelles notamment — à prendre conscience des effets qu'ont leurs actes ou leur absence d'action sur la sécurité aérienne. Dans tout ce chapitre, de nombreux exemples seront donnés pour éclairer notre propos. Le fait que ces exemples soient tirés de rapports d'enquêtes sur des accidents émanant de relativement peu d'États n'est aucunement à interpréter comme une appréciation négative du bilan de ces États en matière de sécurité ou comme une critique gratuite à l'endroit de leur administration ou de leur système aéronautique. C'est au contraire une reconnaissance implicite de l'intérêt qu'ils portent à la sécurité, puisque ces États, faisant oeuvre de pionniers dans l'application de la perspective que préconise ce chapitre, sont parmi ceux qui, dans le concert des nations, se distinguent par leurs efforts dans ce domaine.

2.1.7 Le présent chapitre comprend:

- une introduction aux idées actuelles en matière de sécurité, montrant l'évolution qui s'est produite, l'attention se déplaçant des individus vers les organisations;
- des exemples montrant comment des accidents peuvent provenir de déficiences du système dont les origines

sont fort éloignées du site où ils se produisent, avec présentation des concepts d'organisation sûre ou peu sûre;

- des indications qui aideront les décideurs à prendre conscience des raisons pour lesquelles il convient qu'ils agissent sur la sécurité, ainsi que des exemples de ce qu'ils peuvent faire pour la promouvoir.

2.2 DES INDIVIDUS AUX ORGANISATIONS

«Le samedi 26 avril 1986 à 01 h 24, deux explosions ont fait sauter la dalle de béton de 1 000 tonnes qui assurait l'étanchéité du réacteur n° 4 de la centrale de Tchernobyl, libérant dans le voisinage immédiat des fragments du coeur du réacteur en fusion et dégageant dans l'atmosphère des produits de fission. Cet accident, le pire de l'histoire de la production commerciale d'énergie nucléaire, a jusqu'à présent coûté 30 vies humaines, contaminé quelque 1 000 kilomètres carrés de terrain autour de la centrale ukrainienne et sensiblement accru le risque de décès par cancer dans une vaste zone débordant sur la Scandinavie et l'Europe occidentale ... Deux questions viennent immédiatement à l'esprit: 1) Comment et pourquoi un groupe de techniciens soucieux de bien faire, très motivés et compétents (du moins à ce qu'on en dit), a-t-il pu commettre précisément l'ensemble d'erreurs et d'infractions aux règles de sécurité qui était susceptible de faire exploser ce réacteur apparemment sûr? 2) Pareille chose pourrait-elle arriver ici?»²

2.2.1 Pour pouvoir répondre à ces questions, il faut noter tout d'abord que le personnel d'exploitation n'agit pas isolément, mais planifie et exécute ses interventions dans un milieu socialement structuré. Il fait partie d'une *organisation* et, en fonctionnant dans un contexte de division du travail et de hiérarchie de l'autorité, cherche à réaliser un objectif ou un ensemble d'objectifs.³ Le personnel d'exploitation est *organisé*, ce qui implique l'existence d'une répartition, d'une coordination et d'une synchronisation des tâches et d'objectifs partagés, ainsi que l'acceptation d'une autorité commune. De plus, ce personnel n'agit pas dans le vide. Ses actes et ses attitudes mettent en cause et représentent ceux qui l'emploient. Par exemple, une attitude peu respectueuse de l'application disciplinée des procédures ne s'installe pas du jour au lendemain; elle se développe après une exposition prolongée à un climat de laxisme.⁴

2.2.2 Il faut aussi savoir que pendant la seconde moitié du vingtième siècle des systèmes et des organisations techniques de grande envergure se sont solidement implantés au cours de ce que l'on a appelé la «deuxième révolution industrielle».⁵ L'expression *systèmes sociotechniques*, qui remonte à 1960, désigne des organisations qui utilisent à grande échelle la haute technologie. L'industrie aérospatiale, la production d'énergie nucléaire, le transport maritime, le transport ferroviaire et l'industrie chimique en sont des exemples. Dans ces systèmes, les organisations conjuguent deux éléments pour atteindre leurs objectifs: l'élément

technique (la technologie) et l'élément humain, qui entrent en interaction à chaque interface homme-machine. Extrêmement interdépendants, ces éléments opèrent dans un contexte de *causalité conjointe*, humains et machines étant affectés par les *mêmes* événements causaux dans leur environnement.⁶ Dans les systèmes sociotechniques, les organisations poursuivent des *objectifs de production*: transport de voyageurs et de marchandises dans les systèmes aérospatial, maritime et ferroviaire, production d'énergie dans les centrales nucléaires, etc. De façon caractéristique, les déficits de sécurité dans ces systèmes ont des conséquences catastrophiques en perte de vies humaines et de biens, parce qu'il s'agit d'activités à hauts risques, comportant des dangers considérables. Dans les systèmes technologiques de grande envergure, les dangers potentiels sont concentrés en certains sites, sous le contrôle d'un personnel d'exploitation relativement peu nombreux: opérateurs de salle de commande dans une centrale nucléaire, équipage de conduite dans un aéronef, etc.⁷ Pour ce qui est du système aéronautique, les organisations qui le constituent sont les compagnies aériennes et autres exploitants, les constructeurs, les aéroports, le contrôle de la circulation aérienne, les services météorologiques, les administrations de l'aviation civile, les organes chargés des enquêtes sur la sécurité, les organisations internationales (OACI, JAA, EUROCONTROL, etc.) et les associations professionnelles (IATA, IFALPA, IFATCA, ISASI, etc.).

2.2.3 Du fait de l'étroite interdépendance entre les humains et la technologie, des changements complexes, qui passent souvent inaperçus, peuvent se produire avec le temps dans les systèmes sociotechniques. C'est pourquoi, lorsqu'on s'intéresse à la sécurité de ces systèmes, c'est une démarche étroite et restrictive que de rechercher les explications d'accidents ou de carences de la sécurité en termes exclusivement techniques ou dans la seule perspective des sciences du comportement, c'est-à-dire de l'erreur humaine. L'analyse d'accidents graves dans les systèmes technologiques a montré clairement que l'on peut faire remonter les précurseurs d'une catastrophe à des faiblesses identifiables de l'organisation. On constate souvent que divers événements fâcheux, tous susceptibles de contribuer à un accident, définissent une «période d'incubation», qui se mesure souvent en années, avant qu'un événement initiateur, tel qu'une anomalie de fonctionnement, précipite une catastrophe. Dans les activités de prévention des accidents concernant les systèmes sociotechniques, on reconnaît que les grands problèmes de sécurité ne relèvent exclusivement ni de l'élément humain ni des éléments techniques, mais procèdent plutôt d'interactions encore mal comprises entre les humains et la technologie,⁸ l'environnement dans lequel se produisent ces interactions influençant davantage encore leur complexité.

2.2.4 Ces principes de base étant acquis, cherchons à allier la théorie à la pratique pour répondre aux questions posées en 2.2. Dans la perspective de la sécurité des systèmes sociotechniques, les ingrédients de la catastrophe de Tchernobyl existaient manifestement à bien des niveaux. Il y avait une *entreprise* chargée de produire de l'énergie au moyen d'importantes centrales; un *système* complexe (caractérisé par un grand nombre de paramètres de fonctionnement suscep-

tibles d'interactions), potentiellement dangereux, très spécialisé (avec relativement peu de moyens de réaliser un objectif donné), opaque (avec de nombreuses boucles de retour d'information mal connues ou non sollicitées) et qui fonctionnait dans des conditions limites; une *structure de management* monolithique, lointaine et lente à réagir; et des *opérateurs* ne comprenant que dans une mesure limitée les interdépendances du système qu'ils faisaient fonctionner et, en tout état de cause, travaillant dans des conditions qui rendaient les transgressions inévitables.⁹ Il s'agit là de facteurs qui ne sont pas propres à un État quel qu'il soit, ni propres à la production d'énergie nucléaire. Remplaçons quelques termes et cette description devient un schéma applicable aux accidents d'aviation n'importe où dans le monde, comme le montre l'exemple qui suit.

2.2.5 Le 1^{er} février 1991, un Boeing 737 a heurté un SA-227-AC (Fairchild Metroliner) alors qu'il se présentait pour atterrir sur la piste 24 gauche de l'aéroport international de Los Angeles (*entreprise qui se consacre à la production à grande échelle de transport de technologie avancée*). En position de départ sur la piste, à une intersection, le Metroliner attendait l'autorisation de décoller. Du fait de la lumière éblouissante sur l'aire de trafic, les avions étaient difficilement visibles du haut de la tour de contrôle (*système fonctionnant dans des conditions limites*). Les deux avions ont été détruits et 34 personnes ont perdu la vie. L'énoncé de la cause probable est formulé comme suit (les indications en italique ont été ajoutées):

«Le National Transportation Safety Board considère que la cause probable de l'accident est l'omission, de la part des responsables du contrôle de la circulation aérienne de Los Angeles, de mettre en oeuvre des procédures qui auraient assuré une redondance comparable à celle qu'imposent les normes nationales de positionnement [des avions], ainsi que l'omission, de la part du service ATC de la FAA de donner des directives adéquates et de superviser les responsables de ses organes de contrôle de la circulation aérienne [*structure de management lente à réagir*]. Ces déficiences ont créé dans la tour de contrôle de l'aéroport de Los Angeles un environnement de travail qui a finalement amené le contrôleur local 2 (LC2) à ne pas se tenir constamment informé de la situation du trafic, ce qui a abouti aux autorisations intempestives et à la collision qui a suivi ... [*opératrice ayant une compréhension limitée du système qu'elle contrôlait, affectée à une tâche qui rendait des violations inévitables; système opaque*]. Le fait que la FAA n'ait pas prévu pour le système ATC une assurance qualité efficace [*structure de management lente à réagir; système rigide, dangereux, complexe*] a contribué à l'accident.»¹⁰

2.2.6 Cette analyse tient compte de tous les éléments énoncés dans les paragraphes qui précèdent. Elle s'attache aux éléments humains et aux éléments techniques, en reconnaissant leur interdépendance et leur interaction, observant ainsi le principe de causalité conjointe. Sans les passer sous silence, elle va au-delà des interventions du personnel d'exploitation (contrôleur de la circulation aérienne et pilotes). Constatant que ces exécutants n'ont pas agi isolément, elle

scrute les carences de l'organisation et les facteurs de management qui sont intervenus pendant la «période d'incubation» de l'accident. Dans cette perspective élargie, les points faibles de la sécurité du système sont clairs comme de l'eau de roche, tout comme le sont les mesures nécessaires pour y remédier. Le plus important, c'est que cette analyse, en déterminant *pourquoi* l'accident s'est produit, indique *ce* qui ne va pas dans le système et devrait être corrigé, plutôt que *qui* a commis l'erreur et devrait être sanctionné. Comme moyens de prévention, le blâme et les sanctions n'ont en eux-mêmes guère d'intérêt.

2.2.7 Le 10 mars 1989, un Fokker F-28 Mk-1000 s'écrasait après son décollage de l'aéroport municipal de Dryden (Ontario, Canada). En tout, 24 personnes ont péri dans l'écrasement et l'incendie qui a suivi. Le rapport final de la commission d'enquête reconnaît que le décollage a été entrepris alors que de la neige et de la glace contaminaient la voilure, ce qui a finalement abouti à l'accident. Dans son analyse du système, ce rapport pose cependant des questions fondamentales: qu'est-ce qui a amené ou incité le pilote commandant de bord à prendre la décision de décoller et quels garde-fous auraient dû empêcher ou modifier cette décision? Il poursuit en ces termes:

«... Le pilote commandant de bord a pris une mauvaise décision, mais cette décision n'a pas été prise isolément. Elle a été prise dans le contexte d'un système de transport aérien intégré qui aurait dû, s'il avait bien fonctionné, empêcher la décision de décoller ... des défaillances importantes, pour la plupart indépendantes de la volonté du commandant, ont eu des incidences opérationnelles sur les événements qui se sont produits à Dryden ... il faut analyser les éléments réglementation, organisation, matériel et équipage pour déterminer comment chacun d'eux a pu influencer la décision du commandant de bord.»

Les résultats de cette analyse sont résumés comme suit dans le rapport:

«... le commandant, en sa qualité de pilote commandant de bord, doit porter la responsabilité de la décision d'atterrir à Dryden et d'en décoller ce jour-là. Cependant, il est également clair que le système de transport aérien lui a fait défaut en le laissant se mettre dans une situation où il ne disposait pas de tous les outils nécessaires pour l'aider à prendre la bonne décision.»¹¹

2.2.8 Ici encore, tous les éléments ont été envisagés. Cette démarche montre aussi qui est le mieux placé pour prendre des mesures correctives, c'est-à-dire qui peut apporter la plus grande contribution à la sécurité. S'ils avaient survécu, les membres de l'équipage de conduite auraient pu améliorer leurs performances futures — comme dernière soupape de sécurité du système — par un complément de formation, une nouvelle certification, des efforts personnels, etc. En axant les mesures correctives sur l'amélioration de la performance de cet équipage en particulier, on aurait renforcé la sécurité au niveau individuel, c'est-à-dire en ce qui concerne cet équipage seulement. La porte serait cependant restée ouverte pour que

de nombreux autres équipages de conduite opérant dans le même système non amélioré commettent des erreurs résultant de la conception imparfaite du système. Il faut donc que la principale contribution provienne des niveaux décisionnels, de ceux qui ont en définitive le pouvoir d'apporter des changements radicaux et de modifier — à l'échelle systémique — l'architecture, la conception et le fonctionnement du système.

2.2.9 D'une façon générale, il y a trois niveaux d'intervention que les décideurs peuvent choisir lorsqu'il s'agit de donner suite aux recommandations de sécurité issues d'analyses telles que celles dont les précédents paragraphes donnent des exemples:¹²

- Au premier niveau, l'intervention consiste à éliminer le danger, ce qui empêchera un futur accident. S'agissant de la collision sur la piste, par exemple, il pourrait être décidé que dans les aérodromes à pistes parallèles une piste sera utilisée pour les décollages et l'autre pour les atterrissages. Dans l'exemple du givrage, la décision pourrait être l'interdiction absolue des vols dans des conditions propices au givrage de la cellule. Ce sont les décisions les plus sûres, mais peut-être pas les plus efficaces.
- Au deuxième niveau d'intervention, on accepte le danger identifié et on adapte le système de telle sorte qu'il tolère l'erreur humaine et que la possibilité d'erreurs soit réduite. Dans ce contexte, les décisions prises à la suite d'un accident tel que celui de Los Angeles pourraient être de supprimer les décollages de nuit à partir d'une intersection ou les autorisations amenant à rouler pour prendre position sur la piste en service puis à attendre l'autorisation de décoller. Dans le cas de Dryden, la décision pourrait être de supprimer les vols à destination d'aérodromes dépourvus de moyens de dégivrage satisfaisants, ou lorsqu'il n'y a pas de dispositif antigivreur de bord en état de fonctionnement alors que les conditions météorologiques sont propices au givrage. Sans être aussi sûres que les interventions du premier niveau, ces options sont plus réalistes, plus efficaces, et elles fonctionnent.
- Au troisième niveau, l'intervention implique à la fois que l'on accepte l'idée que le danger ne peut être ni supprimé (niveau un) ni maîtrisé (niveau deux), et que l'on entraîne le personnel d'exploitation à vivre avec lui. Les interventions typiques sont notamment des changements dans la sélection, la formation, l'encadrement, l'affectation et l'évaluation du personnel, l'addition d'alarmes ou l'augmentation de leur fréquence, ainsi que toute modification propre à empêcher qu'une erreur analogue soit commise par le personnel d'exploitation.

Les interventions du troisième niveau ne devraient pas être préférées à celles du premier ou du deuxième niveau, puisqu'il est impossible de prévoir tous les types futurs d'erreur humaine. Vouloir éliminer toute erreur humaine est un objectif impossible à atteindre, sachant que l'erreur fait normalement

partie du comportement humain. Le système total (incluant l'aéronef, l'équipage, les aéroports et l'ATC) devrait identifier, tolérer et corriger l'erreur humaine. *Tolérer* est le mot clé; tant que des humains interviendront, il faut que le système soit conçu pour tolérer toute la gamme du comportement humain «normal», y compris les faiblesses humaines. Il faut qu'il soit tolérant à l'erreur.

2.2.10 Le lundi 12 décembre 1988, un train de banlieue qui s'approchait de la gare de Clapham Junction, en Angleterre, a franchi un feu de signalisation au moment où celui-ci passait soudain au rouge. Le conducteur, conformément aux consignes réglementaires, a immobilisé le convoi pour aller rendre compte téléphoniquement qu'il avait franchi un signal «danger». Pendant son absence le signal est passé du rouge au jaune, du fait d'une erreur de câblage commise par un technicien deux semaines auparavant, ce qui a permis qu'un autre train de banlieue emprunte la même voie et vienne s'écraser contre l'arrière du train immobilisé. Trente-cinq personnes ont péri et près de 500 ont été blessées, dont 69 grièvement. Selon le rapport d'enquête sur l'accident ferroviaire de Clapham Junction:

«L'importance vitale du concept de sécurité absolue a été reconnue à maintes reprises dans les témoignages que le tribunal a entendus [de la part de la direction de la compagnie de chemins de fer]. Le problème avec ces démonstrations de l'intérêt porté à la sécurité, c'est que les autres témoignages ont démontré deux choses sans contestation possible:

- i) que tous ceux qui parlaient ainsi de sécurité étaient d'une parfaite sincérité, mais néanmoins
- ii) que leurs convictions ne se sont pas traduites par des actes.

L'apparence n'était pas la réalité. Le souci de sécurité avait pu coexister avec des habitudes de travail qui ... étaient indéniablement dangereuses. La direction n'ayant jamais décelé cette malencontreuse coexistence, les mauvaises habitudes n'ont jamais été supprimées. Les meilleures intentions à propos de la sécurité au travail avaient pu aller de pair avec la pire inaction pour ce qui est de veiller à la mise en oeuvre de ces intentions dans la pratique.

Les témoignages ont donc montré que le souci de sécurité était sincère. Malheureusement, ils ont montré aussi que cette préoccupation ne s'est pas concrétisée. Il a été dit que l'on a beau se proclamer soucieux de sécurité, ce souci, s'il ne se traduit pas dans les faits, ne protège pas davantage d'un danger que s'il était inexistant.»

Se ralliant à la notion de causalité des accidents dans les systèmes sociotechniques, le rapport conclut:

«L'engagement [de la direction de la compagnie de chemins de fer] à l'égard de la sécurité est sans équivoque. L'accident et ses causes ont montré qu'un travail mal exécuté, un piètre

encadrement et un management déficient se sont conjugués pour saper cet engagement.»¹³

2.2.11 Un double message ressort de ce qui précède. D'une part, les proclamations d'intention du genre «*la sécurité est l'affaire de chacun*», truisme bien connu, ne suffisent manifestement pas; il faut que les décideurs adoptent une démarche de promotion active de la sécurité.¹⁴ D'autres soutiennent que le rôle des dirigeants dans la prévention des déficits de sécurité est un engagement quotidien et que la promotion de la sécurité par les décideurs exige une implication aussi active que celle du personnel d'exploitation. D'autre part, il serait faux et tout à fait injuste d'insinuer que les décideurs ne s'intéressent pas à la promotion de la sécurité ou qu'ils la négligent. Le rapport sur l'accident de Clapham, par exemple, démontre que le souci de sécurité était, hors de tout doute raisonnable, en position très élevée dans les pensées des décideurs. Pourquoi la pensée ne s'est-elle pas traduite en actes, comme il ressort des investigations menées dans une perspective organisationnelle? On peut répondre que c'est *faute d'une prise de conscience*. Ceux qui se trouvent aux niveaux décisionnels ne savent peut-être pas comment et pourquoi ce qu'ils font, ou ne font pas, risque de retentir sur la sécurité; et même s'ils le savent, ils n'ont peut-être pas idée de ce qu'il faut faire pour jouer un rôle actif dans les efforts pour promouvoir la sécurité. Si vous n'avez pas conscience d'un problème, alors, à toutes fins utiles, ce problème est inexistant pour vous. Si ce que nous avançons au sujet d'un manque de prise de conscience est vrai, il s'ensuit que les décideurs ont besoin des outils et des connaissances qui les mettront en mesure de s'acquitter de leurs responsabilités. Le présent chapitre n'est qu'une initiative allant dans ce sens.

2.2.12 Exprimant dans le rapport d'accident une opinion divergente sur la cause probable de la collision entre un Boeing 727 et un Beechcraft King Air A100 survenue sur une piste, un des membres de la commission d'enquête affirme:

«Je n'accepte pas l'idée selon laquelle ce sont les organisations qui causent des accidents. Ce sont les défaillances humaines et les défaillances du matériel qui les causent. Reporter sur les organisations des causes imputables à des gens estompe et dilue la responsabilité individuelle, qui revêt à mon sens une importance capitale dans le fonctionnement et la maintenance du système de transport.»¹⁵

2.2.13 Cette opinion dénote une préoccupation réelle et valable, mais reflète aussi une méprise assez répandue. Certains redoutent qu'en explorant les relations qui existent entre les facteurs humains, le management et l'organisation — et la façon dont ces relations influencent la sécurité et l'efficacité en aviation — on en vienne à perdre la notion de responsabilité individuelle. D'autres soutiennent que cela peut être aussi une façon subtile de faire endosser entièrement par les dirigeants la responsabilité de la sécurité. En fait, le concept d'accidents d'organisation représente une vision élargie de la sécurité d'un système, qui n'entend ni déplacer la responsabilité ou le blâme en l'imputant aux dirigeants plutôt qu'au personnel d'exploitation, ni écarter la responsabilité individuelle. D'abord, répétons-le, le blâme est un processus

socio-psychologique dans lequel interviennent auto-préservation et désaveu et qui n'a guère d'utilité pour la sécurité ou la prévention. Ensuite, nul ne prétend que le personnel d'exploitation ne commet jamais d'erreurs en l'absence d'éléments initiateurs: il ne fait aucun doute qu'il en commet parfois. Ce que nous soutenons, c'est que l'on se rend compte depuis longtemps de ce potentiel d'erreurs et que les mesures propres à atténuer ses effets sont assez bien connues. Ce qui a plutôt été négligé, c'est les mesures qui viseraient à renforcer la tolérance du système aux erreurs humaines que commettent — du simple fait que ce sont des êtres humains, sujets aux parti pris et aux limites humaines — ceux qui se trouvent aux niveaux décisionnels du système aéronautique. Par le passé, on a réussi à faire de l'aviation le plus sûr des modes de transport de masse en circonscrivant les efforts de prévention au poste de pilotage, à la position de travail ATC, à l'atelier de maintenance ou à d'autres interfaces homme-système. De nos jours *et* dans l'avenir, une telle approche pourrait se révéler d'une utilité limitée pour la sécurité, sinon vaine.

2.3 ORGANISATIONS SÛRES ET ORGANISATIONS PEU SÛRES

2.3.1 Recourant à la métaphore, les chercheurs qui étudient les organisations ont pris l'habitude de comparer celles-ci à des organismes vivants, et notamment à l'être humain. Ils regardent les organisations comme des structures vivantes complexes, avec un cerveau, un corps, une personnalité et des objectifs. À l'instar des êtres humains, les organisations luttent pour survivre dans un milieu en constant changement.¹⁶ Les textes qui traitent des organisations posent comme prémisses de base que «... les organisations pensent. Comme les personnes, elles ont une conscience, une mémoire, elles sont aptes à poser des problèmes et à les résoudre. Leur manière de penser exerce une forte influence sur la création ou l'élimination des dangers.»¹⁷ Dans cette comparaison, les dirigeants et décideurs sont le cerveau; les hiérarchies, les services et autres structures permanentes — dont le personnel — sont le corps; enfin, la culture d'entreprise est assimilée à la personnalité. En matière de facteurs humains, on s'est traditionnellement intéressé surtout au cerveau, au corps et à la personnalité des êtres humains, ainsi qu'à leurs interactions avec l'environnement. Il s'agit soit de favoriser les comportements qui privilégient la sécurité, soit de décourager les comportements risqués, afin d'améliorer la sécurité et l'efficacité du système aéronautique ainsi que le bien-être des humains dans ce système. Les idées et les techniques des facteurs humains peuvent être appliquées aussi aux organisations. Le présent chapitre emprunte à la métaphore de l'organisme et traite des éléments des organisations qui sont les équivalents du cerveau, du corps, de la personnalité et des objectifs. Ainsi, la mise en évidence des caractéristiques des organisations sûres ou peu sûres, et des comportements organisationnels sécuritaires ou non, peut être considérée comme une contribution de plus à la poursuite de la sécurité, de l'efficacité et du bien-être des individus dans le système aéronautique. L'étude menée dans le monde entier en 1986 par un important

aviateur (voir 2.5.1 et 2.5.2) témoigne de la pertinence de ces concepts.

2.3.2 Les organisations ont des *objectifs*, habituellement en rapport avec une production: construire des avions ou toute autre sorte d'équipement, acheminer des passagers, transporter des marchandises, etc. Réaliser des bénéfices pour les actionnaires est un des objectifs de nombreuses organisations. Dans l'aviation, la plupart des organisations sont constituées pour atteindre un certain objectif ou but pratique, *et la sécurité n'est pas le but primordial*. La sécurité s'intègre dans les objectifs des organisations, mais de façon accessoire, pour réaliser en toute sécurité les objectifs de production sans exposer la vie humaine ou endommager les biens matériels.¹⁸ C'est pourquoi il est essentiel, avant de traiter d'organisations sûres ou peu sûres, de mettre en perspective la sécurité, pour déterminer où elle s'intègre dans les objectifs des organisations d'aviation. Dans une perspective organisationnelle, la sécurité devrait être regardée comme une méthode de préservation de toutes les sortes de ressources, et notamment de maîtrise des coûts. La sécurité permet aux organisations de poursuivre leurs objectifs de production avec le minimum de dommages pour l'équipement et le personnel. Elle aide la direction à réaliser ces objectifs avec le minimum de risques.¹⁹ Il existe en aviation un élément de risque qui ne peut être éliminé mais que des programmes de gestion du risque permettent de maîtriser, en remédiant aux déficits de sécurité avant qu'un accident se produise. Ces programmes sont un outil indispensable aux décideurs pour formuler des décisions sur le risque et contribuer à la sécurité tout en poursuivant les objectifs de production de leur organisation.²⁰ Les concepts de base relatifs à la gestion du risque sont exposés dans le *Manuel de prévention des accidents* de l'OACI (Doc 9422) et il en sera question ci-après en 2.5.5.

Culture d'entreprise

2.3.3 La *culture d'entreprise* est au comportement d'une organisation ce que la personnalité est au comportement humain. Le 4 mars 1987, un CASA C-212-C s'écrasait tout au début de la piste 21R de l'aéroport Metropolitan de Detroit (Michigan, États-Unis); 9 des 19 personnes se trouvant à bord ont péri. D'après l'exposé des causes probables, le commandant de bord n'a pu rester maître de l'avion alors qu'il s'efforçait de le tirer d'une situation de vol à puissance dissymétrique à faible vitesse, consécutive à l'utilisation intentionnelle qu'il avait faite de l'inversion de pas (mode bêta) des hélices pour descendre et ralentir rapidement en approche finale. Cette façon de procéder était rigoureusement interdite, aussi bien par le manuel de vol de l'avion que par les consignes de pilotage de la compagnie. L'enquête a en outre révélé que ce n'était pas la première fois que ce commandant — par ailleurs un aviateur capable et compétent — recourait à cette procédure. Plusieurs questions se posent immédiatement:

- Si les procédures de la compagnie étaient exposées clairement, pourquoi ce commandant ne les a-t-il pas suivies?

- Si l'utilisation en vol du mode bêta était rigoureusement interdite et si ce commandant a [fréquemment] omis de tenir compte de cette consigne, qu'est-ce qui a empêché les autres pilotes témoins de ce comportement d'en référer à la compagnie?
- Si l'emploi en vol du mode bêta était interdit par le manuel de vol, pourquoi était-il à la disposition des équipages de conduite?
- Pourquoi l'inobservation par ce commandant des procédures de la compagnie et du manuel de vol de l'aéronef est-elle restée ignorée jusqu'à ce qu'un accident la fasse découvrir?
- Enfin, si la compagnie avait connu les habitudes de pilotage de ce commandant, aurait-elle pris des mesures quelconques, et aurait-elle pu le faire?²¹

2.3.4 Sur la base d'une étude approfondie du rôle significatif qu'a joué la culture d'entreprise dans l'écrasement d'un avion d'Air Ontario à Dryden (Ontario, Canada), le rapport final de la commission d'enquête suggère une réponse à ces questions:

«... même dans les organisations très soucieuses de normalisation ... des sous-cultures informelles tolèrent ou encouragent souvent des habitudes qui s'écartent des principes ou des normes du règlement de l'organisation ... La preuve de l'inobservation des procédures se trouve dans des pratiques plusieurs fois signalées ... donnant à penser que la culture [d'entreprise] peut avoir amené les équipages à s'arroger une latitude considérable en prenant la décision de décoller avec une voilure contaminée ... pratique qui n'était malheureusement pas prohibée sans équivoque par le règlement [de l'administration de l'aviation civile] alors en vigueur ...».²²

Ceci amène d'autres questions: Qu'est-ce que la culture? Les décideurs peuvent-ils influencer la culture d'entreprise? Dans l'affirmative, que peuvent faire les décideurs pour exercer cette influence?

2.3.5 On entend par culture des croyances et des valeurs qui sont partagées par tous, ou presque tous, les membres d'un groupe. La culture façonne le comportement d'une personne et structure sa vision du monde. Dans ce sens, la culture est une programmation mentale collective qui distingue un groupe humain d'un autre. La culture définit les valeurs et prédispose à des attitudes, exerçant une influence souveraine sur le comportement d'un groupe particulier. Les normes sont pour un groupe les modèles les plus courants et les plus acceptables de valeurs, d'attitudes et de comportements. Pour assurer leur application, on désavoue ceux qui les transgressent; la rigueur avec laquelle une culture sanctionne les contrevenants témoigne de l'importance qu'elle attache aux normes. Pendant des années, on a pensé que les organisations échappaient à l'influence des faits culturels et n'étaient soumises qu'à celle des technologies qu'elles utilisent ou des tâches qu'elles accomplissent. Les recherches ont cependant montré que la

culture influence profondément le comportement des organisations.^{23,24} Si une organisation tente de transmettre des valeurs ou de préconiser des comportements différents de ceux de la culture d'organisation ou d'entreprise existante ou perçus comme contraires aux objectifs poursuivis, l'adoption de ces valeurs ou de ces comportements nécessitera beaucoup de temps et d'efforts; elle pourra même être tout à fait impossible. Une culture d'entreprise peut aussi permettre ou empêcher les infractions puisque celles-ci ont lieu dans des circonstances où les valeurs que partagent les membres du groupe favorisent certaines attitudes ou certains comportements. En bref, un groupe s'accommodera de n'importe quelles normes instituées pour une organisation et fera ce qu'il *pense ou a l'impression* que la direction veut vraiment.

2.3.6 L'explication du comportement apparemment indiscipliné du commandant de l'avion accidenté à Detroit doit être recherchée dans l'existence d'une culture d'entreprise qui tolère de telles pratiques et dans l'absence de normes qui les condamneraient. Rien ne le montre mieux que le silence entourant les libertés manifestes que ce pilote s'est permis à l'égard des procédures établies. Une attitude d'inobservation des politiques de l'organisation ou des normes réglementaires n'est pas une simple affaire de facteurs humains dans le poste de pilotage, car elle n'apparaît pas du jour au lendemain. Des approches rapides, «efficaces», qui gagnent du temps — tous les moyens étant bons pour les effectuer — doivent sans aucun doute avoir été la norme admise dans la sous-culture professionnelle de l'organisation considérée. Aucune réprobation n'a dû être explicitement formulée quant aux transgressions constatées et c'est ainsi qu'un tel laxisme est devenu, au fil du temps, une programmation mentale collective, favorisant cette attitude de prise de risques, et d'autres sans doute, dans la poursuite des objectifs de l'organisation. En définitive, les pilotes en sont arrivés, sur la base de l'expérience acquise dans leur travail, à percevoir de telles attitudes et de tels comportements comme étant la norme attendue d'eux par la direction et ils ont agi en conséquence.

Culture d'entreprise sécuritaire ou non

2.3.7 La culture, comme la personnalité, comporte des traits de caractère profondément ancrés et oppose une extrême résistance au changement. Celui-ci est possible, mais comme tout ce qui touche aux traits de personnalité, il s'opère lentement, au fil de longues périodes. En définissant ce qui constitue une culture d'entreprise bien en phase avec la sécurité et ses caractéristiques, les dirigeants peuvent modifier et améliorer la culture d'entreprise existante par la valorisation d'exemples compatibles avec l'ensemble du système de valeurs. Une culture valorisant la sécurité peut être considérée comme un ensemble de croyances, de normes, d'attitudes, de rôles ainsi que de pratiques sociales et techniques propres à une organisation soucieuse de minimiser l'exposition de ses employés, de ses cadres et de ses clients, ainsi que du grand public, à des conditions considérées comme dangereuses.²⁵ C'est une culture qui encourage chez ses adeptes une attitude

soucieuse des conséquences de leurs actions, qu'il s'agisse des conséquences matérielles ou des effets possibles sur les personnes.²⁶

2.3.8 D'une façon générale, les caractéristiques qui définissent une culture de la sécurité, caractéristiques que les décideurs devraient prendre en compte lorsqu'ils façonnent une culture d'entreprise ainsi orientée, sont notamment les suivantes:

- la haute direction insiste fortement sur la sécurité comme élément de la stratégie de maîtrise des risques;
- les décideurs et le personnel d'exploitation ont une perception réaliste des risques à court et à long terme que comportent les activités de l'organisation;
- les dirigeants n'usent pas de leur influence pour imposer leurs façons de voir ou éviter les critiques en matière de sécurité;
- les dirigeants mettent en oeuvre des mesures visant à circonscrire les conséquences des déficits de sécurité identifiés;
- les dirigeants favorisent un climat d'ouverture aux critiques, aux commentaires et aux réactions des échelons inférieurs de l'organisation;
- il existe à tous les niveaux de l'organisation une conscience de l'importance de la transmission des informations relatives à la sécurité (tant au sein de l'organisation qu'à des entités externes);
- des règles appropriées, réalistes et applicables sont adoptées à l'égard des risques, de la sécurité et des causes potentielles de dommages, avec l'adhésion et le soutien de toute l'organisation;
- le personnel est bien entraîné, bien formé et comprend parfaitement les conséquences de pratiques risquées.

2.3.9 Le 19 octobre 1984, un Piper PA-31 Navajo se rendant de nuit, en IFR, d'Edmonton à Peace River, s'écrasait dans le relief à 20 milles au sud-est de High Prairie (Alberta, Canada). L'accident a coûté la vie à six passagers, tandis que le pilote et trois autres passagers ont survécu. L'enquête a déterminé que le pilote était descendu dans les nuages au-dessous de l'altitude minimale de franchissement d'obstacles, infraction qui a abouti à l'accident. Cependant, un objectif important du Bureau canadien de la sécurité aérienne a été de «... découvrir les circonstances qui ont amené le pilote à s'écarter des pratiques de pilotage admises et sûres ... *S'il est vrai que dans le poste de pilotage d'un aéronef la décision incombe en dernier ressort au commandant de bord, cette décision est souvent influencée par des facteurs sur lesquels il n'a aucun pouvoir direct ...*» (C'est nous qui soulignons.)

2.3.10 Ayant décidé d'enquêter sur les conditions de travail dans la compagnie, le Bureau a établi ce qui suit:

«Au début de 1984, la Direction Transporteurs aériens de Transports Canada avait remarqué que la communication entre les pilotes et la direction de la compagnie laissait à désirer. Le chef pilote avait alors été averti du problème ...»

«Les équipages ... devaient s'acquitter de leur travail sans autre supervision et devaient respecter le plus rigoureusement possible l'horaire publié ... certains pilotes travaillaient six jours par semaine et devaient se tenir prêts à être appelés par téléavertisseur pendant leur journée de congé ...»

«Des pilotes ont signalé qu'ils se sentaient soumis à une pression subtile mais certaine pour que les vols soient effectués ... le chef pilote donnait l'exemple de l'inobservation des limites météorologiques réglementaires ...»

«Les pilotes ... étaient incités par la direction de la compagnie à déposer des plans de vol VFR même si les conditions météorologiques étaient proches des limites ... Le régime VFR prenait moins de temps, consommait moins de carburant et facilitait les arrivées ... Des pilotes ont reconnu avoir annulé des plans de vol IFR alors qu'ils étaient encore en IMC ... ils descendaient souvent au-dessous des minimums météorologiques réglementaires pour s'efforcer d'atterrir ...»

«... le personnel appréhendait de faire quoi que ce soit que la direction aurait pu considérer comme n'étant pas au mieux des intérêts de la compagnie. Les confrontations entre les pilotes et la direction, signalées comme fréquentes, aboutissaient souvent à la démission de l'employé, pour éviter un renvoi imminent ... La direction de la compagnie ne considérait pas les échanges comme conflictuels ...»

Le rapport conclut:

«La procédure de descente utilisée par le pilote était semblable à celle qu'il avait utilisée six semaines plus tôt à High Prairie, lors de sa mise en ligne, avec un pilote confirmé de la compagnie. Le pilote savait que cette descente n'était pas réglementaire mais *il la croyait sûre.*» (C'est nous qui soulignons.)

Ce raccourci

«... aurait dû permettre au pilote de rattraper son retard. En respectant l'horaire, il espérait éviter d'autres dissensions avec la direction et prolonger ainsi la durée de son emploi à la compagnie.»²⁷

2.3.11 On voit aisément le contraste entre ces extraits de la partie du rapport officiel qui nous intéresse ici et les caractéristiques, énumérées en 2.3.8, d'une saine culture d'entreprise. On y trouve aussi des indications sur les domaines dans lesquels des mesures correctives prises par les décideurs peuvent influencer sur la culture d'entreprise et la modifier.

Structure des organisations

2.3.12 La *constitution d'une organisation*, c'est-à-dire ses structures et hiérarchies permanentes, est à sa performance ce que la constitution corporelle est à la performance humaine. Le rôle de l'organisation et de sa structure est de faciliter les interfaces entre services, en reliant ceux-ci et en assurant leur cohésion.²⁸ Le 18 novembre 1987, c'est probablement un mégot qui a mis le feu à des déchets très inflammables qu'on avait laissés s'accumuler dans les rails d'un escalier automatique à la station de métro King's Cross, à Londres, en Angleterre. Un court-circuit avec jaillissement d'étincelles a fini par se produire; 31 personnes ont perdu la vie et de nombreuses autres ont été grièvement blessées. Selon le rapport d'enquête auquel cet incendie a donné lieu:

«... les rails n'étaient pas régulièrement nettoyés, en partie parce que des changements dans l'organisation avaient rendu floues les responsabilités relatives à l'entretien et au nettoyage ... Les spécialistes de la sécurité, qui relevaient de trois directions générales, insistaient sur la sécurité du travail et la sécurité d'exploitation mais la sécurité des passagers était négligée ... En matière de lutte contre l'incendie et d'intervention en cas d'urgence, la formation du personnel était insuffisante ... Aucun plan d'évacuation n'avait été prévu pour la station de métro King's Cross ... Les trains n'avaient pas de système d'annonce aux passagers et il n'y avait pas non plus de téléphones publics dans cette station.»²⁹

2.3.13 Les pratiques en matière de définition et d'édification de la structure des organisations retenaient l'attention des chercheurs déjà bien avant cet accident. Les enquêtes sur des catastrophes majeures, très médiatisées, survenues dans des systèmes sociotechniques amenaient en effet à penser qu'il était tout à fait possible de concevoir correctement les différents éléments de la structure d'une organisation (services, sections, etc.), de telle sorte qu'ils puissent atteindre d'une façon sûre et efficace les objectifs assignés, sans réussir pour autant à assurer la sécurité et l'efficacité de l'ensemble de l'organisation si l'on n'avait pas porté l'attention voulue à la manière dont ces éléments entrent en interaction une fois réunis. Si leur structure a été conçue de façon aléatoire, les organisations risquent de céder lorsqu'elles fonctionnent sous pression (de façon tout à fait comparable, des affichages ou des commandes mal conçus occasionneront l'erreur humaine et provoqueront des déficits de sécurité sous les pressions de l'exploitation).

2.3.14 Il y a plusieurs caractères d'une organisation dont les décideurs devraient tenir compte lorsqu'ils définissent sa structure:

- La *complexité*, ce qui comprend le nombre de niveaux d'encadrement nécessaires, la division du travail et la spécialisation des emplois (par services et par sections), ainsi que la mesure dans laquelle le personnel et les installations d'exploitation doivent être géographiquement dispersés ou centralisés et l'importance des mécanismes intégrés dans l'organisation pour faciliter les communications entre les différents niveaux.

- La *normalisation*, liée à la complexité du travail et au niveau de professionnalisme des employés. D'une façon générale, plus le travail est simple (fabrication en série, par exemple) et plus grands sont les avantages de la normalisation; par contre, plus le travail est complexe (p. ex. tâches de gestion exigeant un haut niveau de professionnalisme) et moins la normalisation est souhaitable. En aviation, cependant, les activités d'exploitation font largement appel à des «procédures», même aux plus hauts niveaux professionnels. Les tâches complexes, telles que la gestion du poste de pilotage, nécessitent *à la fois* des niveaux élevés de professionnalisme et de normalisation.
- La *centralisation* du processus formel de prise de décision, qui dépend de la stabilité de l'environnement et de la prévisibilité de son évolution: un environnement imprévisible doit être peu centralisé, afin qu'un changement inopiné suscite une réaction rapide.
- L'*adaptabilité à l'environnement*.³⁰ C'est la clé du succès des organisations et, en fin de compte, de leur survie. Un environnement incertain est le plus puissant de tous les facteurs systémiques qui influent sur la conception d'une organisation. Dans les environnements très incertains, il convient que les organisations soient souples et qu'elles soient capables de réagir rapidement aux changements. Dans des environnements très stables, une conception assurant stabilité et maîtrise est souhaitable pour assurer une efficacité maximale.³¹

2.3.15 Tous ces caractères d'une organisation ont des incidences sur la performance humaine, laquelle, à son tour, retentit sur la manière dont l'organisation réalise ses objectifs, notamment en matière de sécurité. La relation entre la structure de l'organisation et les déficits de sécurité constatés lors de l'incendie de la station de métro King's Cross est manifeste. Des organisations dont la structure est inutilement complexe (niveaux de management trop nombreux ou subdivision excessive en services) favorisent la dilution des responsabilités et l'absence de responsabilité redditionnelle. Elles ont aussi tendance à rendre plus difficiles les communications entre services. Des communications apathiques entre services, notamment en ce qui concerne la sécurité, réduisent les marges et favorisent des ruptures de la sécurité, comme le montre ce rapport d'accident.

2.3.16 Le 17 février 1991, un avion de type DC-9, série 10, aménagé pour le transport du fret, s'écrasait au décollage de l'aéroport international de Cleveland-Hopkins (Ohio, États-Unis). Les deux pilotes ont été mortellement blessés et l'avion a été détruit. L'équipage n'avait pas décelé ni enlevé le givre qui contaminait la voilure. En enquêtant, le NTSB a établi que plusieurs organisations aéronautiques connaissaient depuis des années la propension des avions de cette série particulière à ne pas répondre aux commandes en présence de la moindre accumulation de givre sur la voilure. Le constructeur avait publié de nombreux articles à ce sujet et trois accidents survenus précédemment à des avions de même type avaient été attribués à la même cause. Le rapport

d'accident indique cependant que, faute d'une structure de communication appropriée:

«... il n'y avait aucun moyen de s'assurer que les renseignements d'importance critique parvenaient à tous les pilotes de ces avions ... L'indication la plus critique qui n'a pas été communiquée à l'équipage la nuit de l'accident était l'information, apparemment facile à obtenir et connue de quasiment toute la communauté aéronautique, selon laquelle les avions DC-9 de la série 10 sont sensibles à la moindre présence de givre sur l'extrados des ailes.»

Le rapport conclut:

«Le National Transportation Safety Board considère que la cause probable de cet accident a été le fait que l'équipage de conduite n'ait pas décelé et fait disparaître le givrage qui contaminait la voilure de l'avion, ceci étant dans une large mesure le résultat de l'absence de réaction appropriée de la Federal Aviation Administration, du constructeur Douglas Aircraft Company et du transporteur aérien Ryan International Airlines à l'effet critique connu de la moindre contamination sur les caractéristiques de décrochage de l'avion DC-9, série 10 ...»³²

Respect de la réglementation

2.3.17 Quand les responsabilités internes en matière de sécurité ne sont pas clairement définies, les organisations ont tendance à compter plus qu'il ne faudrait sur des entités externes, c'est-à-dire sur les services responsables de la réglementation. La réglementation remplit un rôle en ce sens que certaines procédures ou certains équipements de sécurité n'auraient jamais été adoptés sans elle. Toutefois, elle représente habituellement un niveau *minimal* d'adhésion aux principes de sécurité; de plus, si une réglementation est appliquée de façon formelle alors que sa signification s'est perdue, la raison initiale de son adoption est vite oubliée. Il s'ensuit que la législation est, au mieux, un moyen d'action limité sur le comportement humain. Le règlement ne peut pas prévoir tous les risques qui interviennent en aviation, puisque chaque accident est unique en son genre; d'où l'importance de programmes de gestion des risques tels que ceux dont il est question en 2.5.5. En général, les organisations qui comptent beaucoup sur la réglementation pour assurer la sécurité ne possèdent pas de structure de gestion des risques. La meilleure illustration du danger qu'il y a à trop s'en remettre à la réglementation au lieu d'établir une structure de gestion des risques bien organisée figure dans l'énoncé liminaire de la conclusion de la plupart des rapports d'accidents: «... l'avion était certifié, équipé et entretenu conformément à la réglementation en vigueur et aux procédures homologuées ... les membres de l'équipage étaient titulaires des licences et qualifications requises et possédaient l'expérience de leurs fonctions ...». Pourtant, l'accident s'est produit.

2.3.18 Le lundi 14 novembre 1988, un avion Embraer 110 Bandeirante assurant un service régulier de transport de passagers s'écrasait près de l'aéroport d'Ilmajoki, en Finlande.

La commission d'enquête finlandaise est parvenue à la conclusion que la cause immédiate de cet accident était la décision [de l'équipage] de poursuivre l'approche au NDB au-dessous de l'altitude minimale de descente, sans avoir le contact visuel nécessaire. Elle a mis en évidence également comme un des facteurs ayant contribué à l'accident les pressions axées sur la performance, attribuables à un déficit de la culture de la compagnie en matière de sécurité. À propos des problèmes d'organisation susceptibles d'avoir contribué à l'accident, l'enquête a révélé:

«... de sérieuses lacunes dans l'exploitation de la compagnie ainsi que dans les activités de l'exploitant de l'aéroport et des autorités. De plus, il a été constaté que la législation était dépassée et insuffisante, spécialement en ce qui concerne les vols commerciaux.»

Le rapport est un remarquable exemple d'approche systémique de l'enquête sur un accident, ce qui le rend extrêmement riche d'enseignements pour la prévention. Il mentionne en ces termes la très importante contribution que le respect de la réglementation apporte à la sécurité:

«... La sécurité de vol dépend aussi de l'efficacité du contrôle exercé par les autorités, ainsi que des mesures prises en réaction à ce que révèle le contrôle. Si les autorités ne peuvent pas ou ne veulent pas intervenir en cas d'infraction aux règlements de sécurité, ou si des infractions passent inaperçues parce que le contrôle est inefficace, il est probable que les infractions finiront par être considérées comme une affaire mineure ...»

Ayant établi l'importance du respect de la réglementation, le rapport met en garde contre une insuffisance grave, à savoir l'application purement formelle des règlements:

«... Si les autorités ne sont pas en mesure d'évaluer les conditions concrètes d'exploitation d'une compagnie aérienne ou n'ont pas suffisamment d'autorité pour le faire, le contrôle et les mesures qui en découlent se situent alors sur un terrain purement formel. Au lieu qu'une large évaluation soit effectuée, cela amènera à juger simplement des infractions commises par des individus, sans qu'il soit possible de s'atteler aux facteurs fondamentaux dans l'organisation, ni à l'environnement d'exploitation dans lequel la sécurité est compromise ...»

La conclusion du rapport, en ce qui concerne la portée de l'application de la réglementation comme moyen de contribuer à la sécurité, ne s'applique pas seulement à l'accident en cause mais au système aéronautique dans son ensemble; elle ne laisse aucune place au malentendu:

«... au cours de l'enquête, aucune raison particulière n'a amené à mettre en doute, d'une façon générale, la compétence des pilotes ou d'autres membres du personnel d'exploitation. Ce qui est essentiellement en cause, c'est le déficit de culture de sécurité dans cette compagnie ... C'est pourquoi des mesures que les autorités aéronautiques de tutelle axeraient sur les licences et les qualifications des pilotes pris

individuellement n'auraient guère d'effet sur la sécurité d'exploitation des vols de la compagnie, à moins qu'il ne soit concurremment fait en sorte que ses dirigeants adoptent l'attitude appropriée et possèdent des qualifications suffisantes pour s'acquitter de leurs fonctions.»³³

disponibles pour la sécurité, et vice versa.³⁴ Face à ce dilemme, des organisations ayant des structures inadéquates pourraient privilégier la gestion de la production par rapport à la gestion de la sécurité ou des risques. Cette réaction, même si elle est parfaitement compréhensible, est mal avisée et contribue à creuser le déficit de sécurité. Selon le rapport d'accident sur l'incendie de la station de métro King's Cross:

2.4 AFFECTATION DE RESSOURCES

2.4.1 Dans les systèmes sociotechniques, les organisations doivent affecter des ressources pour deux objectifs distincts: production et sécurité. À long terme, ce sont des objectifs manifestement compatibles; cependant, les ressources étant limitées, il y aura sans doute de nombreux cas de conflits d'intérêt à court terme. Les ressources attribuées à la production (Figure 2-1) pourraient réduire celles qui sont

«... Le président du conseil d'administration de la société des transports régionaux de Londres ... m'a dit qu'une surveillance rigoureuse était exercée en matière financière, mais pas en matière de sécurité ... on n'avait pas installé de détecteurs de fumée, la dépense n'étant pas [considérée comme] justifiée; mis en place en 1948, le dispositif de vaporisation d'eau était trop rouillé pour pouvoir servir ... À mon avis, il se méprenait sur sa responsabilité.»

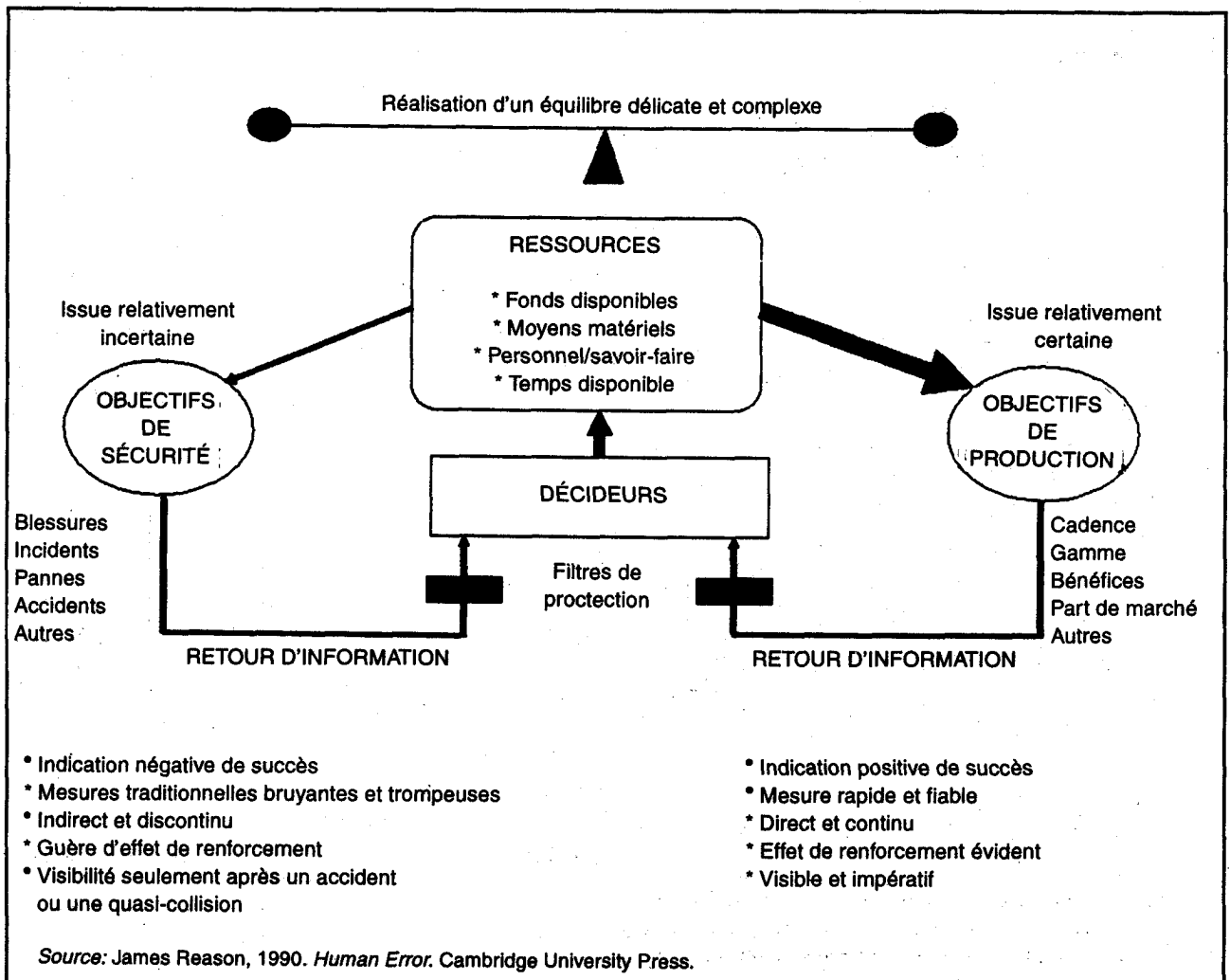


Figure 2-1. Schéma résumant certains facteurs qui contribuent à une prise de décision faillible à un niveau élevé

Le dilemme de l'attribution des ressources peut être encore compliqué par les perceptions locales de ce qui constitue un risque, ainsi que par des considérations culturelles sur l'importance de la sécurité aux yeux d'une société. On a prétendu que le nombre d'accidents qui se produisent dans un pays correspond dans une large mesure au taux d'accidents que sa population est prête à tolérer. En matière de sécurité, on n'investit que ce qu'il faut pour que ce taux ne soit pas dépassé. Le niveau de tolérance et l'importance des ressources attribuées aux fins de la sécurité varient considérablement à travers le monde de l'aviation.

Accidents dans les systèmes technologiques complexes

2.4.2 Pour en finir avec cette comparaison entre les êtres humains et les organisations, nous parlerons maintenant du cerveau, autrement dit de la *direction*. Pour comprendre comment les actions ou l'absence d'action des décideurs influent sur la sécurité, nous présenterons une vision moderne de la causalité des accidents.³⁵ L'aviation est un système socio-technique complexe dont le fonctionnement exige la coordination précise d'un grand nombre d'éléments humains et mécaniques, et auquel des moyens de défense élaborés sont nécessaires pour préserver la sécurité. Dans un tel système, les accidents résultent de la conjonction d'un certain nombre de facteurs, chacun d'eux nécessaire mais non suffisant à lui seul pour compromettre l'efficacité de ces moyens de défense. La technologie ne cessant de progresser, les grosses pannes du matériel ou les erreurs du personnel d'exploitation sont rarement à l'origine de ruptures des moyens de défense qui protègent la sécurité d'un système. Ces ruptures sont plutôt la conséquence de défaillances humaines du processus de *prise de décision*, qui se produisent surtout au niveau du management.

2.4.3 Selon que les conséquences sont immédiates ou non, on parle de *défaillances actives* à propos d'erreurs ou d'infractions ayant un effet néfaste immédiat, qui sont généralement associées au personnel d'exploitation (pilote, contrôleur, mécanicien, etc.) et de *défaillances latentes*, qui sont des décisions ou des actions dont les conséquences peuvent rester longtemps en dormance. Les défaillances latentes se révèlent sous l'effet déclencheur de défaillances actives, de problèmes techniques ou de conditions défavorables dans le système, rompant les moyens de défense de celui-ci. Présentes dans le système bien avant l'accident, elles peuvent fort bien avoir été engendrées par des décideurs, des auteurs de règlements ou d'autres acteurs très éloignés de l'événement, dans le temps et dans l'espace. À l'interface homme-machine, les personnels d'exploitation héritent des défauts du système, que ceux-ci proviennent d'une conception déficiente, d'objectifs conflictuels, d'une organisation défectueuse ou de mauvaises décisions des dirigeants. Ils créent simplement les conditions dans lesquelles les défaillances latentes pourront se manifester. Les efforts de promotion de la sécurité devraient viser à déceler ces défaillances latentes et à y remédier, plutôt qu'à réduire les défaillances actives par des interventions localisées. Les défaillances actives ne sont que le proverbial sommet de l'iceberg.

2.4.4 Les contributions humaines aux accidents sont illustrées par les Figures 2-2 et 2-3. La plupart des défaillances latentes ont leur origine profonde dans des erreurs de décideurs. Même dans les organisations les mieux dirigées, un certain nombre de décisions importantes auront un mauvais côté, pour la bonne raison qu'elles sont prises par des humains, sujets comme tels à des partis pris et à des limites, aussi bien qu'à des contraintes contextuelles. Puisque certaines de ces décisions compromettant la sécurité ne peuvent pas être prévenues, il faut prendre des dispositions pour les détecter et pour en réduire les conséquences néfastes. Des décisions faillibles prises au niveau de l'encadrement hiérarchique peuvent prendre la forme de procédures inadaptées, d'une programmation peu judicieuse des horaires ou de négligence à l'égard de dangers manifestes. Elles peuvent avoir pour résultat des compétences insuffisantes, des règles inappropriées ou un déficit de connaissances; elles peuvent également se traduire par une piètre planification ou par une exécution du travail laissant à désirer. Elles peuvent aussi avoir pour cause le manque de ressources.

2.4.5 La manière dont la direction réagit aux informations relatives à la sécurité est d'une importance vitale, car la sécurité ne pourra être renforcée que si des mesures correctives efficaces sont prises en temps voulu. Cette réaction de la direction pourra prendre diverses formes: *mesures de rejet*, désavouant les «contrevenants» ou récusant la validité de leurs observations, *mesures de réparation*, dont l'objet est de ramener les «contrevenants» à la discipline, de leur donner une nouvelle affectation, ou de modifier les éléments matériels dangereux pour empêcher la répétition d'une défaillance déjà constatée; *mesures de réforme* par lesquelles, le problème étant reconnu, des dispositions globales sont prises pour mener à une réévaluation en profondeur et, en définitive, à une réforme du système dans son ensemble.³⁶ Ces mesures correspondent aux trois niveaux de réaction que l'on a vus en 2.2.9.

2.4.6 Le 26 septembre 1989, un Fairchild Metro III assurant une liaison régulière de Vancouver à Terrace (Colombie-Britannique, Canada), s'écrasait avec deux pilotes et cinq passagers à bord. L'accident s'est produit quelque 400 m à l'ouest de l'aérodrome de destination, alors que l'équipage tentait une procédure d'approche interrompue en conditions IMC. L'avion a été détruit par l'impact et l'incendie qui a suivi. Les sept occupants ont péri.³⁷ L'analyse de la performance de l'équipage de conduite a décelé des anomalies dans l'application des habiletés techniques et psychomotrices. Elle a révélé en outre des incohérences dans les activités du poste de pilotage et la coordination des tâches. Ce sont les défaillances actives qui, conjuguées à des conditions météorologiques défavorables, ont déclenché l'accident. Les autorités chargées de l'enquête ont cependant décidé d'élargir sa portée, ce qui a dévoilé certaines des défaillances latentes qui ont été les préalables de cet accident:

- En dépit des antécédents de la compagnie, une dérogation lui avait été accordée pour exploiter selon une norme moins contraignante un avion de transport passagers de gros tonnage. Les services responsables de la réglementation avaient autorisé la compagnie et ses

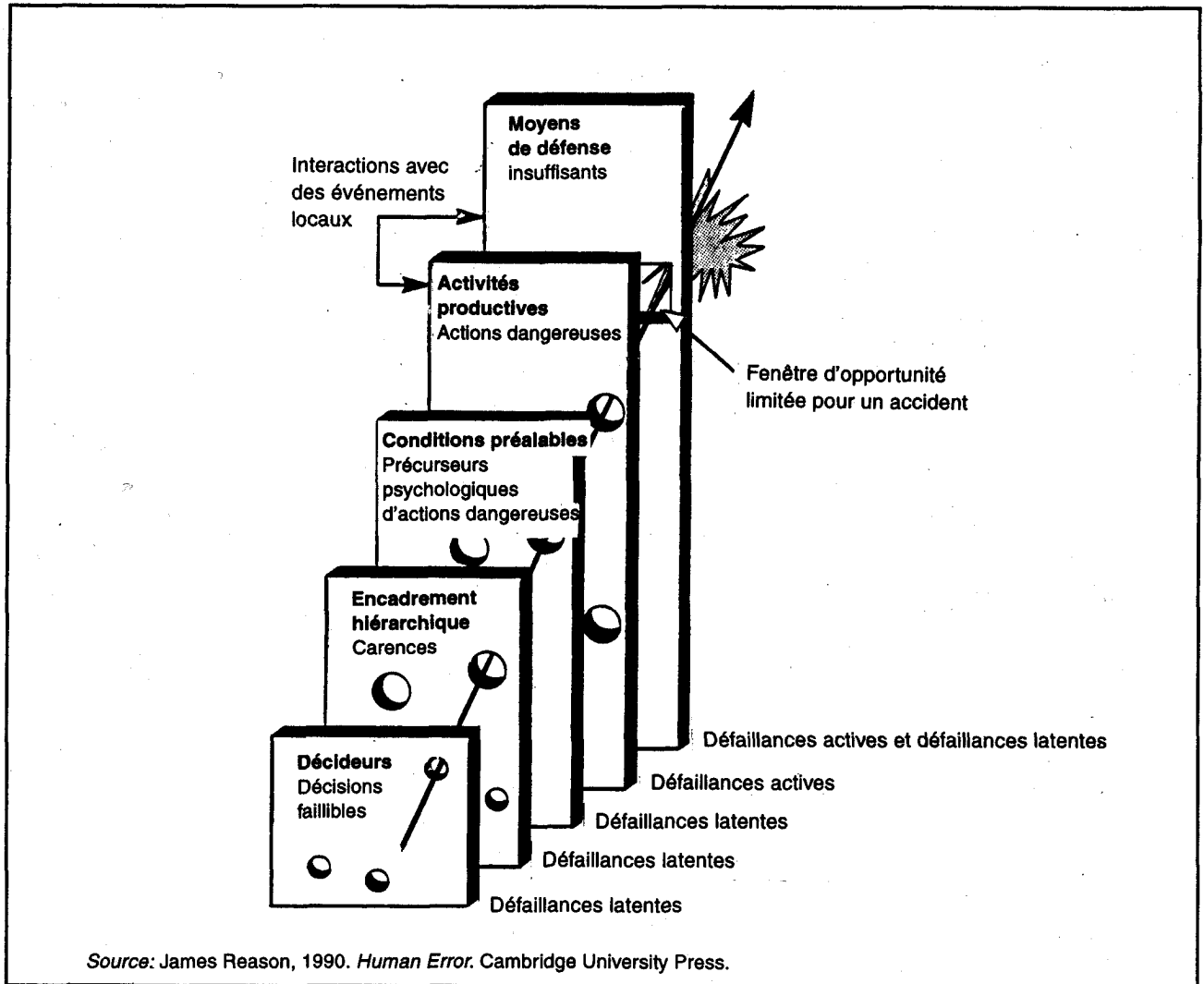


Figure 2-2. Contribution humaine aux accidents dans les systèmes complexes

pilotes à appliquer, par dérogation, les normes d'exploitation moins rigoureuses applicables aux avions d'une masse maximale inférieure à 12 500 livres au lieu des normes plus restrictives qui s'appliquent aux avions d'une masse maximale supérieure à 12 500 livres. Il s'agissait notamment d'exigences de formation réduites et de contrôles d'aptitude moins fréquents.

- Par le passé, cette compagnie avait déjà prêté flanc à la critique pour ce qui est du respect de la réglementation. Au cours des deux années précédant l'accident, les services de réglementation avaient à trois reprises suspendu ou révoqué son autorisation d'exploitation. Ils l'avaient remise en vigueur sans qu'une inspection sur les lieux ait été effectuée pour s'assurer que des mesures correctives avaient été prises.
- La compagnie n'employait pas de procédures normalisées. Interrogés, ses pilotes ont déclaré qu'il y avait

souvent à leur niveau de la confusion à propos des consignes d'exploitation en vigueur.

- Les définitions et les descriptions établies par les services de réglementation pour préciser les références visuelles nécessaires à l'exécution d'une approche indirecte étaient ambiguës et prêtaient à confusion.

2.4.7 Commentant l'accident avec un louable souci d'aller au fond des choses, les services officiels identifient correctement les mesures de réforme nécessaires en concluant dans leur bulletin périodique sur la sécurité: «... dans le contexte de sécurité du système, on pourrait avancer que des carences de l'organisation en matière de formation du personnel, de normes et de gestion des risques ont amené deux pilotes relativement peu expérimentés, produits types du système de formation au pilotage de notre pays, à commettre diverses infractions que, de toute évidence, leur compagnie et le gouvernement auraient été en mesure d'empêcher.»³⁸

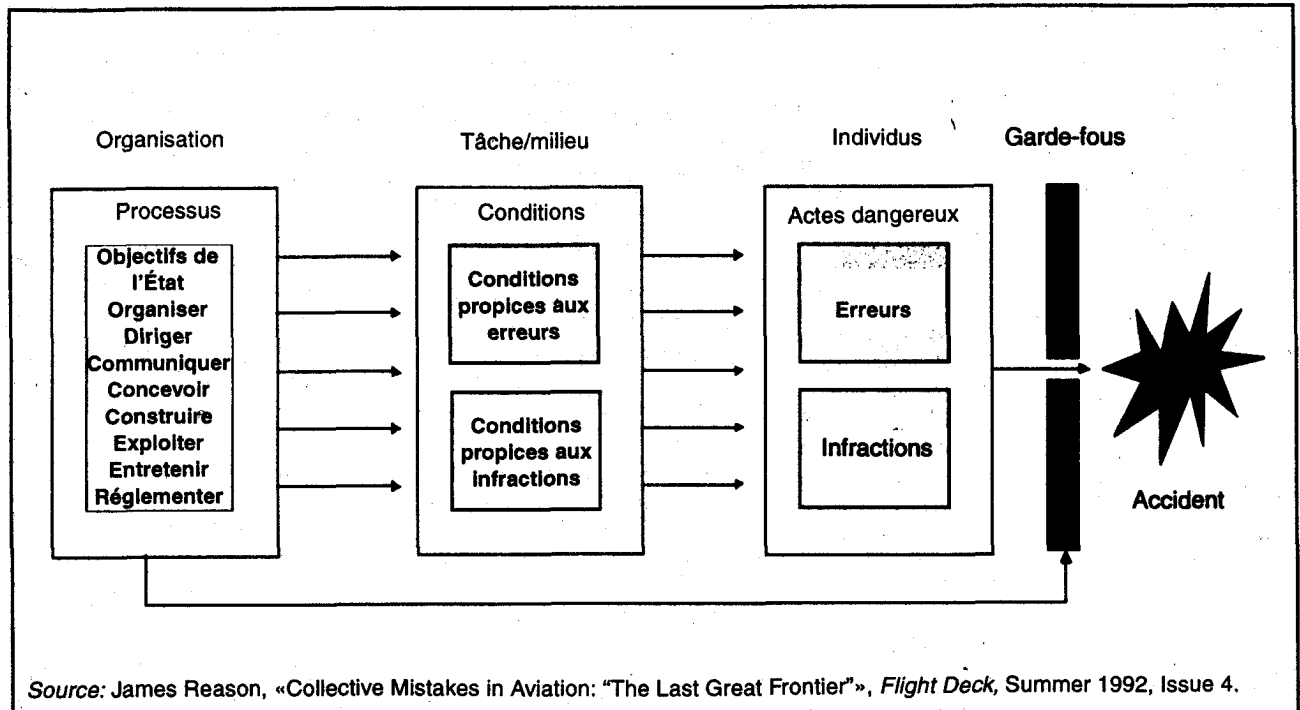


Figure 2-3. Éléments de base d'un accident organisationnel

2.4.8 La nuit du 2 décembre 1984, une fuite de gaz provenant d'une usine de pesticides dévastait la ville indienne de Bhopal dans la pire catastrophe industrielle que l'on ait jamais connue, avec plus de 2 500 tués et 200 000 blessés. Cette fuite, ayant pour cause immédiate un déversement d'eau dans un réservoir de stockage d'isocyanate de méthyle, a été le résultat «d'un entretien bâclé, de l'erreur d'un opérateur, du bricolage de tuyaux de dérivation, de défaillances des dispositifs de sécurité, de l'incompétence de l'encadrement, de la sécheresse, de l'économie agricole et de décisions gouvernementales malencontreuses». ³⁹ L'analyse de la catastrophe de Bhopal donne un navrant exemple des idées avancées dans le présent chapitre:

«La rigidité de la structure organisationnelle de l'usine de Bhopal ... a été l'une des trois principales causes de l'accident ... l'usine de Bhopal souffrait de relations de travail tendues et de conflits internes au sein de la direction... au cours des 15 ans qui ont précédé l'accident, l'usine a eu huit directeurs successifs ... la plupart avec des antécédents différents et peu ou pas d'expérience pertinente.»

«La discontinuité de la gestion de l'usine, le style autoritaire et parfois manipulateur de sa direction, l'inertie de la structure organisationnelle ont contribué conjointement à l'accident. C'est principalement le dernier élément, la rigidité

de l'organisation, qui a été responsable du manque de réaction et de l'absence des mesures correctives dont cinq accidents majeurs survenus à l'usine entre 1981 et 1984 avaient montré la nécessité... une crise survient souvent parce qu'on n'a pas prêté attention aux signes avertisseurs ...»

«On pourrait imputer aussi à la culture d'entreprise de l'usine de Bhopal la responsabilité du fait que de nombreux avertissements relatifs à des problèmes de sécurité aient été négligés... la culture d'entreprise monolithique de Bhopal, tout comme le milieu d'exploitation de l'usine, n'ont fait que favoriser la centralisation du processus de décision par des règles et des règlements ou par l'uniformisation et la hiérarchie, ce qui exigeait dans les deux cas un niveau élevé de contrôle et de surveillance ...»

«Souvent, le personnel clé était livré à lui-même sans avoir acquis une compréhension suffisante des méthodes permettant de travailler en sécurité ...» ⁴⁰

Caractéristiques d'une organisation sûre

2.4.9 Quelles sont alors les caractéristiques des organisations sûres? D'une façon générale, les organisations que l'on peut ainsi qualifier:

- font de la sécurité un de leurs objectifs et la considèrent comme un moyen important de contribuer à la réalisation des objectifs de production;
- ont élaboré des structures appropriées de gestion des risques, permettant un juste équilibre entre gestion de la production et gestion des risques;
- ont une culture d'entreprise saine et communicative, faisant une bonne place aux questions de sécurité;
- possèdent une structure conçue avec un degré de complexité approprié, des méthodes normalisées et un processus décisionnel centralisé compatible avec les objectifs de l'organisation et les caractéristiques de l'environnement;
- se fondent davantage sur la responsabilité interne que sur le respect de la réglementation pour réaliser les objectifs de sécurité;
- réagissent aux déficits de sécurité constatés tant par des mesures à long terme pour remédier aux défaillances latentes, que par des mesures localisées, à court terme, pour remédier aux défaillances actives.

2.5 CONTRIBUTION DES INSTANCES DE DIRECTION À LA SÉCURITÉ

2.5.1 En 1986, un grand constructeur aéronautique a procédé à une enquête mondiale auprès des transporteurs aériens en vue d'aider à limiter ce que l'on appelait les «accidents causés par l'équipage». Le rapport issu de cette enquête a fait l'objet d'une large publicité et a marqué une étape dans le milieu de l'enseignement aéronautique, car il a apporté des renseignements intéressants, applicables à la formation des équipages de conduite.⁴¹ Même si l'enquête était étroitement ciblée sur les navigateurs, les chercheurs ont été confrontés à des faits donnant à penser que les erreurs de pilotage ne sont qu'un des aléas de la sécurité d'exploitation du transport aérien.

2.5.2 Le rapport précise qu'une des caractéristiques des compagnies de transport aérien reconnues comme les plus sûres est *l'importance que leur direction attache à la sécurité*. Pour ces compagnies:

«... la sécurité commence au sommet de l'organisation, le fort accent qu'elle reçoit à ce niveau imprégnant toute l'entreprise. Les responsables de l'exploitation des vols et de la formation au pilotage, conscients de leurs responsabilités en la matière, s'emploient à élaborer et à faire appliquer des lignes de conduite axées sur la sécurité ... Il existe une méthode qui permet de transmettre rapidement des informations aux équipages de conduite et une politique qui encourage les retours d'expérience confidentiels des pilotes à la direction ... Cette attitude de la direction, tout en étant

quelque peu difficile à décrire, est une force dynamique qui suscite l'uniformisation et la discipline dans le poste de pilotage, préparées et renforcées par un programme de formation axé sur les questions de sécurité.»

2.5.3 Trois ans plus tard, dans une allocution prononcée le 28 mars 1989 devant l'aéroclub de Washington, D.C., un intervenant internationalement connu pour préconiser un rôle actif des dirigeants en faveur de la sécurité déclarait:

«L'attitude des dirigeants peut se traduire en mesures concrètes de bien des façons. Les plus évidentes sont les mesures fondamentales: postes de pilotage bien équipés, bien entretenus et uniformisés; élaboration et mise en oeuvre soigneuses de procédures d'utilisation normalisées, dont le respect rigoureux sera assuré; enfin, programmes complets d'instruction et de contrôle des connaissances donnant l'assurance que chaque pilote possède les compétences voulues pour exécuter des vols en toute sécurité. C'est sur les fondements ainsi édifiés que repose tout le reste.»⁴²

L'écrasement en montagne, le 28 octobre 1989, près de la baie de Halawa à Molokai (Hawaï), d'un Twin Otter DHC-6-300 De Havilland, alors qu'il essayait de poursuivre son vol en VFR dans des conditions VMC qui se dégradaient, constitue un exemple édifiant d'«erreur de management». La conclusion du rapport d'enquête sur cet accident est la suivante:

«En résumé, la commission de sécurité conclut que la direction [de la compagnie] n'a pas supervisé convenablement son personnel, la formation de ce personnel et l'exploitation des vols. C'était à elle qu'incombait la responsabilité de remédier aux nombreuses anomalies que l'enquête a révélées, en ce qui concerne la formation IFR des pilotes, leur instruction théorique réduite, le manque de formation CRM, les traits de comportement connus du commandant et la consigne de ne pas utiliser le radar météorologique de bord. Le fait que les dirigeants aient omis de remédier à ces faiblesses a contribué aux faits qui ont abouti à cet accident.»⁴³

2.5.4 Les citations figurant dans les paragraphes qui précèdent sous-tendent la logique de la présente section; elles montrent l'importance de la contribution des instances de direction à la sécurité des systèmes sociotechniques, ce qui est l'objectif du présent chapitre. Avant de voir *ce que* peuvent faire les dirigeants, il est cependant judicieux de dire *pourquoi* il convient qu'ils interviennent activement pour promouvoir la sécurité.

Pourquoi les instances de direction devraient promouvoir activement la sécurité

2.5.5 À part les considérations morales relatives aux risques de lésions corporelles ou de pertes de vies humaines et à la préservation des biens, les aspects économiques de la

sécurité des vols devraient inciter les instances de direction à agir. Il a été question en 2.4 du dilemme de la répartition de ressources limitées entre les objectifs de production et de sécurité. Même s'ils ne paraissent pas compatibles à court terme, ces objectifs le sont parfaitement dans une perspective à long terme. Il est reconnu que les organisations les plus axées sur la sécurité sont souvent les plus efficaces. D'inévitables arbitrages sont à faire entre impératifs de sécurité et impératifs de trésorerie. Cependant, une organisation axée sur la sécurité ne tolère pas que ces arbitrages ou ces incompatibilités apparentes abaissent les normes de sécurité au-dessous d'un *niveau minimal* préalablement défini, qui devient ainsi un des objectifs de l'organisation.⁴⁴

2.5.6 Au moment d'envisager les arbitrages entre sécurité et production, il convient que la direction évalue les conséquences financières de la décision à prendre. Comme l'arbitrage comporte des risques, la direction doit s'intéresser au coût qu'impliquerait l'acceptation de ces risques, autrement dit à *ce qu'un accident coûterait à l'organisation*. Certains coûts assurés (ceux que couvrent les primes payées à des assureurs) sont récupérables, mais il y a aussi des coûts non assurés qui ne le sont pas et qui représentent en général le double ou le triple des coûts assurés. Les coûts non assurés typiques d'un accident comprennent:

- les franchises des assurances
- le temps perdu et les heures supplémentaires
- les frais d'enquête
- les frais de recrutement et de formation de remplaçants
- la perte de productivité du personnel blessé
- les frais de remise en état
- la perte de jouissance de matériel
- le coût de location ou de prise à bail de matériel de remplacement
- les surcoûts d'utilisation du matériel restant
- la perte de pièces de rechange ou d'équipements spécialisés
- les amendes et citations à comparaître
- les frais et honoraires de justice auxquels donne lieu l'accident
- le relèvement des primes d'assurance
- les demandes d'indemnisation hors assurance
- la perte de clientèle et l'atteinte à l'image de la compagnie
- le coût des mesures correctives

2.5.7 Les personnes qui sont le mieux à même de prévenir les accidents en éliminant les risques inacceptables sont celles qui peuvent introduire des changements dans l'organisation, sa structure, sa culture d'entreprise, ses politiques, ses procédures, etc. Nul n'est mieux placé que les dirigeants pour introduire de tels changements. L'intérêt économique de la sécurité de l'aviation et la possibilité de produire des changements systémiques efficaces justifient donc que les instances de direction s'impliquent activement dans la promotion de la sécurité.⁴⁵

Ce que peuvent faire les instances de direction pour promouvoir activement la sécurité

2.5.8 Dans un document tel que le présent manuel, qui s'adresse à un large public dans divers États, dans des organisations de tailles différentes et surtout de structures différentes, il est impossible de préciser de façon normative les mesures à prendre par les dirigeants pour promouvoir la sécurité. Il existe néanmoins quelques principes généraux universellement valables; le reste de la présente section leur est consacré.

2.5.9 **Attribution de ressources.** Définie le plus simplement possible, la contribution la plus évidente des instances de direction à la sécurité est l'attribution des ressources nécessaires et suffisantes pour que les objectifs de production de l'organisation puissent être réalisés en toute sécurité. Les modalités de cette attribution sont précisées en 2.4.1, ainsi que dans les paragraphes initiaux de la présente section. En pratique, la première citation du paragraphe 2.5.3 peut être considérée comme une énumération des éléments «les plus recherchés», que la direction devrait viser en décidant de l'attribution des ressources.

2.5.10 **Programmes de sécurité et systèmes de retour d'information sur la sécurité.** D'autres activités nécessitant l'attribution de ressources sont aussi importantes, bien que moins évidentes. Le *Manuel de prévention des accidents* de l'OACI (Doc 9422) traite en détail de ces activités, dont la présente section fait brièvement mention. La plus importante est la mise en oeuvre au niveau de la compagnie d'un programme de sécurité permanent, appuyé visiblement. Ce programme devrait embrasser non seulement la sécurité de vol mais aussi la sécurité de la maintenance, la sécurité sur l'aire de trafic, etc. Il devrait être administré par un gestionnaire de sécurité de la compagnie, indépendant et relevant directement du plus haut niveau de la direction. Le gestionnaire de sécurité et ses collaborateurs devront être des responsables de la maîtrise de la qualité, s'occupant de rechercher les déficits de sécurité dans la compagnie plutôt que de pointer du doigt les erreurs des individus. Pour s'acquitter de ses responsabilités, le gestionnaire de sécurité aura besoin d'informations pouvant provenir de plusieurs sources: audits internes de sécurité qui décèlent les risques potentiels, systèmes internes de comptes rendus d'incidents, enquêtes internes sur les incidents critiques et programmes de suivi de la performance — tant de la compagnie que de l'ensemble de la profession. Il sera question en 2.5.16 des boucles de retour d'information qui peuvent exister dans un système d'audit interne et de leur intérêt relatif en termes de prévention. Une source d'information souvent négligée est la participation à des colloques, conférences ou ateliers sur la sécurité organisés pour l'ensemble de la profession, notamment par des associations internationales. Nanti des renseignements ainsi obtenus, le gestionnaire de sécurité pourra mettre en oeuvre un programme de diffusion des renseignements critiques en la matière, valable pour tout le personnel. C'est de cette façon que se crée dans une organisation un climat propice à la sécurité.

2.5.11 **Procédures d'utilisation normalisées.** Il existe une activité plus subtile que la direction peut instaurer pour contribuer à la sécurité. Il a été récemment reconnu que l'élaboration, l'application et le respect de procédures d'utilisation normalisées (SOP) constituent une contribution majeure de la direction à la sécurité. Le défaut d'appliquer des SOP rationnelles a en effet été lié à nombre d'accidents et d'incidents. En matière de SOP, les considérations relatives aux facteurs humains concernent aussi bien la philosophie sous-jacente que la conception des procédures. Les *procédures* sont des spécifications relatives à l'exécution d'actions prédéterminées; elles spécifient le déroulement progressif des phases de travail pour aider le personnel d'exploitation à accomplir ses tâches d'une façon logique, efficace et, surtout, résistante à l'erreur. Les procédures ne sont pas conçues dans le vide, pas plus qu'elles ne sont inhérentes à l'équipement; elles sont fondées sur une conception large des opérations. Il existe entre procédures et philosophie un lien que Wiener et Degani ont appelé «Les quatre P de l'exploitation»: Philosophie, Politiques, Procédures et Pratiques.⁴⁶

2.5.12 Selon ces chercheurs, la direction indique comment elle entend que l'organisation fonctionne en définissant une *philosophie* de l'exploitation. De cette philosophie, qui ne peut émaner que du niveau le plus élevé de la compagnie, peuvent être dégagées des *politiques*, qui sont des spécifications de caractère général sur la façon dont la direction entend que soient accomplies les diverses tâches: formation, pilotage, maintenance, exercice de l'autorité, conduite du personnel, etc. Les politiques sont habituellement dictées par l'encadrement hiérarchique. Les *procédures* déterminent ensuite les modalités d'exécution des tâches. Normalement élaborées par l'encadrement, elles doivent être conçues de manière à être compatibles avec les politiques, lesquelles doivent l'être avec la philosophie qui inspire l'orientation générale. Enfin, la direction doit assurer la maîtrise de la qualité pour faire en sorte que les *pratiques* dans l'environnement d'exploitation ne s'écartent pas des procédures écrites. Toute tentative d'abrégier ce processus risquerait d'aboutir à des procédures incohérentes, sources de perplexité pour les personnels d'exploitation en ce qui a trait aux comportements que la direction attend de leur part dans l'accomplissement de leurs tâches (Figure 2-4).

2.5.13 En déterminant la philosophie, les politiques et les procédures, il sera dûment tenu compte de l'environnement d'exploitation. Des procédures incompatibles avec cet environnement pourraient aboutir à l'improvisation de pratiques dangereuses. Les activités extérieures, le type d'opération et l'agencement du poste de pilotage ou de travail sont des éléments à envisager lorsque l'on évalue l'environnement d'exploitation dans lequel les SOP seront appliquées. Il faut un retour d'expérience provenant de situations opérationnelles, à travers les pratiques observées ou les comptes rendus du personnel d'exploitation, pour garantir que l'adéquation entre «les quatre P» et l'environnement d'exploitation reste intacte.

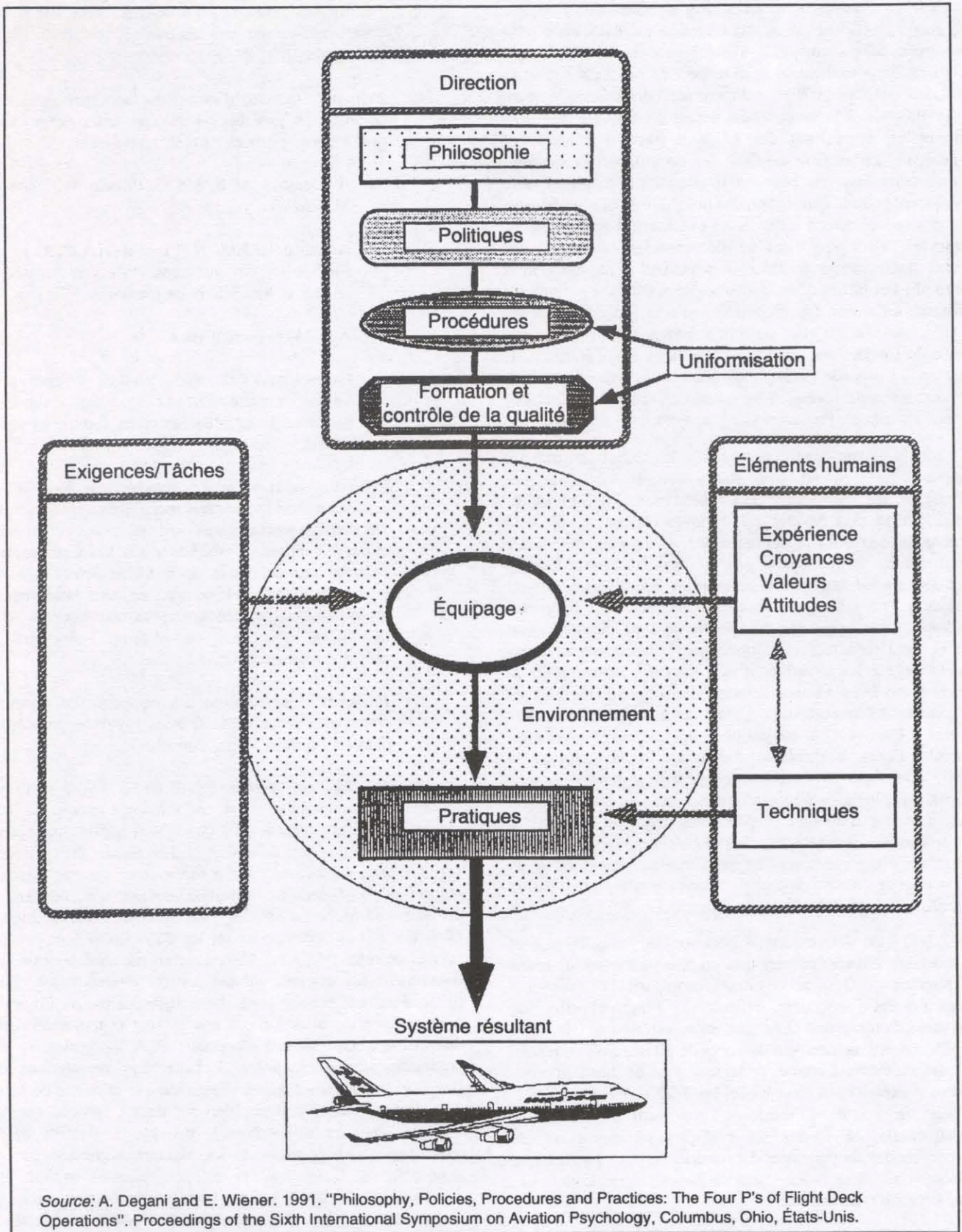
2.5.14 L'exemple de la Politique relative au dispositif avertisseur de proximité du sol (GPWS) instituée par un exploitant⁴⁷ illustre ces propos:

- *Philosophie:* comme l'indiquent ses statuts, la compagnie entend être un transporteur aérien sûr et sécuritaire.
- *Politique:* en cas d'alerte imposant une remontée complète ou partielle, ou de toute autre alerte rouge, prendre promptement les mesures suivantes:
 - a) Au-dessous de la MSA (altitude minimale de sécurité):

Annoncer «REMONTÉE et reprise d'altitude».
En toutes circonstances, effectuer immédiatement la manoeuvre de remontée.
 - b) À la MSA ou plus haut:

Évaluer immédiatement la position, l'altitude et la vitesse verticale. En cas de doute quant à la proximité de la MSA, procéder comme en a) ci-dessus.
- *Procédure:* la manoeuvre de remontée sur alerte GPWS est décrite dans les manuels spécifiques à chaque flotte. Décrire les annonces faites par le pilote aux commandes et par le copilote — procédures à la MSA ou plus bas et procédures au-dessus de la MSA; définir la MSA pendant la montée et la descente en cas d'ambiguïtés et ajouter tous autres renseignements opérationnels jugés nécessaires pour que les équipages observent la politique relative au GPWS.
- *Pratiques:* les membres des équipages de conduite observent-ils cette politique et suivent-ils les procédures dans les conditions opérationnelles?

2.5.15 Dans cet exemple relatif au GPWS, la politique initiale de l'exploitant exigeait une remontée immédiate à la réception de *tout* avertissement du GPWS, quelles que soient l'altitude et la position de l'aéronef. Les retours d'expérience obtenus par l'exploitant grâce à son système interne d'information sur la sécurité ont cependant indiqué que, pendant la première année civile suivant l'adoption de cette politique, 60 % des alertes déclenchées par les GPWS n'avaient pas été suivies de remontée. Cela s'expliquerait par diverses raisons, notamment les alarmes injustifiées ou intempestives. Fait particulièrement préoccupant, dans 20 % des cas où l'alarme était motivée les pilotes n'ont pas entamé la remontée. Une discordance entre les trois premiers P et le dernier — les pratiques — était évidente. Les services de sécurité de l'exploitant dont il s'agit ont déterminé que la raison de cette discordance entre philosophie, politiques, procédures et pratiques était essentiellement le manque de fiabilité de la technologie, qui provoquait des alarmes non motivées et intempestives. Dans certains cas, ces alarmes avaient été déclenchées à 37 000 ft en croisière, ou immédiatement après le décollage, alors qu'il n'y avait aucun obstacle sur la trajectoire de vol, ou encore dans le circuit d'attente, quand d'autres avions étaient à 1 000 ft au-dessous du GPWS récepteur. Ces retours d'expérience et leur analyse ont amené l'exploitant à



Source: A. Degani and E. Wiener. 1991. "Philosophy, Policies, Procedures and Practices: The Four P's of Flight Deck Operations". Proceedings of the Sixth International Symposium on Aviation Psychology, Columbus, Ohio, États-Unis.

Figure 2-4. Les quatre P

réviser sa politique relative au GPWS et à l'amender comme indiqué en 2.5.14, l'intention immédiate étant d'assurer l'observation de la politique en toutes circonstances.

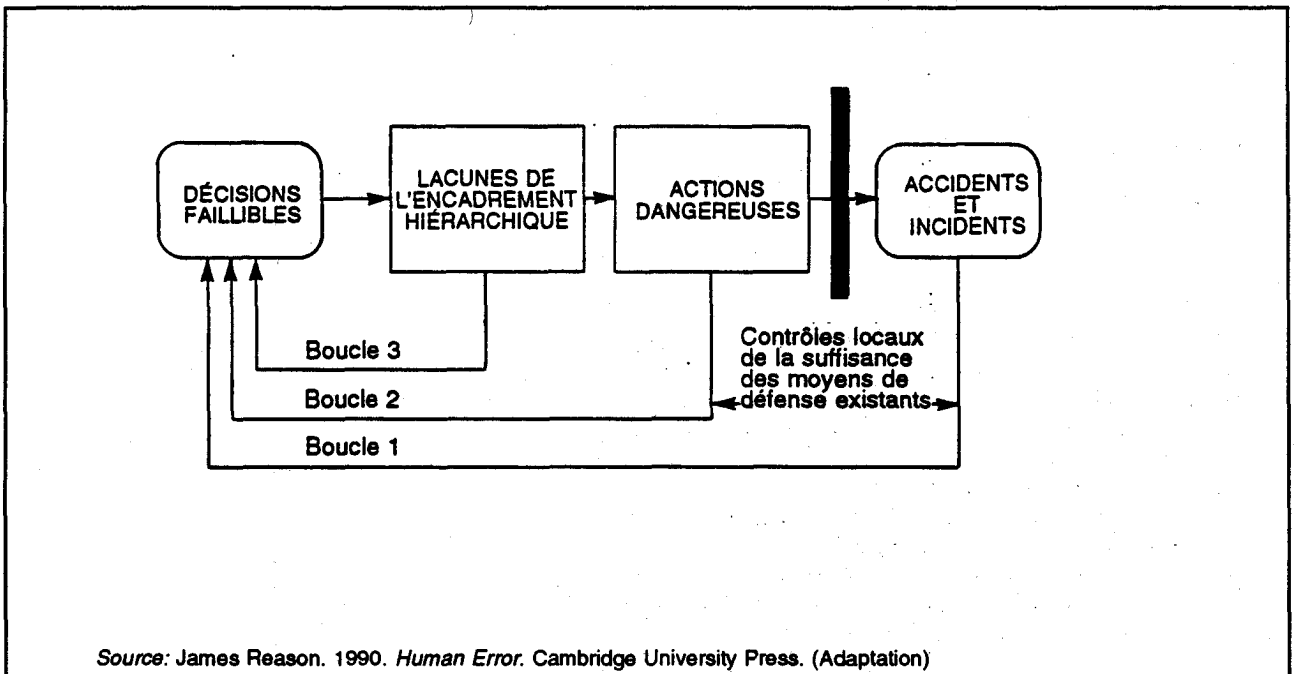
2.5.16 *Systèmes internes de retour d'information et de surveillance des tendances.* Le paragraphe qui précède montre l'importance des retours d'expérience provenant des «opérateurs de première ligne», c'est-à-dire des opérations quotidiennes, pour permettre à la direction d'assurer le contrôle des opérations en s'appuyant sur les politiques et procédures. La Figure 2-5 décrit trois boucles de retour d'information possibles.⁴⁸ La *boucle 1* alimente les statistiques d'accidents d'une compagnie. Dans la plupart des cas, les informations fournies sont trop tardives pour permettre de maîtriser le danger, car les événements que les responsables de la sécurité chercheront à éliminer se sont déjà produits. La *boucle 2* achemine des informations concernant des actions dangereuses observées dans les activités quotidiennes. Celles-ci ne représentent cependant que le sommet de l'iceberg, de nombreuses actions qui sont cause d'accidents ne pouvant pas être reconnues comme telles à l'avance. Ces informations sont généralement diffusées aux niveaux inférieurs de l'organisation, c'est-à-dire au personnel d'exploitation et à son encadrement. C'est la *boucle 3* qui offre la meilleure possibilité de contrôle de sécurité proactif.

2.5.17 *Gestion des risques.* Les boucles de retour d'information, la boucle 3 en particulier, permettent aux dirigeants d'évaluer le niveau de risque que comportent les

opérations et de définir des méthodes logiques lorsqu'ils décident d'agir sur ces risques. Le concept de gestion des risques est commenté dans le *Manuel de prévention des accidents* et il en est question au paragraphe 2.5.10 du présent chapitre. La théorie de base repose sur les préalables suivants:⁴⁹

- Il y a toujours des risques. Certains peuvent être acceptés; certains — mais pas tous — peuvent être éliminés et certains peuvent être réduits au point de devenir acceptables.
- Les décisions relatives aux risques sont des décisions de gestionnaires; d'où le terme «gestion des risques».
- Les décisions portant sur la gestion des risques suivent un schéma logique.

2.5.18 La première étape du processus de gestion des risques est une détermination précise des dangers (*détermination des dangers*); autrement, les décisions seraient prises sur la base de renseignements imprécis. Une façon de déterminer les dangers est de les évaluer subjectivement, en termes de probabilité d'occurrence, de gravité s'ils se produisent et d'exposition à ces dangers. La deuxième étape consiste à estimer le risque encouru (*estimation du risque*) et à déterminer si l'organisation est prête à l'accepter. Ici encore, les points cruciaux sont la précision des informations sur la nature des dangers et la volonté de les utiliser. À la troisième étape,



Source: James Reason. 1990. *Human Error*. Cambridge University Press. (Adaptation)

Figure 2-5. Systèmes internes de retour d'information et de surveillance des tendances

il s'agit de trouver les dangers qui peuvent être éliminés (*élimination des dangers*) et de les éliminer. Si aucun des dangers identifiés ne peut être éliminé, on passe à la quatrième étape pour rechercher les dangers qu'il est possible de réduire (*réduction des dangers*). L'objectif est de réduire l'exposition à un certain danger: réduire la probabilité qu'il se produise, ou minimiser sa gravité s'il se produit. Dans certains cas, on peut réduire le risque en mettant au point des moyens de faire face au danger en sécurité.

2.5.19 Il faut garder à l'esprit le fait que juger un risque acceptable est une activité sociale et juridique subjective, qui variera selon les cultures et les sociétés, et même selon les organisations au sein d'une même culture ou d'une même société. Il s'ensuit, selon ce raisonnement, que la sécurité est *évaluée, et pas mesurée*. Si l'on juge, sur la base d'une détermination précise des dangers, que les risques restent élevés et inacceptables, et si le risque total reste inacceptable après une étude sérieuse de l'élimination ou de la réduction des dangers, la décision qui s'impose évidemment est d'annuler l'opération (court terme) ou de modifier le système pour amener les risques à un niveau acceptable (long terme). Il y a place pour le changement à court terme autour des boucles 1 et 2, mais les changements à long terme de situeront autour de la boucle 3, avec la possibilité de modifier les structures et les cultures d'entreprise en déficit de sécurité. L'importance de ce processus de gestion des risques tient à ce qu'il permet aux dirigeants de voir clairement les résultats de l'action ou de

l'absence d'action. La Figure 2-6 illustre la logique classique de gestion des risques.

2.5.20 Dans de grandes organisations comme les compagnies aériennes, les coûts afférents aux pertes de vies humaines et de moyens matériels rendent indispensable la gestion des risques. Pour pouvoir formuler des recommandations qui n'aillent pas à l'encontre des objectifs de l'organisation, il faut adopter une approche systémique de la gestion des risques. Une telle approche, dans laquelle tous les aspects des objectifs de l'organisation et des ressources disponibles sont analysés, est le meilleur moyen de faire en sorte que les recommandations relatives à la gestion des risques soient réalistes et conformes aux objectifs de l'organisation.⁵⁰

2.5.21 Une boucle est ainsi bouclée. La présente section expose les opinions des milieux de la prévention, de la recherche et de la formation à propos de ce que les instances de direction peuvent faire pour contribuer à la sécurité. Cela complète le tour d'horizon et la justification que l'on trouve dans les deux premières sections de ce chapitre. On s'accorde de plus en plus sur le fait que les dirigeants doivent jouer un rôle actif dans la réalisation des objectifs de sécurité du système aéronautique. Il y a consensus également sur la nécessité de changements et de progrès. De solides arguments plaident en faveur de nouvelles approches des relations entre le management, les organisations et la sécurité. On ne peut raisonnablement contester combien il importe de s'attaquer aux facteurs de management et aux accidents organisationnels.

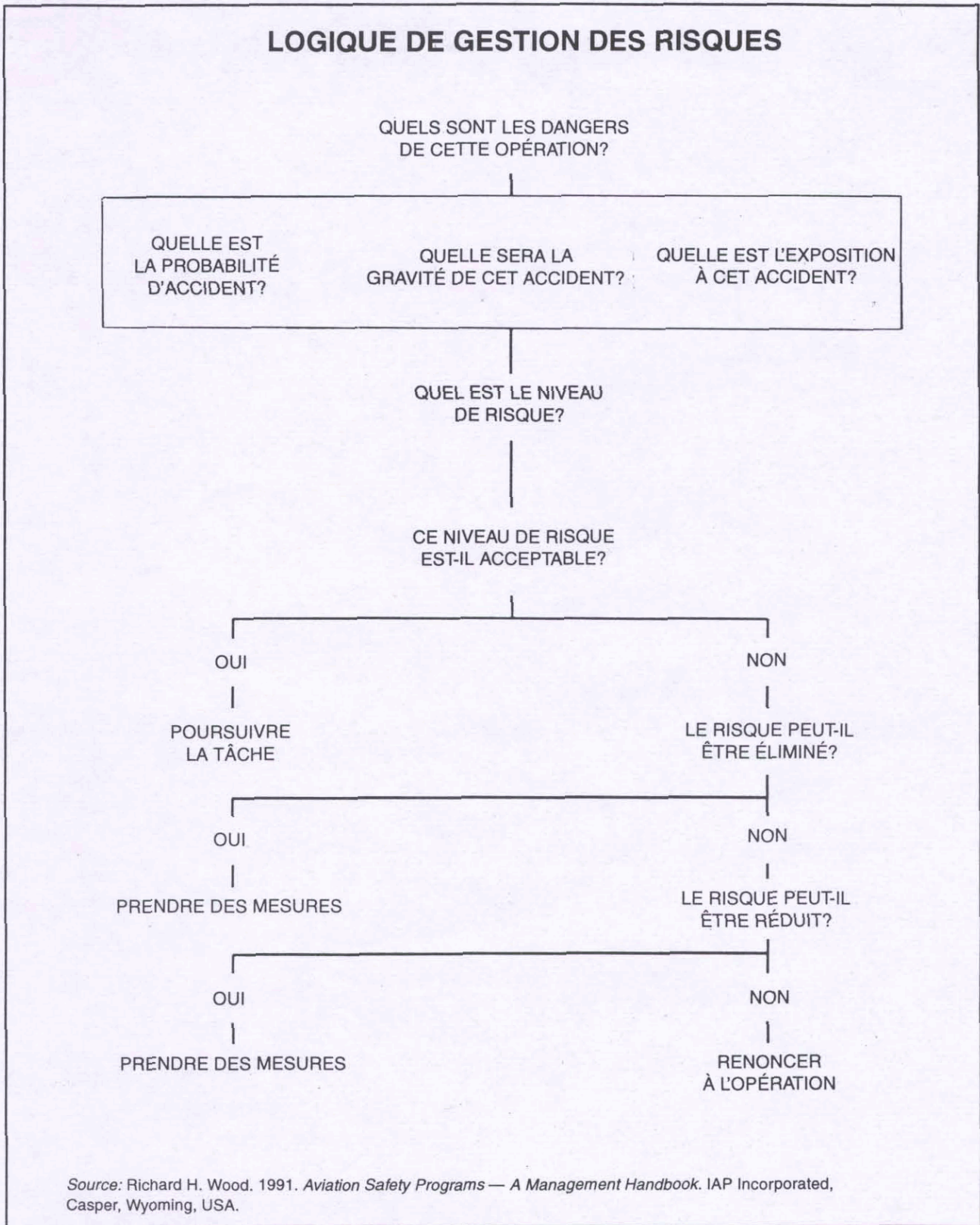


Figure 2.6 Logique de gestion des risques

CHAPITRE 3

QUESTIONS DE FACTEURS HUMAINS DANS LE DÉVELOPPEMENT ET LA MISE EN OEUVRE DES SYSTÈMES DE COMMUNICATIONS, NAVIGATION ET SURVEILLANCE/GESTION DU TRAFIC AÉRIEN (CNS/ATM)

3.1 INTRODUCTION

Aperçu historique

3.1.1 La dixième Conférence de navigation aérienne (Montréal, 5-20 septembre 1991) a «reconnu l'importance des facteurs humains dans la conception des futurs systèmes ATC automatisés et dans la transition»; elle a «noté que l'on considère que l'automatisation offre un grand potentiel pour ce qui est de réduire l'erreur humaine» et a recommandé «que les travaux effectués par l'OACI dans le domaine des facteurs humains en application de la Résolution A26-9 de l'Assemblée de l'OACI comprennent, entre autres, des études relatives à l'emploi des futurs systèmes CNS/ATM et à la transition vers ces systèmes».

3.1.2 Pour donner suite à cette recommandation de la conférence, la Commission de navigation aérienne de l'OACI est convenue de réviser le plan d'action du Programme «Sécurité des vols et facteurs humains» pour y inclure des travaux sur les considérations de facteurs humains dans les futurs systèmes de navigation aérienne, en insistant sur les aspects des interfaces homme-machine qui concernent les systèmes CNS/ATM.

3.1.3 En application de la décision de la Commission, le Secrétariat de l'OACI a fait appel à des experts d'une sélection d'États et d'organisations internationales et a passé en revue les études récentes ou en cours pour identifier les questions de facteurs humains intervenant dans les systèmes CNS/ATM de l'OACI. Ainsi ont été identifiés plusieurs domaines dans lesquels l'application des connaissances et de l'expérience portant sur les facteurs humains améliorerait la sécurité et l'efficacité des futurs systèmes CNS/ATM:

- **Automatisation et technologie avancée dans les futurs systèmes ATS.** L'application de la technologie de pointe et de l'automatisation est fondamentale dans le concept CNS/ATM de l'OACI. L'expérience montre qu'il est indispensable de tenir compte de l'élé-

ment humain dès la phase de conception, pour que le système mis au point tire parti des points forts respectifs des opérateurs humains et de la technologie basée sur l'informatique. On parle, à propos d'une telle approche, de *human-centred automation*, une automatisation centrée sur l'élément humain.

- **Intégration poste de pilotage/ATS.** Les systèmes CNS/ATM de l'OACI assureront une intégration poussée entre les aéronefs et le contrôle de la circulation aérienne, ce qui va créer des défis nouveaux et différents. Il y aura de nouveaux modes d'interaction entre les divers éléments du système et de nouveaux moyens de communication entre pilotes et contrôleurs aériens. Il faut adopter une approche systémique spécifique pour traiter des questions liées à cette intégration (y compris aspects de certification), afin que l'ensemble du système soit «convivial».
- **La performance humaine dans les activités ATS futurs.** L'élément humain est la clé du succès dans la mise en oeuvre du concept CNS/ATM de l'OACI. Il existe une vaste base de connaissances scientifiques sur la performance humaine dans les systèmes complexes, et les recherches se poursuivent pour l'élargir davantage. Il faut encore consacrer des recherches à l'influence des facteurs organisationnels et de management sur les performances individuelles et la performance en équipe dans les services de la circulation aérienne (ATS). Il faut aussi introduire à l'échelle mondiale de nouvelles techniques telles que la Gestion des ressources en équipe (TRM) et la Gestion des menaces et des erreurs (TEM). Les transferts d'informations dans les systèmes complexes, les incidences que la mise en oeuvre des liaisons de données produira dans l'ensemble du système, les aides automatisées telles que les systèmes émettant des avis de prévision et de résolution de conflit, ainsi que la répartition de l'autorité et des fonctions entre secteur air et secteur sol dans les systèmes avancés, sont des aspects au sujet desquels des éléments indicatifs sont nécessaires.

- **Formation, sélection et licences du personnel d'exploitation.** L'acquisition de compétences techniques à elle seule ne garantira pas des performances professionnelles d'un haut niveau de fiabilité et d'efficacité. Des programmes de formation à la gestion des ressources spécialement adaptés aux exigences de la gestion du trafic aérien (ATM) sont désormais disponibles sous l'appellation Gestion des ressources en équipe (TRM). Des expériences réussies d'instruction sur les facteurs humains pour les personnels d'exploitation ont été mises en place, mais il reste manifestement beaucoup à faire et il est souhaitable qu'il y ait davantage d'initiatives dans ce sens. Des critères de sélection qui aillent au-delà de la prise en considération des aptitudes techniques des candidats et tiennent compte des caractéristiques sociales et personnelles liées à la performance en équipe sont une autre question d'importance. Des conditions de délivrance des licences qui tiendraient compte de ces nouveaux objectifs de formation constitueraient le cadre approprié.
- **Surveillance de la sécurité des activités ATS.** L'Annexe 11 prescrit que les États mettent en oeuvre «des programmes systématiques et appropriés de gestion de la sécurité des services ATS» et déterminent «le niveau de sécurité acceptable et les objectifs de sécurité applicables à la fourniture des services ATS». Les outils existants pour la surveillance de la sécurité ne sont peut-être pas suffisants, vu la complexité et l'interdépendance grandissantes des activités CNS/ATM de l'OACI. Il faut une orientation sur le mode de surveillance des activités ATS qui puisse fournir les informations nécessaires pour identifier et résoudre les questions de sécurité. Il y a lieu d'envisager des outils émergents tels que l'audit de sécurité en service de ligne (LOSA) et l'enquête de sécurité en service normal (NOSS).

Élaboration d'éléments d'orientation

3.1.4 Le présent chapitre traite des incidences, au niveau des facteurs humains, de l'automatisation et de l'emploi de technologies modernes dans les systèmes modernes de navigation aérienne, en particulier les systèmes CNS/ATM. Il vise aussi à mettre à la disposition des administrations de l'aviation civile des outils qui les aideront à déterminer les exigences des nouveaux systèmes, ainsi qu'à examiner dans la perspective des facteurs humains les propositions des fabricants de ces systèmes. Enfin, il devrait aider les groupes d'experts et groupes d'étude de l'OACI qui travaillent sur le concept CNS/ATM de l'OACI à s'assurer que les principes relatifs aux facteurs humains sont dûment pris en compte au stade du développement des automatismes et des technologies avancées à mettre en oeuvre dans les futurs systèmes.

3.1.5 Lors du débat sur la recommandation de la dixième Conférence de navigation aérienne, on a insisté sur le potentiel qu'a l'automatisation de réduire la fréquence de

l'erreur humaine. Pourtant, chercheurs, concepteurs et utilisateurs craignent qu'une application sans discernement de l'automatisation ne risque aussi d'engendrer une toute nouvelle série d'erreurs humaines. L'expérience acquise dans l'utilisation des systèmes automatisés complexes, en aviation civile et ailleurs, montre que l'automatisation, pour être efficace, doit prendre en compte à la fois les besoins et les limites des usagers et des acquéreurs (en l'occurrence, prestataires de services ATS et/ou administrations de l'aviation civile). Le présent chapitre devrait informer les concepteurs sur le rôle que l'automatisation est appelée à jouer, aider les administrations dans l'évaluation des équipements au cours du processus de passation des marchés et expliquer aux usagers ce qu'ils ont à attendre des outils qui vont leur être fournis pour accomplir leurs tâches.

3.1.6 Dans le présent chapitre, on s'appuiera lorsqu'il y a lieu sur l'expérience acquise dans le cadre de programmes conçus en dehors de l'aviation civile pour répondre aux exigences des systèmes complexes (centrales nucléaires, industries chimiques et systèmes d'armement principalement) ayant des caractéristiques communes avec les systèmes aéronautiques avancés pour ce qui est de la complexité et du niveau d'intégration. Élaborés à la suite de l'échec de certains projets qui avaient abouti à des systèmes techniquement viables, mais dont la maintenance ou l'exploitation n'ont pas pu être assurées efficacement dans la pratique, ces programmes assurent la prise en compte des aspects pertinents des facteurs humains dans tout le cycle de développement des systèmes de haute technologie, en même temps que des spécifications techniques plus classiques. Cela est fait en focalisant l'attention sur la performance et la fiabilité de l'opérateur, comme élément de la performance globale du système.

3.1.7 Le présent chapitre:

- présente le système CNS/ATM de l'OACI dans une perspective historique et discute le concept;
- expose le rôle de l'automatisation dans les systèmes aéronautiques avancés. Il traite aussi du rôle de l'opérateur humain dans ces systèmes. Il souligne qu'il est *indispensable* que les concepteurs prennent en compte l'élément humain dès les stades préliminaires de la conception des systèmes. Il y est question aussi des préoccupations que suscite l'automatisation des systèmes CNS/ATM;
- introduit le concept d'automatisation *axée sur l'élément humain*, c'est-à-dire d'une automatisation conçue pour coopérer avec les opérateurs humains dans la poursuite des objectifs fixés. Non seulement une telle automatisation renforce la sécurité, mais elle réduit les coûts de formation et d'exploitation, en permettant un fonctionnement efficace, efficace et sûr;
- expose les principes d'une automatisation axée sur l'élément humain en partant du principe que *c'est un humain (pilote, contrôleur ou autre) qui assume*

en dernier ressort la responsabilité de la sécurité d'exploitation des vols;

- expose les qualités que devrait posséder l'automatisation axée sur l'élément humain pour demeurer un élément efficace et apprécié du système aéronautique. À mesure que les automatismes deviendront plus complexes, il sera de plus en plus difficile pour les opérateurs humains de rester avertis de toutes les mesures prises par eux de façon autonome, et donc de savoir exactement ce que font les automatismes et pourquoi ils le font. On verra aussi les caractères d'une automatisation axée sur l'élément humain qui permettront d'éviter qu'une telle situation se développe;
- donne une liste de lectures recommandées.

3.2 LE CONCEPT CNS/ATM DE L'OACI

HISTORIQUE

Environnement du trafic aérien

3.2.1 Au cours des décennies 1980 et 1990, la croissance du transport aérien a été plus rapide que celle de la plupart des autres secteurs de l'économie. Entre 1985 et 1995, le trafic de passagers et le trafic de marchandises sur les services réguliers ont progressé à un taux moyen annuel de 5,0 et de 7,6 % respectivement. Sur cette même période, le nombre de départs d'aéronefs et le nombre de kilomètres parcourus par l'ensemble des aéronefs ont augmenté à un taux moyen de 3,7 et de 5,8 % respectivement. L'évolution annuelle des mouvements d'aéronefs en service régulier est illustrée dans la Figure 3-1.

Le Comité FANS

3.2.2 Constatant la croissance régulière de l'aviation civile internationale avant 1983, informé des prévisions de croissance du trafic et conscient de ce que de nouvelles technologies apparaissaient à l'horizon, le Conseil de l'OACI se pencha à cette époque sur les besoins futurs de la communauté de l'aviation civile. Sa réflexion l'amena à conclure qu'il fallait engager une analyse et une réévaluation approfondies des méthodes et des techniques qui avaient si bien servi l'aviation civile internationale pendant des années. Voyant que les systèmes et les procédures employés par l'aviation civile avaient atteint leurs limites, le Conseil prit une importante décision à un moment clé, celle de créer le Comité spécial des futurs systèmes de navigation aérienne (FANS). Le Comité FANS fut chargé d'étudier, de reconnaître et d'évaluer de nouvelles techniques, dont l'utilisation de satellites, et de faire des recommandations en vue du développement de la navigation aérienne pour l'aviation civile sur une période de l'ordre de 25 ans.

3.2.3 Le Comité FANS constata qu'il serait nécessaire de mettre au point des systèmes nouveaux pour s'affranchir des limites des systèmes conventionnels et pour permettre de développer l'ATM à l'échelle mondiale. Les futurs systèmes devaient pouvoir évoluer, de façon à coller davantage aux besoins des usagers, dont la santé économique allait être directement liée à l'efficacité des systèmes. Le Comité FANS conclut que la technologie reposant sur des satellites offrait une solution viable pour remédier aux carences des systèmes conventionnels à base de stations sol et pour répondre aux futurs besoins de la communauté de l'aviation civile internationale.

3.2.4 Le Comité FANS jugea en outre que, du fait que ses nombreux éléments sont étroitement liés et interdépendants, l'évolution de l'ATM à l'échelle mondiale faisant appel à ces nouveaux systèmes exigerait une approche multidisciplinaire. Conscient que les nouveaux concepts pourraient un jour soulever des questions de coordination et des questions institutionnelles et se rendant compte qu'il faudrait une planification au niveau mondial, le Comité FANS recommanda au Conseil de l'OACI, dans son rapport final, de créer un nouveau comité qui donnerait des avis sur le contrôle, la coordination de la mise au point et la planification de la transition à l'échelle mondiale. Ainsi, on pourrait mettre en oeuvre les futurs systèmes CNS/ATM de façon rentable et équilibrée dans le monde entier, tout en tenant compte des systèmes de navigation aérienne et des zones géographiques.

3.2.5 En juillet 1989, donnant suite à la recommandation du Comité FANS, le Conseil de l'OACI institua le Comité spécial chargé de surveiller et de coordonner le développement du futur système de navigation aérienne et la planification de la transition (FANS Phase II).

3.2.6 Le Comité FANS Phase II acheva ses travaux en octobre 1993. Il reconnut que la mise en oeuvre des technologies connexes et les bénéfices escomptés ne se produiraient pas du jour au lendemain, mais s'étaleraient sur un certain temps, selon les infrastructures aéronautiques dont étaient dotés les divers États et régions et selon les besoins d'ensemble de la communauté aéronautique. Le Comité FANS Phase II convint en outre que, pour l'essentiel, les technologies auxquelles il songeait devenaient accessibles et qu'il fallait commencer par rassembler de l'information et, lorsque ce serait possible, tirer rapidement parti des technologies disponibles.

La dixième Conférence de navigation aérienne

3.2.7 En septembre 1991, 450 représentants de 85 États et de 13 organisations internationales se réunirent au siège de l'OACI, à Montréal, à l'occasion de la dixième Conférence de navigation aérienne, pour étudier et adopter le concept d'un futur système de navigation aérienne élaboré par les Comités FANS, qui répondent aux besoins de la communauté de l'aviation civile jusque bien au-delà du tournant du siècle. Le concept FANS, connu aujourd'hui sous la désignation de

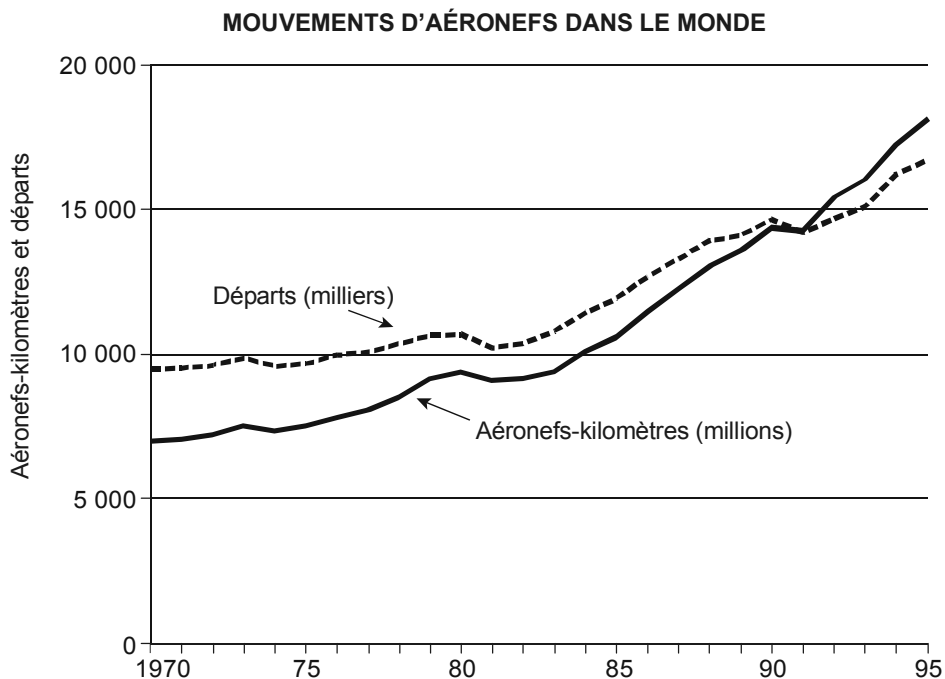


Figure 3-1. Évolution annuelle des mouvements d'aéronefs en service régulier

systèmes de communications, navigation et surveillance et de gestion du trafic aérien (CNS/ATM), fait intervenir un ensemble complexe de technologies connexes qui reposent largement sur des satellites. Il s'agit de la vision qu'a élaborée l'OACI avec l'entière coopération de tous les secteurs de la communauté aéronautique pour répondre aux besoins futurs du transport aérien international.

FAIBLESSES DES SYSTÈMES CONVENTIONNELS

3.2.8 Le Comité FANS se rendit rapidement compte que, pour un dispositif de navigation aérienne mondial idéal, l'objectif ultime devait être de fournir un système rationnel et rentable adaptable à tous les types de vols et offrant à ceux-ci toute la liberté quadridimensionnelle (espace et temps) que leurs capacités permettraient. Dans cette optique, il apparut que le dispositif global de navigation aérienne qui existait ainsi que ses sous-systèmes souffraient d'un certain nombre de faiblesses d'ordre technique, opérationnel et économique ainsi qu'en matière de procédures et de mise en oeuvre. Après des analyses approfondies, le Comité FANS conclut que les insuffisances des systèmes d'alors (FANS I a travaillé de 1983 à 1988) dans les diverses régions du monde se résumaient essentiellement à trois facteurs:

- a) les limites de propagation des systèmes à portée optique;

- b) les difficultés que causait, pour diverses raisons, la mise en oeuvre des systèmes CNS/ATM existants et leur exploitation régulière dans de vastes parties du monde;
- c) les limites des communications vocales et le manque de systèmes d'échange de données numériques air-sol pour permettre le fonctionnement de systèmes automatisés à bord et au sol.

3.2.9 Les effets de ces limites n'étaient pas les mêmes dans toutes les régions du monde, mais le Comité FANS jugea que, presque partout, une ou plusieurs d'entre elles faisaient obstacle au développement de l'ATM. Les limites étant inhérentes aux systèmes eux-mêmes, le Comité FANS jugea peu probable que le système ATS mondial de l'époque puisse être sensiblement amélioré. Il fallait donc de nouvelles approches permettant de repousser ces limites en faisant évoluer les systèmes ATS en un système ATM qui prenne mieux en compte les besoins des usagers. Autrement dit, il fallait que les systèmes CNS/ATM se traduisent par des progrès considérables en matière de sécurité, d'efficacité et de souplesse dans l'ensemble du monde.

BREF APERÇU DES SYSTÈMES CNS/ATM

3.2.10 Les quatre principaux éléments des systèmes CNS/ATM sont brièvement décrits ci-dessous; ils sont traités plus en détail dans le *Plan mondial de navigation aérienne pour les systèmes CNS/ATM* (Doc 9750), 2^e édition.

Communications

- Dans les systèmes CNS/ATM, la transmission de la voix continuera initialement de se faire par les moyens VHF existants; cependant, ces mêmes moyens VHF serviront de plus en plus à transmettre des *données numériques*.
- Les communications de données et les communications vocales par satellite offrant une couverture mondiale sont également en cours de mise en place, de même que la transmission de données sur hautes fréquences (HF).
- Le mode S du radar secondaire de surveillance (SSR), qui est de plus en plus utilisé pour la surveillance en espace aérien à forte densité de circulation, permet de transmettre des données numériques entre les aéronefs et le sol.
- Un réseau de télécommunications aéronautiques (ATN) assurera l'échange de données numériques entre les usagers aux extrémités de sous-réseaux air-sol et sol-sol dissemblables.

L'utilisation courante de la transmission de données aux fins de l'ATM aura pour effet de transformer la façon dont se font les communications air-sol et, parallèlement, elle créera de nombreuses possibilités nouvelles.

Les avantages que l'on escompte des futurs systèmes de communication tiennent au fait que ces derniers permettront de relier plus directement et plus efficacement les systèmes sol et de bord *automatisés*, en conjonction avec les communications pilote-contrôleur. En pratique, on peut considérer que la liaison de données numériques est la clé de l'élaboration de nouveaux concepts d'ATM conduisant à la concrétisation de bénéfices bien réels.

Navigation

- Dans le domaine de la navigation, les améliorations concernent la mise en place progressive de moyens de navigation de surface (RNAV), appuyés par une combinaison adéquate du système mondial de navigation par satellite (GNSS), de systèmes de navigation autonomes (IRU/IRS) et d'aides de navigation conventionnelles basées au sol. Le but ultime est une transition au GNSS éliminant la nécessité d'aides basées au sol, mais la vulnérabilité du GNSS au brouillage pourrait forcer à conserver certaines aides au sol dans certaines régions.
- Le GNSS fournit une couverture mondiale de navigation et il est utilisé pour la navigation océanique, en route et en région terminale et pour les approches de non-précision. Avec des systèmes de renforcement appropriés et des procédures connexes, le GNSS appuie les approches avec guidage vertical et les approches de précision. Tel qu'il est spécifié dans l'Annexe 10, le GNSS assure dans le monde un

service de navigation de haute intégrité, de haute précision et tous temps. La mise en oeuvre complète du GNSS permettra aux aéronefs de naviguer dans tous les types d'espace aérien, partout dans le monde, en utilisant une avionique embarquée pour recevoir et interpréter les signaux de satellites.

Surveillance

- On continuera de se servir des modes traditionnels du radar secondaire tout en introduisant progressivement le mode S tant en région terminale que dans l'espace aérien continental à forte densité de circulation.
- La grande percée, cependant, est la surveillance dépendante automatique (ADS). Avec l'ADS, les aéronefs envoient automatiquement leur position, ainsi que d'autres données telles que le cap, la vitesse et diverses informations utiles contenues dans le système de gestion de vol (FMS), par satellite ou d'autres moyens de communication, à un organisme de contrôle de la circulation aérienne (ATC) où cette position s'affiche un peu comme sur un écran radar. Les bénéfices tirés de l'ADS devraient se concrétiser rapidement dans les régions océaniques et dans certaines régions continentales dépourvues de couverture radar.

On peut aussi considérer que l'ADS est une application qui représente une véritable fusion des technologies des communications et de la navigation et qui, avec des perfectionnements de l'automatisation des systèmes au sol, se traduira par des améliorations considérables de l'ATM, particulièrement dans l'espace aérien océanique. On met actuellement au point des programmes informatiques qui permettraient aux ordinateurs au sol de se servir directement de ces données pour détecter et résoudre les conflits.

L'ADS en mode diffusion (ADS-B) est un autre concept de diffusion de l'information de position des aéronefs. Suivant cette méthode, les aéronefs diffuseraient périodiquement leur position vers les autres aéronefs et vers les systèmes sol. Qu'il soit en vol ou au sol, tout usager qui se trouve à portée de l'émetteur reçoit et traite l'information. Tous les usagers du système ont un accès en temps réel à des données rigoureusement identiques, sur des affichages semblables, ce qui améliore très fortement la conscience de la situation du trafic.

Gestion du trafic aérien

- Quand on considère l'implantation des nouveaux systèmes de communications, de navigation et de surveillance et toutes les améliorations qui s'annoncent, on s'aperçoit que le grand bénéficiaire en sera selon toute vraisemblance l'ATM. En d'autres termes, les progrès des technologies CNS seront mis au service de l'ATM. Dans le cadre du concept futur, lorsqu'on parle d'ATM, on veut dire bien davantage que simplement contrôle de la circulation aérienne. La notion d'ATM est en effet beaucoup plus large, puisqu'elle recouvre les services de la circulation

aérienne, la gestion des courants de trafic aérien (ATFM), la gestion de l'espace aérien (ASM) ainsi que les aspects des opérations aériennes liés à l'ATM.

Un système ATM intégré au niveau mondial doit tirer pleinement parti de l'arrivée des nouvelles technologies CNS par l'harmonisation internationale des normes et des procédures. En fin de compte, c'est cela qui permettra aux exploitants d'aéronefs d'exécuter leurs vols suivant les trajectoires qu'ils préfèrent, en adaptant ces trajectoires de façon dynamique, de la manière optimale et la plus économique.

3.2.11 Le concept OACI des systèmes CNS/ATM est jugé avantageux parce qu'il permet de rehausser la sécurité. Par exemple, une plus grande fiabilité du service mobile de communications aéronautiques par satellite procurera des communications ATS plus complètes et moins interrompues dans certaines parties du monde. De plus, l'ADS et des systèmes de transmission de données amélioreront la détection et la résolution des conflits, et aideront les contrôleurs en fournissant des avis sur la résolution des conflits. Des renseignements plus rapides et plus détaillés sur les avertissements météo, par exemple des alertes de tempêtes, contribueront aussi à la sécurité et à l'efficacité de l'exploitation aérienne.

3.2.12 Les systèmes CNS/ATM amélioreront le traitement et la transmission de l'information, étendront la surveillance grâce à l'ADS et accroîtront la précision de la navigation. Cela se traduira notamment par des réductions de la séparation entre aéronefs et, en conséquence, par une augmentation de la capacité de l'espace aérien.

3.2.13 L'arrivée de systèmes CNS/ATM avancés s'accompagnera aussi de la mise en oeuvre de systèmes sol informatisés pour faire face à la croissance du trafic. Ces systèmes sol échangeront les données directement avec les FMS au moyen de liaisons de données. Le prestataire des services ATM et l'utilisateur de l'espace aérien en bénéficieront tous les deux puisque cela permettra d'améliorer la détection et la résolution des conflits grâce à un traitement intelligent, de produire et d'envoyer automatiquement des autorisations de vol exemptes de conflit et de disposer du moyen de s'adapter rapidement à un changement des impératifs du trafic. Le dispositif ATM sera ainsi mieux en mesure de respecter les profils de vol privilégiés, ce qui contribuera à réduire les coûts des exploitants d'aéronefs ainsi que les retards.

3.3 AUTOMATISATION DANS LES SYSTÈMES AÉRONAUTIQUES AVANCÉS

3.3.1 Un des aspects cruciaux des systèmes aéronautiques avancés (dont le système CNS/ATM) a trait aux incidences qu'ont sur l'opérateur humain l'automatisation et l'application de technologies de pointe. Pour que l'automatisation soit efficace, il faut qu'elle réponde aux besoins des concepteurs, des acheteurs (c'est-à-dire prestataires de services

ATS et/ou autorités de l'aviation civile) et des usagers, et qu'elle tienne compte des contraintes qui s'imposent à eux. C'est pourquoi il est indispensable d'établir des lignes directrices pour la conception et l'emploi de l'automatisation dans les systèmes de technologie très avancée, notamment le système CNS/ATM. Quels rôles l'automatisation est-elle appelée à jouer dans les systèmes avancés? Quel degré d'automatisme devrait-elle avoir? Quelles seront ses interactions avec l'opérateur humain et quel rôle faut-il réserver à ce dernier? Ce ne sont là que quelques-unes des nombreuses questions qui devraient recevoir réponse au stade de la conception des systèmes.

Le rôle de l'opérateur humain dans les systèmes hautement automatisés

3.3.2 Les progrès de la technologie sont tels que, dans le système aéronautique, les ordinateurs (l'automatisation) sont maintenant capables d'accomplir quasiment toutes les fonctions continues de contrôle de la circulation aérienne et de surveillance ainsi que les tâches qu'implique la navigation des aéronefs. Pourquoi, dès lors, l'élément humain reste-t-il nécessaire dans ce système? Ne pourrait-on pas réaliser une automatisation qui remplisse toutes les diverses fonctions des opérateurs humains? Ne serait-il pas plus facile, et même moins coûteux, de concevoir des automatismes parfaitement fiables qui soient capables de faire tout le travail, sans se soucier de faire place à un opérateur humain?

3.3.3 De nombreux concepteurs de systèmes, trouvant les humains peu fiables et peu efficaces, considèrent qu'il faudrait les éliminer du système (point de vue que confortent les promesses de l'intelligence artificielle et de l'automatisation avancée introduite récemment). Pourtant, il n'est pas réaliste de penser que le fonctionnement de la machine va remplacer entièrement le fonctionnement humain.¹ C'est presque toujours dans l'espoir de réduire l'erreur humaine et la charge de travail que l'automatisation est introduite; or, ce qui arrive souvent, c'est que le risque d'erreur est simplement déplacé. La plupart du temps, l'automatisation ne remplace pas les êtres humains dans les systèmes; elle leur confère un rôle différent, et dans bien des cas plus exigeant.²

3.3.4 À titre d'exemple, on entend souvent affirmer que pour augmenter la capacité de l'espace aérien il est indispensable de changer le rôle du contrôleur de la circulation aérienne pour le faire passer du contrôle individuel de chaque aéronef à la gestion d'un espace aérien plus vaste. Dans les futures architectures ATC, les outils automatisés servant à détecter et résoudre les conflits sont censés jouer un plus grand rôle dans la séparation entre aéronefs. L'intervention du contrôleur ne serait nécessaire que lorsque l'automatisation serait incapable de résoudre des problèmes émergents, lorsque la densité du trafic interdirait la flexibilité des routes, ou pour d'autres raisons de sécurité. En d'autres termes, le contrôleur traditionnel deviendra alors un gestionnaire d'exception qui devra résoudre les conflits lorsque aéronefs ou ordinateurs ne pourront le faire, et reprendra le contrôle lorsque l'espace

aérien sera trop encombré ou lorsque d'autres paramètres critiques seront dépassés.

3.3.5 Cependant, comme l'ont indiqué Dekker et Woods (1999), la gestion par exception emprisonne les contrôleurs humains dans un dilemme: une intervention précoce ne donnera qu'une mince justification de restrictions et créera des problèmes de volume de travail chez les contrôleurs (et compromettra de plus grands objectifs du système de trafic aérien), alors qu'une intervention tardive ne laissera que peu de temps pour résoudre effectivement le problème, qui sera alors devenu manifeste (ce qui compromettra de plus grands objectifs du système de trafic aérien). En résumé, intervenir tôt serait difficile *et* intervenir tard serait difficile aussi, pour des raisons différentes. La gestion par exception semble placer le contrôleur du futur devant une double embûche fondamentale.

3.3.6 Le système aéronautique comprend de nombreuses variables qui sont extrêmement dynamiques et ne sont pas entièrement prévisibles. Des réactions en temps réel à des situations en évolution sont ce qui assure la sécurité d'exploitation de l'ensemble du système. La différence fondamentale entre les façons qu'ont les hommes et les ordinateurs de réagir aux diverses situations pourrait représenter la différence entre un système aéronautique fiable (sûr) et un système non fiable (non sûr). Dans la réaction humaine interviennent l'utilisation et la coordination de la vue, de l'ouïe et de la parole, ainsi que l'aptitude à réagir par l'initiative et le bon sens à des problèmes imprévus. Les ordinateurs sont tributaires de l'installation du *programme approprié*, pour exécuter l'*action appropriée au moment approprié*. L'impossibilité pour les concepteurs de l'automatisation de réaliser un programme capable de bien réagir à toutes les éventualités et à toutes les situations susceptibles de survenir dans le système, ainsi que la variabilité incontrôlable de l'environnement, sont parmi les grandes difficultés qui empêchent d'informatiser l'ensemble des fonctions. La réalité est celle-ci: si un automatisme rencontre une situation pour laquelle il n'est pas programmé, il est pris en défaut. De plus, les automatismes peuvent subir des défaillances imprévisibles. Des anomalies mineures dans un système ou dans des procédures risquent d'avoir des effets inattendus, qu'il faut résoudre en temps réel, comme dans le cas des défaillances du centre en route NATS de Swanwick (NERC) au Royaume-Uni en 2002 et de la défaillance des systèmes de traitement des données de vols au Centre de contrôle de Tokyo en 2003. Si l'on considère ces limitations, on voit aisément qu'un système aéronautique axé sur l'automatisation pourrait être porteur de désastre pour toute l'infrastructure aéronautique.

3.3.7 Par ailleurs, les humains sont loin d'être de parfaits capteurs, décideurs ou contrôleurs, mais ils possèdent plusieurs attributs précieux, dont les plus importants sont leur aptitude à raisonner efficacement face à l'incertitude et leurs capacités d'abstraction et d'analyse conceptuelle des problèmes. Face à une situation nouvelle, les humains, contrairement aux automates, ne sont pas pris en défaut; ils affrontent la situation et sont capables de la résoudre. Ils confèrent ainsi au système aéronautique une souplesse que les calculateurs ne peuvent pas actuellement et ne pourront peut-être jamais atteindre. L'être humain est *intelligent*; il est capable de réagir rapidement et

avec succès à des situations nouvelles, ce que les ordinateurs, automates dominants dans le système ATC, ne peuvent faire que dans des domaines et des situations étroitement définis et bien compris.³

3.3.8 L'automatisation devrait être considérée comme un outil ou une ressource, un dispositif, une méthode ou un système permettant à l'être humain d'accomplir une tâche dont l'exécution pourrait, sans cela, être difficile, voire impossible, ou pouvant être chargée par l'homme d'accomplir de façon plus ou moins autonome une tâche qui, sans cela, demanderait davantage d'effort ou d'attention humaine. Le terme «outil» n'exclut pas que celui-ci puisse avoir un certain degré d'intelligence, une certaine capacité d'apprendre et d'agir ensuite de façon indépendante pour accomplir une tâche. Les automatisations sont simplement l'une des nombreuses ressources dont dispose l'opérateur humain, lequel reste responsable de gérer et diriger le système dans son ensemble.

3.3.9 L'expression «architecture coopérative homme-machine» est un terme émergent qui sert à désigner une forme d'automatisation d'un modèle plus intelligent. Selon Dekker et Woods (1999), le partenaire actif dans une équipe homme-machine bien coordonnée (qui dans la gestion par exception serait souvent la machine) ne déclencherait pas des alarmes de dépassement du seuil pour signaler la limite de son aptitude à résoudre le problème. Il se mettrait plutôt à commenter la difficulté ou à augmenter l'effort nécessaire pour continuer de cibler les paramètres pertinents. Le superviseur (humain) pourrait interroger sur la nature de la difficulté, investiguer le problème et peut-être finalement intervenir pour atteindre les objectifs globaux de sécurité.

3.3.10 Afin de bâtir pareille architecture coopérative homme-machine pour l'ATC, il faudrait d'abord déterminer quels niveaux et modes d'interaction seront intéressants pour les contrôleurs et dans quelles situations. Dans certains cas, les contrôleurs souhaiteront peut-être prendre un contrôle très détaillé d'une certaine portion d'un problème, spécifiant exactement quelles décisions seront prises et dans quelle séquence, alors que dans d'autres cas les contrôleurs souhaiteront peut-être apporter des corrections très générales, de haut niveau, à l'évolution des événements.

3.3.11 La communauté des facteurs humains en aviation a bien compris cette ligne de pensée qui considère l'automatisation comme une ressource et elle l'a définie avec précision, à tel point que certains organismes d'aviation ont énoncé une philosophie établissant une démarcation entre les fonctions et les responsabilités des deux éléments (opérateurs humains et automatismes) au sein du système. L'énoncé suivant, adopté en la matière par une compagnie aérienne, est un très bon exemple d'une telle philosophie:⁴

Dans le présent énoncé, le terme «automatisation» signifie le remplacement d'une fonction humaine, qu'elle soit manuelle ou cognitive, par une fonction automatique. Cette définition s'applique à tous les niveaux d'automatisation, dans tous les avions qu'exploite notre compagnie. Le rôle de l'automatisation est d'aider le pilote à faire son travail.

Le pilote est l'élément le plus complexe, le plus capable et le plus souple du système de transport aérien; c'est donc lui qui est le mieux en mesure de déterminer s'il utilisera dans une situation donnée les moyens qu'il a le choix d'utiliser.

Les pilotes doivent être aptes à piloter leur avion à tous les niveaux d'utilisation des automatismes. Ils doivent être rodés à sélectionner le degré d'automatisation qui convient et posséder les habiletés nécessaires pour passer d'un niveau d'automatisation à un autre.

L'automatisation devrait être employée au niveau le plus approprié pour exercer une influence positive sur la réalisation des objectifs prioritaires — sécurité, confort des passagers, respect des horaires et économie — qui sont énoncés dans le manuel de politique générale d'exploitation de la compagnie.

Afin d'atteindre ces objectifs prioritaires, tous les programmes de formation de Delta Air Lines, ses dispositifs d'entraînement, procédures, listes de vérification, acquisitions d'avions et de matériel, manuels, programmes de contrôle de qualité, programmes d'uniformisation, documents, ainsi que toute l'exploitation quotidienne des avions de Delta, seront en accord avec le présent énoncé de philosophie de la compagnie en matière d'automatisation.

3.3.12 Il est utile d'introduire une telle philosophie de l'automatisation dans les opérations aériennes; en effet, en précisant quand et comment utiliser les automatismes, on établit une démarcation entre les responsabilités qui incombent respectivement à l'être humain et à la machine, ce qui contribue à la sécurité et à l'efficacité du système. Il faut comprendre qu'une philosophie d'automatisation n'est pas simplement en relation avec l'équipement existant. Elle peut aussi être utile pour la conception globale des procédures d'un organisme d'aviation, l'élaboration de la formation et les acquisitions d'équipements, et il ne faudrait pas en faire une série de procédures détaillées. Ces procédures pourraient devoir changer avec l'arrivée de nouveaux équipements, alors que la philosophie resterait la même. Enfin, il faut avant tout qu'elle soit compatible avec le contexte culturel dans lequel l'organisme exerce son action.

Automatisation du système CNS/ATM

3.3.13 Les avantages que procurera le système CNS/ATM proviendront essentiellement de l'automatisation, qui doit permettre de réduire ou d'éliminer les contraintes qui s'exercent sur le système. Dans l'avenir, des bases de données permettant de connaître les niveaux actuels et prévus de la demande et de la capacité, et des modèles automatisés sophistiqués qui prédiront exactement encombrements et retards, seront utilisés pour formuler des stratégies en temps réel efficaces, permettant de réagir à un surcroît de demande. L'automatisation jouera un rôle central dans l'établissement des processus de négociation entre les calculateurs de gestion de vol des aéronefs et les automatismes de gestion du trafic aérien au sol, pour définir une nouvelle trajectoire répondant le mieux possible aux objectifs de l'utilisateur tout en tenant compte

des contraintes ATM. C'est cependant à l'opérateur humain qu'il appartiendra de décider de l'issue de la négociation et de sa mise en oeuvre. De même, lorsque le processus de gestion au sol constate la nécessité d'intervenir dans la trajectoire de vol autorisée pour un aéronef, le calculateur ATM négociera avec l'ordinateur de gestion de vol afin de déterminer une modification qui respecte les contraintes ATM, tout en s'écartant le moins possible de la trajectoire que privilégie l'utilisateur. Des automatismes pourront aussi examiner chaque compte rendu de position et d'intentions émanant d'un aéronef pour déceler les conflits potentiels avec d'autres aéronefs, avec des phénomènes météorologiques dangereux ou avec un espace aérien réglementé.

3.3.14 Le champ d'utilisation de l'automatisation est au coeur des systèmes CNS/ATM, à tel point que sans elle il ne serait pas possible de tirer pleinement parti des avantages escomptés de ces systèmes, ni même de les mettre en oeuvre efficacement. En fait, les possibilités que l'on cherche à obtenir par la mise en place du système CNS/ATM mondial vont bien au-delà de ce qui est strictement envisagé à l'heure actuelle et le développement ultérieur du système pourrait dépendre d'une automatisation toujours plus poussée.

3.3.15 L'automatisation a été introduite progressivement dans le système aéronautique. Dans le poste de pilotage, elle rend l'exploitation plus sûre et efficace en permettant une plus grande précision de manoeuvre en vol, en donnant plus de souplesse aux affichages et en dégagant le cockpit. Dans beaucoup de systèmes ATC modernes, certaines fonctions sont automatisées; la collecte et le traitement de l'information, par exemple, sont entièrement automatisés et ne nécessitent aucune intervention humaine directe. Les bases de données informatisées et les affichages électroniques ont amélioré les échanges de données, l'introduction du radar couleur a permis un contrôle plus poussé et il s'est révélé que l'informatisation de la gestion des courants de trafic (ATFM) est un élément essentiel pour prendre en charge efficacement les fluctuations du débit et l'accroissement de la demande de trafic.

3.3.16 Dans la perspective du présent chapitre, le terme automatisation est appliqué à *une méthode ou un système dans lequel de nombreux processus de production sont exécutés ou contrôlés automatiquement par des machines autonomes, des dispositifs électroniques, etc.*⁵ Nous nous occuperons ici de l'automatisation dans la technologie aéronautique avancée, et plus particulièrement des questions de facteurs humains dans le développement et l'utilisation des systèmes CNS/ATM. L'automatisation, indispensable à l'évolution progressive de ces systèmes, est appelée à jouer un rôle capital dans le développement futur de la technologie aéronautique. Il est donc extrêmement souhaitable qu'elle soit progressivement introduite.

3.3.17 Les techniques de gestion du trafic aérien sont en constante évolution. De nouvelles méthodes de liaison de données et de communication par satellite se développent, la qualité du radar et du traitement des données s'améliore, des systèmes anticollision sont développés, des minimums de séparation verticale réduits (RVSM) au-dessus de FL290 sont

appliqués, l'acheminement direct des avions entre aéroports de départ et d'arrivée sans utilisation de voies aériennes est à l'étude et des systèmes de navigation aérienne très avancés font l'objet d'activités de recherche et développement. De plus en plus de possibilités de mettre à profit à plus grande échelle les avantages du concept sont également découvertes et introduites.

3.3.18 Les nouveaux choix qu'offrent ces progrès technologiques doivent être examinés en termes de sécurité, d'efficacité, de rentabilité et de compatibilité avec les possibilités et les limites humaines. Ces progrès modifient les procédures et les pratiques du système de navigation aérienne mondial, ainsi que l'environnement de travail et le rôle des pilotes, contrôleurs aériens, agents d'exploitation, techniciens de maintenance des aéronefs et autres acteurs. Tous ces intervenants vont avoir à relever le défi de ne pas négliger les questions de facteurs humains qui entrent en jeu. L'Annexe 11 de l'OACI prescrit que lorsque des changements importants dans les procédures d'exploitation ou dans la réglementation sont envisagés, il faut procéder à une évaluation de la sécurité du système. L'objectif de cette évaluation est de révéler toute carence en matière de sécurité qui pourrait être introduite par les changements proposés, avant que ceux-ci soient mis en oeuvre, et d'assurer que les nouvelles procédures soient *tolérantes à l'erreur*, afin qu'une défaillance humaine ou technologique n'ait pas de conséquences catastrophiques. La prise en considération des facteurs humains dans la conception et le développement des nouveaux systèmes peut garantir que l'impératif primordial de sécurité ne fera jamais l'objet d'aucun compromis dans l'ensemble du système, mais qu'il sera maintenu et renforcé à travers tous les défis futurs.

3.3.19 Le développement des systèmes CNS/ATM visera à faire plus avec moins, grâce à la conception et à l'acquisition de systèmes de gestion du trafic aérien fortement automatisés. En aviation, une automatisation grandissante est inéluctable. La question qui se pose est donc de savoir *quand, où et comment* la mettre en oeuvre, et non *si* elle devra être réalisée. Bien employée, l'automatisation est un atout considérable. Elle peut contribuer à l'efficacité, améliorer la sécurité, aider à éviter les erreurs et accroître la fiabilité. Il s'agit de faire en sorte que ce potentiel se concrétise, en réalisant l'adéquation des aides automatisées et des possibilités humaines et en assurant l'adaptation mutuelle de l'homme et de la machine, afin de mettre pleinement à profit leurs points forts respectifs. Dans les systèmes automatisés aéronautiques, l'être humain (pilote, contrôleur ou autre), responsable en dernier ressort de la sécurité de fonctionnement du système, doit rester son élément clé; il faut que la machine ou les automatismes aident l'homme à réaliser l'objectif général, jamais l'inverse.

3.3.20 Lorsqu'il s'agit de développer des procédures et des techniques de gestion du trafic aérien utilisant les nouvelles technologies, un des grands défis de la conception est de réaliser des améliorations du système qui soient axées sur l'opérateur humain. Les informations fournies à cet opérateur et les tâches qui lui sont confiées doivent répondre à ses responsabilités de gestion et de contrôle, ainsi qu'aux caractéristiques et aux possibilités innées de l'être humain. Il convient

donc que toute avancée technologique en aviation, notamment dans le système CNS/ATM, prenne en compte les rapports homme-machine à un stade précoce du processus de conception et de développement. Si l'on omet de les prendre en compte à ce stade, le système ne pourra pas être utilisé comme prévu, ce qui nuira à son efficacité et/ou à sa sécurité globale. Il faut que l'automatisation soit conçue de manière à soutenir et renforcer les possibilités des gestionnaires humains; elle devrait, dans toute la mesure du possible, être *axée sur l'élément humain*. Maintenant que la compréhension élémentaire des facteurs humains s'améliore et que l'on dispose de moyens d'analyser les aspects de la conception des systèmes qui relèvent des facteurs humains, on peut escompter que le processus de conception sera plus efficace.

Questions et préoccupations relatives à l'automatisation des systèmes CNS/ATM

3.3.21 Les systèmes CNS/ATM sont appelés à faire évoluer mondialement les techniques de communications, de navigation et de surveillance en un système essentiellement basé sur l'utilisation des satellites. Ils impliquent donc un accroissement continu du niveau d'automatisation des opérations aériennes. Une utilisation optimale des automatismes, à bord et au sol (contrôle de la circulation aérienne, dispatching, maintenance) est souhaitable pour permettre des flux d'information d'une grande efficacité. Les données de la surveillance dépendante automatique peuvent être utilisées par le système automatisé de gestion du trafic aérien pour présenter à l'opérateur des affichages de la circulation comportant le maximum d'informations dont il a besoin. Pour accroître la sécurité et réduire l'engorgement, il faut traiter les aéroports et les espaces aériens comme un système intégré, avec des interactions optimales entre les éléments du système — aéronefs, infrastructure au sol et, ce qui est le plus important, opérateurs humains.

3.3.22 Dans certains États, des recherches sont poursuivies activement sur l'amélioration de la sécurité aérienne par l'introduction de liaisons de données air-sol pour remplacer la majorité des communications vocales entre pilotes et contrôleurs. Il convient toutefois de reconnaître que des communications vocales resteront nécessaires, au moins pour les communications d'urgence ou autres que les communications régulières. On considère que les communications contrôleur-pilote par liaison de données (CPDLC) présentent un potentiel considérable, permettant tout à la fois de réduire l'erreur humaine et d'accroître la capacité de l'espace aérien, pour accueillir dans l'avenir un trafic croissant. Cela risque cependant de nécessiter des modifications de l'interface homme-machine, qui pourraient comporter à l'avenir une utilisation accrue de l'intelligence artificielle pour aider le pilote et le contrôleur dans la prise de décision. Comme le montre l'expérience dans le Pacifique Sud, les CPDLC introduisent dans le système des risques d'erreurs qui n'existaient pas auparavant (voir 3.3.3).

3.3.23 Toutes les formes d'aide automatisée à l'opérateur humain doivent être d'une grande fiabilité, mais cela

risque par ailleurs de lui donner un sentiment de sécurité excessif qui entraîne un relâchement de la vigilance. L'homme risque de perdre peu à peu son savoir-faire et, en cas de défaillance de la machine, d'accepter une solution inadéquate ou de devenir incapable de formuler une option satisfaisante. Les formes les plus appropriées de rapports homme-machine dépendent du type de tâche qui est automatisée et, en particulier, des interactions entre les fonctions de planification et d'exécution.

3.3.24 Dans le contexte de la gestion du trafic aérien, il est largement admis que l'exécution de tâches ATC courantes stimule la mémoire, ce qui n'est pas le cas si ces tâches sont exécutées automatiquement pour le contrôleur. Des études scientifiques ont montré que les contrôleurs, lorsqu'ils cherchent à se faire une représentation mentale de la situation du trafic, acquièrent une grande partie de leur conscience de cette situation en parlant aux pilotes et en faisant des annotations sur des strips de papier ou en saisissant des données (dans les systèmes plus automatisés).⁶ Les entrées verbales ou écrites (sur clavier) maintiennent les hommes «dans la boucle» et permettent une actualisation active de la représentation mentale et de la conscience de la situation au sens le plus large.⁷ On pense que l'automatisation de l'entrée des données risque d'entraîner des déficiences de la performance humaine, car elle peut priver le contrôleur d'informations importantes sur la fiabilité et la durabilité des informations. L'automatisation peut réduire l'effort nécessaire pour accomplir certaines tâches et réduire le stress qui accompagne cet effort, mais elle risque aussi d'entraîner une perte de la satisfaction liée au travail, en faisant disparaître une partie de l'intérêt intrinsèque de ce travail et la sensation de maîtrise de certaines fonctions.

3.3.25 Les systèmes d'information sur les carences en matière de sécurité et les comptes rendus d'accidents fournissent suffisamment d'éléments pour illustrer les effets d'une approche de l'automatisation axée sur la technologie. Un sous-comité du Human Behaviour Technology Committee, créé en 1985 par la Society of Automotive Engineers (SAE) pour étudier l'automatisation des postes de pilotage, a identifié plus de 60 préoccupations que suscite une telle approche. La plupart de ces préoccupations s'appliquent aussi bien à l'environnement du contrôle de la circulation aérienne qu'au poste de pilotage. Elles ont trait notamment aux problèmes suivants:⁸

- **Déconnexion face aux systèmes**, pouvant survenir chez un opérateur humain qui ne connaît pas bien les possibilités et les limites fondamentales des systèmes automatisés ou qui se fait des idées erronées sur leur fonctionnement dans certaines circonstances.
- **Conception inadéquate de l'interface**. L'automatisation modifie ce qui est transmis à l'interface homme-machine, ce qui peut conduire soit à ce que certaines informations ne soient pas transmises, soit à des modifications de la forme des informations transmises. Jusqu'à présent, la majeure partie des informations étaient transmises de la machine à l'homme au moyen d'affichages visuels et de l'homme à la machine au moyen de dispositifs de saisie et de

commandes. Une conception inadéquate de l'interface peut aussi se conjuguer au laps de temps nécessaire à l'opérateur humain pour prendre la relève des automatismes et devenir un facteur critique, en réduisant la qualité d'exécution ou la pratique d'un événement, par manque d'échauffement.

- **Attitudes envers l'automatisation** révélant souvent de l'insatisfaction devant le fonctionnement de systèmes automatisés dans un environnement non convivial, quoique ce sentiment pourrait sans doute être quelque peu atténué par des améliorations de l'interface homme-machine. L'automatisation, là où elle a été introduite, n'a pas toujours été acceptée sans critique par ceux qui étaient appelés à la mettre en oeuvre. Tandis que certains de ses aspects étaient bien acceptés, d'autres étaient rejetés (parfois parce que les opérateurs n'avaient pas utilisé convenablement les équipements dans l'environnement réel). L'acceptation de l'automatisation peut aussi dépendre de facteurs liés à la culture de l'organisme auquel appartiennent les employés. Des relations peu satisfaisantes avec la direction, le sentiment chez l'employé de n'avoir pas eu voix au chapitre dans la décision d'adopter l'automatisation et l'absence de participation au développement de celle-ci sont d'autres exemples de facteurs qui peuvent influencer négativement sur son acceptation. Ces facteurs peuvent jouer indépendamment de la qualité de l'automatisation offerte aux employés.
- **Problèmes de motivation et de satisfaction liée au travail** pouvant se poser, par exemple, si le contrôleur perd le sentiment de sa propre importance, s'il éprouve une impression de régression de ses habiletés professionnelles ou s'il ne reçoit aucun retour d'information sur sa performance personnelle. Pour de nombreux opérateurs, la principale satisfaction qu'ils retirent de leur activité vient de l'intérêt intrinsèque que le travail présente pour eux. Ils aiment leur profession pour ses défis. Si les automatismes prennent la relève au point de réduire cette satisfaction, l'ennui et l'insatisfaction générale risquent de s'installer.
- **Une tendance à trop s'en remettre aux automatismes** peut s'installer parce qu'il est facile de s'accoutumer à l'utilité et à la qualité des nouveaux systèmes automatisés. L'opérateur humain pourrait avoir tendance à compter sur eux dans des circonstances en rapide évolution, qui ne lui laissent pas le temps d'introduire dans l'ordinateur les données nouvelles. Si les choses tournent mal, il y a aussi le risque de le voir hésiter à débrancher les automatismes et à prendre la relève.
- **Erreurs de décision systématiques**. Il arrive que l'opérateur s'écarte des pratiques optimales de prise de décision, surtout s'il est pressé par le temps ou soumis à d'autres facteurs de stress. L'aptitude

humaine à prendre les décisions optimales peut aussi être limitée par certains biais. Une façon de réduire ou d'écartier toute tendance aux décisions biaisées est d'utiliser des aides automatisées à la décision, au moment où des décisions sont à prendre. Dans un tel système, l'homme adopte ou rejette la recommandation de la machine. Les avantages de la décision automatisée, évidents en théorie, restent à démontrer de façon concluante dans la pratique.

- **Ennui et relâchement de la vigilance devant les automatismes** risquent de s'installer si une grande partie de la gestion du trafic aérien est complètement automatisée, ce qui amène les opérateurs à relâcher leur vigilance. Dans le cas particulier du sentiment de sécurité, l'opérateur peut devenir tellement certain que les automatismes fonctionneront bien qu'il sera moins vigilant et/ou trop tolérant à des erreurs dans la performance du système automatisé.
- **Intimidation devant les automatismes**, provenant notamment de la multiplication des éléments du système, dont résulte un problème de fiabilité. En effet, plus les éléments sont nombreux et plus grands sont les risques de défaillance de l'un d'eux. Cependant, les hommes hésitent à intervenir dans le déroulement de processus automatisés, même si un dysfonctionnement est manifeste. Cela peut s'expliquer en partie par des lacunes de la formation et en partie par d'autres pressions.
- **Méfiance**, se manifestant en général lorsque l'évaluation d'une certaine situation par l'opérateur humain est différente de celle du système automatisé. Si le système ne fonctionne pas de la même façon que l'homme, ou de la façon qu'attend le contrôleur, cela peut conduire à une intervention humaine inopportune ou à de l'inquiétude de la part de l'être humain. C'est ce qui risque aussi de se produire si l'opérateur manque d'entraînement. La méfiance peut être aggravée si des vices de conception du système provoquent des alarmes intempestives.
- **Confusion de modes ou erreurs dans l'utilisation des modes**, pouvant résulter du grand nombre d'options qu'offre l'automatisation ainsi que d'un manque d'entraînement. Avec la nouvelle technologie informatique, le contrôleur pourrait supposer que le système fonctionne dans un certain mode de gestion alors que ce n'est pas le cas.
- **Charge de travail**. L'essor de l'automatisation s'explique en partie par l'idée qu'elle va réduire la charge de travail; or, à ce qu'il semble, cet objectif n'est pas encore atteint. Dans l'environnement du contrôle de la circulation aérienne, cette charge peut en fait être accrue par des activités nouvelles telles que la saisie et la restitution des données. Il ne suffira donc pas d'automatiser certains aspects d'un système

ATC pour que le contrôleur puisse acheminer davantage de trafic. L'automatisation devrait être orientée vers l'élimination des tâches non essentielles, permettant ainsi au contrôleur de se concentrer sur des tâches plus importantes, telles que la surveillance ou le contrôle direct du système et la résolution de conflits.

- **Fonctions d'équipe**. Dans les systèmes automatisés, les rôles et les fonctions qui s'exercent en équipe sont autres que dans les systèmes manuels. Par exemple, les contrôleurs ont plus d'autosuffisance et d'autonomie dans les systèmes plus automatisés; ils exécutent davantage de tâches en interaction avec les machines qu'en interaction avec leurs collègues ou avec les pilotes. On parle moins et on utilise davantage les claviers, ce qui a des répercussions sur la faisabilité et l'évolution de fonctions qui étaient traditionnellement des fonctions d'équipe, comme la supervision, l'assistance, l'évaluation et la formation au poste de travail. Lorsque des tâches sont exécutées par les membres d'une équipe au sein de laquelle existe une étroite coordination, un consensus sur les mérites relatifs des performances de chacun peut former la base non seulement du respect et de la confiance dans la vie professionnelle, mais aussi des promotions et de l'attribution de responsabilités élargies. La question des changements dans les rôles et fonctions en équipe est une de celles qui devraient être abordées dans la formation de gestion des ressources en équipe (TRM) pour le personnel des services de la circulation aérienne.

3.3.26 Une approche axée sur la technologie dans l'automatisation de processus technologiques très avancés, par exemple dans la production d'énergie nucléaire, l'industrie chimique, l'aviation civile ou la technologie spatiale, a abouti à des accidents qui ont causé de lourdes pertes humaines et matérielles. Ces accidents ont été essentiellement le résultat d'incompatibilités entre hommes et machines. La technologie étant aisément accessible, des solutions techniques visant à supprimer l'erreur humaine ont été introduites sans qu'il soit dûment tenu compte des possibilités et des limites humaines. Un concepteur convaincu de ce que l'opérateur humain est peu fiable et peu efficace aura tendance à introduire une automatisation axée sur la technologie. Deux ironies de cette approche ont été identifiées:⁹ l'une est que des erreurs du concepteur peuvent être une source majeure de problèmes en exploitation, et l'autre est que le concepteur qui cherche à écartier l'opérateur lui laisse quand même les tâches qu'il ne sait pas comment automatiser. Nous pouvons ajouter à cela le fait que, en fin de compte, l'automatisation n'est pas infaillible et que ses défaillances sont généralement mystérieuses et imprévisibles. C'est pourquoi on préconise de plus en plus une approche centrée sur l'élément humain, qui prenne dûment en considération tous les éléments, et spécialement l'élément humain. On a tiré de dures leçons d'expériences passées d'automatisation de certains systèmes aéronautiques, par exemple dans le poste de pilotage. Cependant, nous pouvons dire maintenant, à propos de l'automatisation dans le poste de

pilotage, que l'on retourne — avec il est vrai des exceptions notoires — à une automatisation centrée sur l'homme, ce qui est une tendance positive et encourageante, fortement soutenue par l'OACI. On peut espérer que les leçons du passé seront appliquées à l'ensemble des nouveaux systèmes de technologie avancée, de sorte que des erreurs connues ne se reproduisent pas.

3.3.27 Il y a un autre aspect nouveau de l'introduction de technologie CNS/ATM qui pourrait concerner particulièrement les autorités de réglementation: l'interaction entre systèmes au sol et systèmes embarqués. Traditionnellement, ces systèmes étaient considérés comme des systèmes autonomes, mais dans un environnement de technologie avancée il y a de plus en plus un échange automatisé d'informations entre les systèmes, sur la base desquelles des mesures liées à la sécurité pourraient être ou ne pas être prises par les opérateurs respectifs. Cela pourrait avoir des incidences sur les conditions de certification d'éléments de systèmes basés au sol dans les États.

3.4 TECHNOLOGIE CENTRÉE SUR L'HUMAIN

Un concept d'automatisation axée sur l'élément humain

3.4.1 Le concept de «*human-centred automation*», signifiant «*automatisation axée sur l'élément humain*», est un concept systémique. On entend par là une *automatisation conçue pour coopérer avec les opérateurs humains à la réalisation des objectifs fixés*. Il s'agit d'un ensemble d'automatismes destinés à aider les opérateurs humains, les contrôleurs ou les dirigeants à s'acquitter de leurs responsabilités. La qualité et l'efficacité du système automatisé centré sur l'élément humain seront fonction de la mesure dans laquelle le système tire parti des points forts des deux éléments et compense leurs faiblesses. Pour mieux comprendre le concept d'automatisation axée sur l'humain, nous pourrions définir un système robotisé entièrement autonome comme «non axé sur l'humain»: l'homme n'a pas de rôle critique à jouer dans un tel système, une fois que celui-ci est conçu et rendu opérationnel. Inversement, l'automatisation n'a pas de rôle à jouer dans un système entièrement manuel.

3.4.2 Aucun des systèmes complexes homme-machine qui existent de nos jours ne se situe à l'un ou l'autre de ces extrêmes. Presque tous comportent des dispositifs automatiques qui aident l'opérateur humain à exécuter un ensemble défini de tâches et lui réservent certaines tâches en exclusivité. Nul n'envisage que les futurs systèmes de navigation aérienne avancés soient entièrement robotisés et que l'élément humain soit exclu de leur fonctionnement. Il n'est pas envisagé non plus qu'ils fonctionnent sans l'aide de certains automatismes. En fait, aujourd'hui déjà, humains et machines assurent conjointement la sécurité de fonctionnement du système aéronautique. La classification ci-après a été proposée pour des degrés croissants d'automatisation (Billings, 1991):

- Contrôle manuel direct
- Contrôle manuel assisté
- Contrôle partagé
- Gestion par délégation
- Gestion par consentement
- Gestion par exception
- Fonctionnement autonome

Comme nous l'avons vu au chapitre précédent, la croissance future de ce système exigera davantage d'automatisation. C'est un système dans lequel le progrès technologique pourrait bien reposer sur notre façon de traiter l'information et d'utiliser l'automatisation. L'informatique y suscitera de profonds changements dans des domaines tels que les communications (air/sol, air/air, sol/sol), les affichages (plats, tête haute, tête basse), les techniques vocales interactives, les liaisons de données, etc. La technologie de l'automatisation amènera aussi d'importants progrès dans des domaines tels que la conduite des vols, le contrôle de la circulation aérienne, les systèmes de commande numériques, les commandes de vol électriques, etc.

3.4.3 La tendance à la multiplication des informations, à une complexité croissante et à une automatisation grandissante risque d'isoler les opérateurs humains, en les rendant moins conscients de l'état et de la situation du système dans lequel ils interviennent. Il y a de nombreuses raisons, dont plusieurs que nous avons déjà vues, pour lesquelles les concepteurs de systèmes devraient prendre en considération les facteurs humains dès le tout début du processus de conception. Les enquêtes sur tous les accidents graves survenus au cours des deux dernières décennies du XX^e siècle dans des systèmes employant des technologies très avancées (Three Mile Island et Tchernobyl — énergie nucléaire, Tenerife — aviation civile, Bhopal — industrie chimique, Challenger — technologie spatiale) ont révélé qu'une conception inadéquate ou défectueuse des interfaces entre les opérateurs et la technologie était parmi les principaux facteurs causaux. Dans ces accidents, ce sont des carences et des défauts dans la conception, les procédures, la formation ou l'organisation, ou d'autres insuffisances systémiques qui ont induit l'erreur humaine. La question clé est ici que l'erreur humaine, ou une dégradation des performances humaines, est induite par des facteurs qu'il aurait été possible d'éviter au stade approprié.¹⁰ Une meilleure prise en compte des facteurs humains dans les décisions, depuis les premiers stades de la conception du système jusqu'à son achèvement, permettra d'éviter une conception des systèmes susceptible d'induire l'erreur humaine.

3.4.4 Le but de l'automatisation axée sur l'élément humain est d'influencer la conception des systèmes homme-machine de telle façon que les possibilités et les limites humaines soient prises en compte dès les premiers stades du

processus de conception et qu'il en soit tenu compte dans la conception finale. Une conception qui ne tiendrait pas compte des questions de facteurs humains ne pourrait aboutir à un système optimal qui améliore la productivité, la sécurité et la satisfaction liée au travail. C'est peut-être parce que les avantages uniques à retirer d'une automatisation centrée sur l'homme ne sont pas suffisamment reconnus qu'une technologie tenant compte des facteurs humains a rarement été appliquée à un stade précoce ou intégrée normalement dans le processus de conception des systèmes. Pourtant, un investissement précoce dans les facteurs humains aura plusieurs retombées très importantes.¹¹

Une technologie (automatisation) axée sur l'élément humain évite catastrophes et accidents

3.4.5 L'erreur humaine ou erreur de l'opérateur a été identifiée, de façon contestable, comme premier facteur causal d'accidents et d'incidents. En parlant de systèmes en général, quelque 60 à 80 % des accidents sont attribués à l'erreur de l'opérateur.¹² Or, des recherches consacrées aux enquêtes sur les accidents mettent en doute de telles conclusions, en démontrant que dans la plupart des cas où les opérateurs humains ont été désignés comme principal facteur causal d'un accident, ils avaient été confrontés à des interactions technologiques inattendues et particulièrement opaques, ayant entraîné des défaillances imprévues. L'analyse de plusieurs accidents survenus dans des installations de haute technologie, imputés initialement à l'erreur de l'opérateur, a révélé que ce qui avait été identifié comme erreur humaine était en très grande partie induit par d'autres facteurs. Il est donc essentiel de faire la différence entre les erreurs humaines induites par le système et celles qui sont vraiment la conséquence d'une performance défectueuse de l'opérateur. Les facteurs qui induisent des accidents peuvent être des lacunes ou des erreurs au niveau de la conception du matériel, de l'intégration homme-machine, de la formation, des pratiques de gestion et/ou de l'organisation. Si les humains qui participent à la conception, la fabrication, la formation et la gestion sont inclus dans une scène plus large, on pourrait arguer que l'«erreur humaine» joue un rôle dans presque tous les accidents ou incidents. Cependant, à des fins analytiques il est nécessaire de distinguer entre conditions latentes (dues aux concepteurs, fabricants, formateurs, gestionnaires) et défaillances actives (par des opérateurs) et il importe de se rendre compte que les défaillances actives qui aboutissent à des résultats (quasi) catastrophiques ne peuvent ainsi aboutir qu'à cause d'une série de défaillances latentes déjà présentes dans le système (voir aussi 3.6.1 et 3.6.2).

3.4.6 On ne peut surestimer ce qu'il en coûte, en vies humaines et en lésions corporelles, si l'on omet de prendre dûment en considération les facteurs humains lors de la conception et de l'homologation de la technologie. Il ressort clairement des recherches menées dans ce domaine que les problèmes que pose la technologie ne seront pas résolus par un surcroît de technologie, surtout dans des systèmes très avancés, où les opérateurs humains doivent assumer l'entière responsabilité à la fois de leurs propres actions et de celles des systèmes automatisés.

[...] La plupart d'entre nous choisissons de considérer le rôle de l'homme dans notre société technologique sophistiquée comme une partie peu importante de l'équation. Nous acceptons un rôle de figurants dans le monde moderne et attribuons le rôle principal aux machines, aux systèmes. Régulièrement, si une catastrophe survient, nous cherchons des solutions pour les corriger, «eux», plutôt que «nous» [...] Or, aucune machine n'est plus fiable que les hommes qui l'ont construite et qui l'utilisent. Nous sommes donc coincés. Coincés dans un monde à hauts risques avec notre propre espèce «basse technologie», qu'on le veuille ou non. Aucun système mécanique ne pourra jamais être plus parfait que la somme des facteurs humains qui y sont intégrés.¹⁴

3.4.7 Une technologie (automatisation) axée sur l'élément humain peut, en intégrant les considérations de facteurs humains dans le processus de conception du système, résoudre les problèmes d'erreur humaine dans des systèmes automatisés très avancés, ce qui évitera à l'avenir catastrophes et accidents.

Une technologie (automatisation) axée sur l'élément humain réduit les coûts

3.4.8 Lors du développement d'un système, les coûts afférents à l'introduction des nouvelles technologies sont la plupart du temps déterminés dans la phase d'exploration du concept. Pour abaisser les coûts, on laisse souvent les facteurs humains en dehors des considérations initiales de conception (dans l'espoir que la formation du personnel compensera les carences de la conception). Il en résulte une multiplication des coûts en aval (formation, exploitation, maintenance) qui dépasse de loin les économies réalisées initialement. Il sera plus difficile et coûteux d'apporter par la suite des changements visant à ce que le personnel formé puisse utiliser le système.¹⁵ Cela est illustré dans le graphique de la Figure 3-2.

3.4.9 Des coûts initiaux s'attachent à l'adoption d'une technologie (automatisation) fondée sur l'élément humain dès le stade de la conception; ces coûts sont pourtant négligeables par rapport aux coûts d'exploitation qu'entraîne quotidiennement une conception inadéquate.

Il existe une «loi d'airain» à ne jamais oublier. Il est coûteux de prendre dûment en considération les facteurs humains au stade de la conception et de l'homologation, mais ce coût n'est à payer qu'une seule fois. Si l'exploitant doit compenser dans son programme de formation une conception défectueuse, le prix sera à payer quotidiennement. Et ce qui est pire, c'est que nous ne pourrions jamais être certains qu'aux moments cruciaux il y aura les bonnes réactions.¹⁶

3.4.10 En plus des coûts découlant inutilement de défaillances manifestes à l'interface homme-machine, un coût plus élevé encore s'attache à une dégradation quotidienne de la performance globale du système. Souvent, les systèmes ne fonctionneront pas comme prévu si le rôle de l'opérateur humain n'a pas été pris en considération comme il le fallait au stade de la conception.

3.4.11 Il est plus facile d'apprendre à connaître et à utiliser des systèmes qui emploient une technologie axée sur l'élément humain et dont la conception intègre les possibilités, les limites et les attentes humaines, ce qui en définitive réduit considérablement les investissements ultimes en frais de formation et d'exploitation. La conception d'une automatisation centrée sur l'homme est un investissement à faire une fois pour toutes — elle devient partie intégrante du système, quel qu'il soit. Inversement, les investissements dans les ressources humaines et la formation sont des dépenses renouvelables. L'intégration des considérations de facteurs humains à un stade précoce de la conception est donc un moyen sûr d'éviter des dépenses à un stade ultérieur.

3.4.12 D'une façon générale, omettre de tenir compte des facteurs humains dans la conception et l'utilisation des systèmes entraîne inéluctablement un manque d'efficacité, des problèmes, des accidents, des pertes matérielles et des pertes de vies humaines.

3.4.13 L'aptitude de l'être humain à reconnaître et définir les attentes, à faire face à l'inattendu, à innover et à raisonner par analogie lorsque surgit quelque problème nouveau dont il n'a pas l'expérience est ce qui fait de l'aviation un système robuste, puisqu'il y a encore de nombreuses circonstances qui ne sont ni directement contrôlables, ni entièrement prévisibles. Chacun de ces attributs purement humains, s'ajoutant aux considérations culturelles, est une raison impérative de maintenir l'être humain en position centrale dans la

conception d'une automatisation appropriée pour le système aéronautique avancé. Une automatisation appropriée est celle qui est adaptée aussi bien à la population d'utilisateurs qu'à l'environnement dans lequel elle sera utilisée. Il convient donc qu'elle soit encadrée par certains principes: *les principes d'une automatisation axée sur l'élément humain*.¹⁷

3.5 PRINCIPES D'UNE AUTOMATISATION AXÉE SUR L'ÉLÉMENT HUMAIN

3.5.1 Il a déjà été avancé que l'automatisation moderne est capable d'accomplir la quasi-totalité des fonctions envisagées dans le système aéronautique, à bord et au sol. Nous avons montré aussi que, principalement dans l'intérêt de la sécurité et pour des raisons d'ordre économique, l'homme devait rester au coeur de sa conception. Les principes de l'automatisation devront nécessairement avoir trait aux rôles respectifs des hommes et des machines. Il est admis que les hommes resteront responsables de la sécurité du système. Pour cette raison simple, mais d'extrême importance, ils devront aussi conserver l'entière maîtrise des systèmes automatisés dont ils sont responsables.

3.5.2 Comme on l'a vu plus haut, Billings (1997) propose les différents degrés d'automatisation qui peuvent être à la disposition des contrôleurs de la circulation aérienne dans un continuum (voir Figure 3-3).

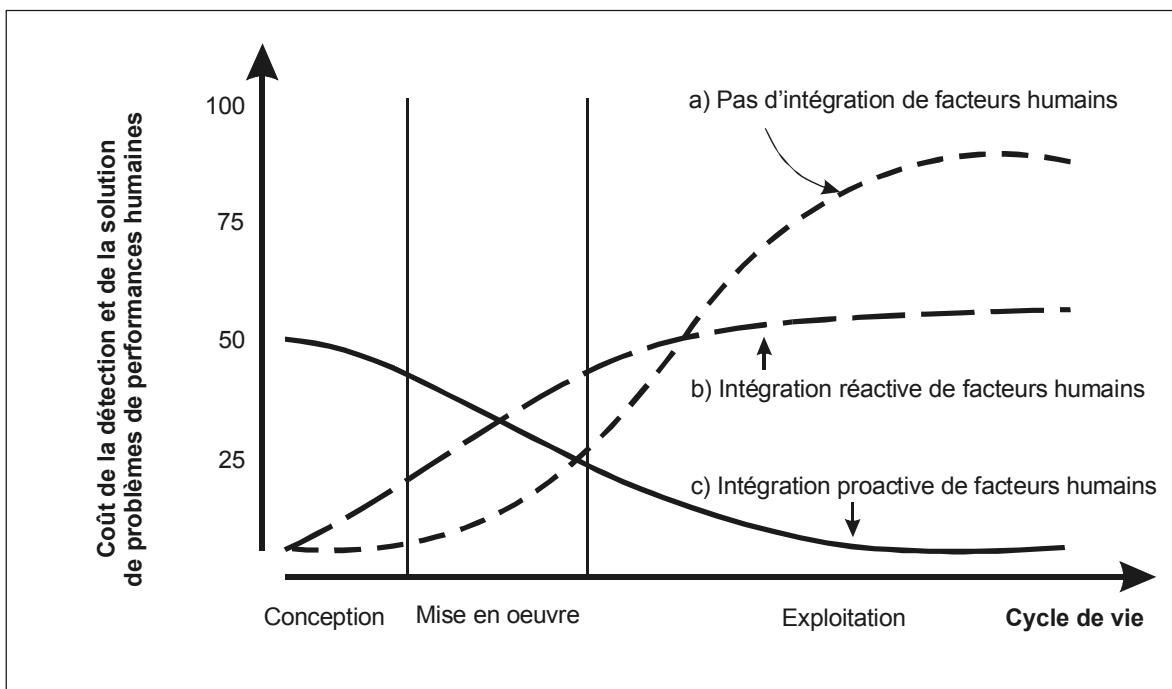


Figure 3-2. Comparaison de l'évolution des coûts afférents à l'introduction de nouvelles technologies avec et sans prise en considération des facteurs humains

Mode de gestion	Fonctions automatisées	Fonctions humaines
Fonctionnement autonome	Fonctionnement entièrement autonome; contrôleur pas habituellement informé. Possibilité de contourner le système existe ou n'existe pas.	Contrôleur sans rôle actif dans les opérations. Surveillance limitée à la détection d'anomalies. Buts autodéfinis; contrôleur n'a normalement aucune raison d'intervenir.
Gestion par exception	Fonctionnement essentiellement autonome. Sélection automatique de décision. Système informe contrôleur et surveille la suite donnée.	Contrôleur informé de l'intention du système; peut intervenir par retour à niveau inférieur.
Gestion par consentement	Décisions prises par automatisation. Contrôleur doit consentir aux décisions avant exécution.	Contrôleur doit consentir aux décisions. Contrôleur peut sélectionner d'autres options décisionnelles.
Gestion par délégation	Automatisation agit seulement selon instructions du contrôleur. Sélection du niveau d'assistance.	Contrôleur spécifie stratégie et peut spécifier niveau d'autorité de l'ordinateur.
Contrôle assisté	Automatisation du contrôle non disponible. Imagerie radar disponible avec traitement. Données d'ordinateur disponibles en réserve.	Autorité directe sur toutes décisions; contrôle et coordination en mode vocal.
Contrôle non assisté	Défaillance totale d'ordinateur; aucune assistance disponible.	Contrôle procédural de tout le trafic. Prise de décisions non assistées; communications vocales.

très bas ← niveau d'automatisation → très élevé

Figure 3-3. Degrés d'automatisation à la disposition des contrôleurs de la circulation aérienne

3.5.3 Pour ce qui est du degré d'automatisation approprié pour l'ATC, la recommandation ci-après (entre autres) a été adressée à la FAA par le Panel on Human Factors in Air Traffic Control Automation (1998):

Le Panel recommande la mise en oeuvre de hauts niveaux d'automatisation de décision et de sélection d'action pour les tâches systémiques comportant relativement peu d'incertitude et de risque. Toutefois, dans le cas de tâches systémiques comportant davantage d'incertitude et de risque, l'automatisation de décision et de sélection d'action ne devrait pas aller au-delà du niveau de suggestion d'une option préférée de décision/action. Tout projet d'automatisation au-dessus de ce niveau devra être conçu pour prévenir: perte de vigilance, perte de conscience de la situation, dégradation de compétences opérationnelles, dégradation de travail d'équipe et de communication. La conception devrait aussi garantir l'aptitude à surmonter ou contrecarrer l'excès de confiance, remédier aux défaillances, et procurer un moyen de résoudre un conflit en cas de perte de séparation.

3.5.4 Du moment que l'on rend les opérateurs humains entièrement responsables de la sécurité de fonctionnement du système, il faut aussi avoir à l'esprit ces opérateurs lors de la conception des outils (automatismes ou autres) destinés à les aider à assumer leurs responsabilités. Responsables de la réglementation, concepteurs, exploitants et usagers devraient appliquer des lignes directrices ou des principes directeurs pour la conception et l'utilisation des systèmes automatisés qu'il est envisagé d'employer dans le système afin d'aider les opérateurs humains à assumer leurs responsabilités avec succès.

3.5.5 Les processus de conception, préliminaire et finale, des systèmes automatisés de technologie très avancée doivent s'ancrer dans l'application de ces principes. Ce qui est essentiel, c'est d'employer *l'automatisation pour aider les opérateurs humains à assumer leurs responsabilités de la façon la plus sûre, efficace, efficiente et économique*. Il ne faut jamais que ce soit l'inverse. Les questions soulevées ci-avant — quel degré d'autorité devraient avoir les automatismes, comment ils entreraient en interaction avec les opérateurs humains et quel

rôle il convient de réserver aux humains — ne pourront être résolues que par l'application d'un ensemble de principes lors de la conception, du développement et de l'utilisation des systèmes automatisés. La phrase de Saint-Exupéry, «La machine, qui semblait d'abord l'en écarter, soumet le pilote avec plus de rigueur encore aux grands problèmes naturels.», est toujours vraie, maintenant plus encore qu'à l'époque où il écrivit *Terre des Hommes*, à la fin des années 1930.

3.5.6 Au fil des ans, une approche au coup par coup a freiné le progrès en matière de sécurité de l'aviation. Pilotes, contrôleurs, ingénieurs, chercheurs, formateurs et autres acteurs dans ce domaine ont préconisé d'apporter aux lacunes en matière de sécurité des solutions qui étaient manifestement biaisées par leurs antécédents professionnels. Négligeant la vision d'ensemble, ces approches ont conduit à des solutions axées sur les lacunes observées, en donnant l'impression que les différentes activités intervenant dans le système se déroulaient isolément. Comme il est dit par ailleurs dans la présente étude, les principes d'une automatisation axée sur l'humain exigent que l'industrie adopte une approche systémique de la conception de l'automatisation. On ne pourrait trop insister sur les avantages à retirer de la prise en compte des facteurs humains à un stade précoce de la conception des systèmes.

- **L'humain assume la responsabilité ultime de la sécurité du système aéronautique.** Les faits nous ont maintes fois montré que dans un système complexe, quel qu'en soit le degré d'automatisation, c'est l'homme qui, en dernier ressort, prend les décisions critiques et constitue la dernière ligne de défense en cas de défaillance des automatismes. L'importance des humains dans une société technologique apparaît aussi dans le concept de *personnes pivots* qui, selon Pfeiffer (1989), sont irremplaçables dans les environnements stressants, tels que l'exploitation des vols, le contrôle de la circulation aérienne ou le contrôle du réseau dans le cas de centrales électriques.¹⁹ Lorsqu'il s'agit d'automatisation dans le système aéronautique, un fait que nous devrions avoir constamment à l'esprit est que si nous voulons que les hommes fonctionnent de façon efficace, efficiente et sûre, la prise en compte des facteurs humains devrait être intégrée dans le système dès le stade de la conception, et non rajoutée ultérieurement, dans le cadre d'une décision par défaut.
- **Il faut que l'opérateur humain commande.** Pour que les humains assument la responsabilité ultime de la sécurité du système, il faut leur conférer une autorité pratiquement illimitée, afin de les mettre en mesure de s'acquitter de cette responsabilité. Il a été établi sans équivoque que même lorsque le système automatisé est entièrement opérationnel, «le commandant de bord demeure responsable de la sécurité d'exploitation de son aéronef» et «le contrôleur demeure responsable de la séparation des aéronefs contrôlés». Si l'on veut qu'ils conservent la *responsabilité* de la sécurité d'exploitation ou de la séparation des aéronefs, il faut que pilotes et contrôleurs conservent l'*autorité* nécessaire pour commander et contrôler les opérations. Le principe fondamental du concept d'automatisation axée sur l'humain est que, dans les systèmes aéronautiques (aéronefs et ATC), l'automatisation a pour rôle d'aider les opérateurs (pilotes et contrôleurs) à assumer leurs responsabilités, mentionnées ci-dessus. Si ce principe n'est pas observé rigoureusement et si des décisions sont prises par les systèmes automatisés au lieu de l'être par les opérateurs humains, des questions complexes de responsabilité se poseront inévitablement. Cela conduira évidemment à considérer la part de responsabilité de l'opérateur humain, ce qui à son tour retentira sur l'examen des performances humaines. Ainsi, une question de responsabilité devient par défaut une question de facteurs humains. Les opérateurs d'un système ne devraient jamais être tenus responsables de défaillances ou de décisions erronées s'ils n'ont pas l'entière maîtrise et le plein commandement du système. Les raisons sont fort simples — comme toute autre machine, les systèmes automatisés sont sujets à des défaillances. De plus, les défaillances des dispositifs numériques sont imprévisibles et produisent des manifestations imprévisibles de défaillances. Les responsabilités des opérateurs humains incluent la détection de ces défaillances, la correction de leurs manifestations et le maintien de la sécurité du fonctionnement jusqu'à ce que les systèmes automatisés puissent reprendre leurs fonctions normales. L'automatisation ne pouvant être rendue exempte de défaillances, il ne faut pas qu'elle soit conçue de telle façon qu'elle risque d'empêcher l'opérateur humain d'exercer ses responsabilités.
- **Pour commander effectivement, il faut que l'opérateur humain soit impliqué.** Pour assumer la responsabilité en dernier ressort et rester maîtres de la situation, il faut que les opérateurs humains puissent intervenir. Il faut qu'ils aient un rôle actif, que ce rôle consiste à contrôler activement le système ou à gérer les ressources humaines ou les machines auxquelles le contrôle a été délégué. Si les humains n'interviennent pas activement, ils risquent de devenir moins efficaces dans leurs réactions aux situations critiques qui sont susceptibles de survenir dans le système. Il faut qu'une automatisation axée sur l'élément humain soit conçue et utilisée de telle façon que l'opérateur humain ne risque pas de devenir trop éloigné des détails de l'exploitation; il faut pour cela lui confier, tout au long des opérations, des tâches pertinentes et utiles.
- **Pour s'impliquer, il faut que l'humain soit informé.** Sans informations sur la conduite des opérations, ses interventions deviennent imprévisibles et ses décisions, s'il en prend, seront aléatoires. Pour que l'opérateur puisse intervenir de façon pertinente, il faut qu'il dispose d'un flux continu d'informations essentielles sur l'état et l'évolution du système contrôlé et sur les automatismes qui le contrôlent. Il faut que

les informations correspondent aux responsabilités de l'opérateur humain et comprennent toutes les données nécessaires pour l'aider à intervenir dans le système. Il faut surtout que les opérateurs humains soient informés au niveau requis pour s'acquitter de leurs responsabilités et qu'ils disposent d'informations suffisantes pour connaître constamment l'état et la situation du système. Il faut cependant veiller à ne pas les surcharger d'informations plus abondantes qu'il n'est nécessaire.

- **Il ne faut automatiser une fonction que s'il y a de bonnes raisons de le faire.** On est de plus en plus tenté d'incorporer à la conception des systèmes telle ou telle innovation technologique, non parce que c'est nécessaire, mais simplement parce que c'est possible. Autrement dit, l'élément moteur de la conception risque d'être la faisabilité technique, plutôt que les besoins des usagers qui auront à utiliser les produits de cette conception et à en assurer la maintenance. L'automatisation d'une certaine fonction pour une raison qui n'est autre que la faisabilité technique risque d'aboutir à ce que l'utilisateur ne soit, en fait, pas en mesure de l'utiliser efficacement, au bénéfice de l'ensemble du système. Il faudrait se demander ici «non pas si une fonction peut être automatisée, mais s'il est nécessaire qu'elle le soit, compte tenu des diverses questions de facteurs humains qui peuvent se poser».²⁰
- **Il faut que l'humain soit en mesure de surveiller les systèmes automatisés.** La capacité de surveiller les systèmes automatisés est nécessaire à la fois pour permettre que l'opérateur humain domine toujours la situation et parce que les systèmes automatisés sont faillibles. L'homme ne peut être un surveillant efficace que si un support cognitif lui est fourni à son poste de contrôle. Il s'agit des informations dont il a

besoin pour être prêt aux interventions ou aux décisions qui peuvent être nécessaires. Dans des systèmes aéronautiques automatisés, un élément d'information essentiel est l'information concernant les automatismes. Il faut que l'opérateur humain soit en mesure de s'assurer, sur la base des informations disponibles, que la performance des automatismes est appropriée et qu'elle continuera en toute probabilité de l'être, pour la situation souhaitée du système. Actuellement, dans la plupart des systèmes aéronautiques, l'opérateur humain n'est informé que s'il existe une discordance entre des éléments en charge d'une certaine fonction, ou une anomalie d'un de ces éléments suffisante pour que l'exécution de la fonction soit perturbée ou interrompue. En pareil cas, l'opérateur humain a généralement pour consigne de prendre le contrôle de cette fonction. Pour qu'il puisse le faire sans retard, il faut que des informations lui soient fournies concernant les opérations jusqu'à ce moment, si elles ne ressortent pas directement du comportement du système contrôlé.

- **Il faut que les systèmes automatisés soient prévisibles.** Il faut que l'opérateur humain puisse évaluer la performance des systèmes automatisés par rapport à un modèle interne basé sur la connaissance de leur comportement normal. C'est seulement si les systèmes se comportent normalement d'une façon prévisible que l'opérateur humain pourra déceler rapidement les écarts par rapport au comportement normal et reconnaître ainsi les défaillances dans les systèmes automatisés. À ce propos, il importe de connaître non seulement le comportement normal, mais la marge de comportement admissible. Tout comportement imprévu du système doit être traité comme comportement anormal. Pour reconnaître celui-ci, l'opérateur humain doit savoir exactement ce qu'il faut attendre des automatismes lorsque ceux-ci fonctionnent bien.

PRINCIPES D'UNE AUTOMATISATION AXÉE SUR L'ÉLÉMENT HUMAIN

L'être humain assume la responsabilité ultime de la sécurité du système aéronautique.

Donc:

- Il faut que l'humain commande.
- Pour commander effectivement, il faut que l'humain soit impliqué.
- Pour s'impliquer, il faut que l'humain soit informé.
- Il ne faut automatiser des fonctions que s'il y a de bonnes raisons de le faire.
- Il faut que l'humain soit en mesure de surveiller les systèmes automatisés.
- Il faut donc que les systèmes automatisés soient prévisibles.
- Il faut que les systèmes automatisés puissent surveiller l'opérateur humain.
- Il faut que chaque élément du système ait connaissance des intentions des autres.
- Il faut que l'automatisation soit conçue de manière à être simple à apprendre et à utiliser.

- **Il faut aussi que les systèmes automatisés puissent surveiller l'opérateur humain.** Les humains, évidemment, ne sont pas infaillibles eux non plus, et leurs défaillances peuvent aussi être imprévisibles. Les opérateurs humains étant enclins à l'erreur, il est nécessaire que la détection, le diagnostic et la correction d'erreur fassent partie intégrante de tout système aéronautique automatisé. Il faut donc que la performance humaine, aussi bien que celle de la machine, soit constamment surveillée. Il faut concevoir et intégrer dans le système une automatisation capable de contester certains types d'interventions des opérateurs qui risqueraient de compromettre la sécurité.
- **Il faut que chaque élément du système ait connaissance des intentions des autres.** Dans les opérations très automatisées, une façon de garder l'opérateur humain activement impliqué est de lui fournir des informations sur les *intentions* du système automatisé. Autrement dit, comment va se présenter la situation, vu les décisions que le système automatisé prend actuellement ou est sur le point de prendre? Le système ne devrait pas seulement identifier un problème potentiel mais aussi suggérer des solutions alternatives et montrer les incidences de toute intervention. Une surveillance réciproque ne peut être efficace que si le surveillant comprend ce que l'opérateur du système surveillé cherche à faire. Pour que la surveillance soit efficace et porte ses fruits, il faut que les intentions de l'opérateur ou celles des systèmes automatisés soient connues. La communication des intentions permet que toutes les parties intervenantes coopèrent pour résoudre tout problème susceptible de survenir. Par exemple, de nombreux problèmes de contrôle de la circulation aérienne surviennent uniquement parce que le pilote ne comprend pas où le contrôleur veut en venir, et inversement. Le système ATC automatisé ne pourra surveiller efficacement la performance humaine que s'il comprend les intentions de l'opérateur, ce qui est particulièrement important lorsque le fonctionnement s'écarte de la normale.
- **Il faut que l'automatisation soit conçue de manière à être simple à apprendre et à utiliser.** Un des principaux objectifs du présent chapitre est d'examiner *quel degré d'automatisation est nécessaire, et pourquoi*. Si les systèmes sont suffisamment simples (ce qui devrait toujours être un objectif de la conception), l'automatisation ne sera peut-être pas nécessaire. Si les tâches ne peuvent pas être simplifiées, ou si l'élément temps est si critique que les hommes ne peuvent les exécuter efficacement, l'automatisation peut être la solution à employer. Même alors, une automatisation plus simple permettra que les interfaces soient plus simples et que les humains comprennent mieux les systèmes automatisés. Jusqu'à présent, les systèmes automatisés n'ont pas toujours été conçus pour être employés dans des conditions difficiles,

dans un environnement défavorable, par des opérateurs surchargés de travail ou distraits, ou de capacités inférieures à la moyenne. Or, ce sont précisément les conditions dans lesquelles l'assistance des automatismes peut être le plus nécessaire. La simplicité, la clarté et la possibilité de compréhension intuitive doivent être les pierres angulaires de la conception d'un système automatisé, car elles en feront un outil meilleur et plus efficace. Même si la formation n'est pas, à strictement parler, du ressort des concepteurs, elle devrait être envisagée dès la conception des composantes des systèmes CNS/ATM et elle devrait refléter cette conception dans la pratique. Une conception ergonomique se caractérise par l'absence de problèmes dans l'utilisation du système par les humains; ses effets sont donc invisibles dans le système opérationnel qui en est l'aboutissement. Ses apports deviennent partie intégrante de chaque élément constitutif ou sous-système et ne peuvent pas être aisément isolés d'emblée du fonctionnement global du système ou portés au crédit de l'ergonomie.²¹

3.5.7 Il est à noter qu'en établissant des lignes directrices fondamentales pour déterminer les principes d'une automatisation axée sur l'élément humain, on n'a pas cherché à aborder les aspects techniques en rapport avec les facteurs humains. On a cherché seulement à édifier une philosophie de l'automatisation centrée sur l'humain. On espère susciter ainsi un dialogue, pour contribuer à la réalisation de l'objectif général qui est de promouvoir un environnement aéronautique sûr, ordonné et économique, intégrant ce que l'homme et la machine ont de meilleur.

3.5.8 Les principes d'une automatisation axée sur l'élément humain sont destinés à servir de matrice: chaque fois qu'il faudra concevoir et réaliser une automatisation, on pourra la filtrer à travers cette matrice, au lieu de devoir la justifier et la défendre à nouveau.

3.6 QUALITÉS D'UNE AUTOMATISATION AXÉE SUR L'ÉLÉMENT HUMAIN

3.6.1 L'erreur humaine a été identifiée comme principal facteur causal dans la plupart des accidents d'aviation. L'idée la plus répandue, dans tous les milieux, est que, dans tous ces accidents, l'être humain dont provient l'erreur est «l'opérateur de première ligne» — pilote, contrôleur aérien, technicien de maintenance des aéronefs ou autre. Cette idée, véhiculée par les médias et largement acceptée par le public, suscite beaucoup d'inquiétude car elle masque le fait que l'évolution de la technologie moderne a rendu quasiment impossible qu'un individu, l'opérateur de première ligne, cause à *lui seul* un accident. Dans certains cas d'accidents où une erreur de l'opérateur avait initialement été identifiée comme facteur causal, des chercheurs sont parvenus à prouver que l'opérateur n'avait fait que déclencher un enchaînement de failles latentes, longtemps enfouies dans le système, non décelées ou ignorées pour quelque raison que ce soit. Une ligne de défense intégrée

à la technologie moderne rend pratiquement impossible qu'une action isolée cause un accident sans précurseurs, à moins que le système n'ait déjà été affaibli par l'élimination de ces défenses. Il a été prouvé que les lacunes de la conception, les carences de l'organisation et de la direction et bien d'autres failles latentes étaient les causes profondes de nombreux accidents attribués aux opérateurs de première ligne — lesquels, dans la plupart des cas, ne survivent pas aux accidents pour défendre leurs actes.²²

3.6.2 On s'est rendu compte que d'autres accidents, attribués également aux opérateurs de première ligne, avaient pour cause l'interaction des humains et des systèmes automatisés (inadéquation entre éléments humains et mécaniques du système). Les systèmes automatisés étant produits par des humains, ils peuvent aussi être affectés dès leur conception d'erreurs non voulues. L'idée de pouvoir compenser par une formation plus poussée des carences passées inaperçues aux stades de la conception et du développement s'est révélée fallacieuse. En introduisant de nouveaux gadgets ou une technologie plus complexe, on a réussi seulement à produire des machines non opérationnelles parce que les facteurs humains n'avaient pas été pris en considération dans le concept initial. Chercheurs et spécialistes des facteurs humains, enquêteurs et analystes d'accidents, spécialistes du comportement humain et experts en étude des interactions homme-machine reconnaissent que l'on pourra résoudre la plupart des problèmes liés à l'erreur humaine en centrant l'automatisation sur l'élément humain. Fait plus important, ils pensent que l'automatisation peut être conçue et utilisée de manière à rendre les systèmes, dans leur ensemble, plus résistants et tolérants aux erreurs humaines dans leur conception, leur mise en oeuvre et leur utilisation. Cela implique que si l'on veut que l'automatisation soit un élément efficace et apprécié du système aéronautique, il faut lui conférer certaines qualités ou caractéristiques. En définissant les qualités d'une automatisation axée sur l'élément humain, on espère rendre le système intrinsèquement et clairement utile à l'opérateur humain auquel incombe, en dernier ressort, l'entière responsabilité de la sécurité du système, avec ses éléments humains et non humains. En définissant les qualités que devrait posséder un système automatisé, l'intention est, une fois encore, de susciter le dialogue sur la question, ce qui favorisera le fonctionnement sûr et ordonné de l'ensemble du système de transport aérien.

3.6.3 À propos des attributs d'une automatisation axée sur l'élément humain, il doit être clair qu'ils ne s'excluent pas mutuellement. Un système automatisé qui posséderait certains, ou même un bon nombre, de ces attributs pourrait néanmoins n'être pas entièrement efficace s'ils ont été considérés isolément au stade de conception, car plusieurs d'entre eux sont interdépendants. Comme dans tout problème d'ingénierie, il faut rechercher le bon compromis entre les attributs. Pour s'assurer d'être parvenu au bon compromis, il faut faire évaluer l'ensemble du système, en fonctionnement réel, par plusieurs opérateurs humains possédant différents degrés de compétence et d'expérience. Cette évaluation risque d'être coûteuse, de demander du temps et, dans bien des cas, d'être effectuée à un stade tardif du développement du système; néanmoins, c'est la seule façon de prouver la sécurité et

l'efficacité du concept. Le premier principe pourrait être simplement qu'une automatisation axée sur l'élément humain devrait posséder ces caractéristiques dans la mesure appropriée.

3.6.4 Beaucoup de ces attributs sont dans une certaine mesure bipolaires, sans être vraiment opposés.²³ Si l'on porte davantage attention à certains, il pourra être nécessaire d'insister moins sur d'autres. De la façon suggérée, une automatisation axée sur l'élément humain devra être:

Tenue de rendre des comptes	<----->	Subordonnée
Prévisible	<----->	Adaptable
Compréhensible	<----->	Flexible
Fiable	<----->	Informative
Résistante à l'erreur	<----->	Tolérante à l'erreur

- **L'automatisation axée sur l'élément humain doit être tenue de rendre des comptes.** Un système automatisé doit informer l'opérateur humain de ses actions et doit pouvoir expliquer celles-ci sur demande. L'humain qui commande doit pouvoir demander et recevoir une justification des décisions que prend le système automatisé. Ceci pose un problème particulier en aviation, car il arrive que l'opérateur humain manque de temps pour évaluer plusieurs décisions (évitement du relief, évitement de collision etc.). Si c'est possible, le système automatisé doit anticiper la demande de l'opérateur et fournir des informations à l'avance (comme le fait le TCAS en donnant des avis de trafic avant de demander une manoeuvre pour éviter un danger imminent) ou encore indiquer ses propres règles de fonctionnement dans certaines circonstances annoncées, pour que les actions qu'il exécutera alors soient parfaitement comprises par l'opérateur humain. Il est particulièrement important que les explications que fournit le système automatisé soient présentées en des termes qui aient du sens pour l'opérateur humain; le niveau d'abstraction de ces explications devra être adapté au besoin d'explications qui existe chez l'opérateur. Dans ce contexte, «tenue de rendre des comptes» signifie tenue de donner une analyse justificative ou une explication. L'attribut bipolaire est ici la subordination. Il faut veiller soigneusement à ce que celle-ci ne puisse jamais devenir de l'insubordination.
- **L'automatisation axée sur l'élément humain doit être subordonnée.** Sauf dans des cas préalablement définis, les automatismes ne devraient jamais prendre le commandement; s'ils le faisaient, il devrait être facile de le révoquer. Tout en étant un outil important, l'automatisation doit rester subordonnée à l'opérateur humain. Il est admis dans certains cas qu'elle exécute certaines tâches de façon autonome et il est prévu que ces tâches seront plus nombreuses dans le système CNS/ATM. À mesure que l'automatisation deviendra plus autosuffisante, capable et complexe, il sera de plus en plus difficile aux opérateurs humains

de rester avertis de toutes ses actions autonomes, et donc de plus en plus difficile de savoir exactement ce qu'elle fait et pourquoi elle le fait. Une telle situation sera de nature à saper l'autorité de commandement et la responsabilité des opérateurs humains; elle peut aussi, ce qui est plus grave, les amener à une attitude d'extrême méfiance vis-à-vis du système automatisé, ce qui risque de compromettre l'intégrité de l'ensemble du système homme-machine. Il importe que des questions telles que «Que font les automatismes?» et «Pourquoi le font-ils?» n'aient pas à être posées.

- **L'automatisation axée sur l'élément humain doit être prévisible.** Il arrive qu'elle ne se comporte apparemment pas de façon prévisible et que cela entraîne de sérieuses répercussions, dues en grande partie à la méfiance naturelle de l'opérateur humain envers ce qui échappe à son contrôle. Ici encore, le niveau d'abstraction avec lequel l'automatisation est expliquée, ou fournit des explications, est décisif pour établir et maintenir la confiance placée en elle. La troisième question le plus souvent posée par les opérateurs est «Que vont-ils [les automatismes] faire ensuite?». Comme pour les deux questions précédentes, il faut faire en sorte qu'elle n'ait pas à être posée. En devenant plus adaptable et intelligente, l'automatisation va acquérir un plus large répertoire de comportements, adaptés à des circonstances plus variées. Cela rendra son comportement plus difficile à comprendre et à prévoir par l'opérateur humain, même si elle fonctionne conformément aux spécifications. Pour les opérateurs, il sera aussi plus difficile de déceler un dysfonctionnement. Une automatisation avancée doit être conçue de manière à être et à paraître prévisible pour ses opérateurs humains; il faut que la différence entre l'anomalie et le comportement normal soit immédiatement apparente pour l'opérateur humain.
- **L'automatisation axée sur l'élément humain doit être adaptable.** Elle devrait pouvoir s'adapter à une large gamme de préférences et de besoins des opérateurs. Il existe en un certain sens une opposition entre l'adaptabilité et la prévisibilité, puisqu'un comportement très adaptable sera sans doute difficile à prévoir. En devenant plus adaptable et plus intelligente, l'automatisation va acquérir un plus large répertoire de comportements, adaptés à une plus grande variété de circonstances. Cela rendra son comportement plus difficile à comprendre et à prévoir par l'opérateur humain, même si son fonctionnement est conforme aux spécifications appliquées à sa conception. Il sera alors plus difficile pour l'opérateur de déceler si elle ne fonctionne pas normalement. Il faut donc que l'adaptabilité des automatismes soit soumise à certaines contraintes, pour que l'homme puisse les surveiller et déceler leurs lacunes ou leurs défaillances, afin d'être en mesure de les compenser. L'adjectif «adaptable», au sens où il est employé ici, signifie pouvant être

modifié en fonction de l'évolution des circonstances. Cette caractéristique est intégrée à l'automatisation des aéronefs: pour piloter et gérer leur aéronef, les pilotes ont besoin d'un large éventail d'options, qui leur est offert. De telles options devraient être offertes aussi pour l'automatisation du système CNS/ATM. Il faut un éventail d'options pour permettre aux opérateurs de gérer leur charge de travail (compte tenu des différents niveaux de compétence) et pour contrer la fatigue et les distractions. À cet égard, l'automatisation joue vraiment le rôle d'un membre supplémentaire de l'équipe de commandement et de gestion, qui aide à accomplir certaines fonctions ou les assume entièrement quand il reçoit des instructions dans ce sens. L'adaptabilité accroît la complexité apparente. On l'a présentée ici face à la prévisibilité, pour faire ressortir le fait qu'une automatisation extrêmement adaptable peut être relativement imprévisible dans certaines circonstances. Si un système automatisé n'est pas prévisible, ou ne fournit pas à l'opérateur humain suffisamment d'indications sur ses intentions, son comportement apparemment capricieux aura tôt fait d'éroder la confiance que l'homme désire placer en lui. On se souviendra qu'un des premiers principes est que l'automatisation *doit* être prévisible si l'on veut que l'homme conserve le commandement.

- **L'automatisation axée sur l'élément humain doit être compréhensible.** Le progrès technologique implique souvent une complexité accrue. Nombre de fonctions automatisées d'importance critique sont maintenant extrêmement complexes, avec plusieurs couches de redondance pour assurer la tolérance aux défaillances. On a constaté que l'instruction sur les systèmes automatisés avancés est coûteuse et demande du temps, une bonne partie du temps supplémentaire de formation étant consacrée à l'étude des automatismes. Il faudrait concevoir des modèles plus simples, permettant le retour à l'intervention humaine en cas de défaillance. Il en résulterait des économies sur les coûts de formation. On peut utiliser l'automatisation pour faire en sorte que des fonctions complexes semblent plus simples à l'opérateur humain, mais les conséquences d'un fonctionnement en mode défaillance pourront lui sembler hautement imprévisibles, à moins que ces modes n'aient été étudiés de façon très approfondie au stade de la conception. La simplicité n'a pas été mentionnée comme caractéristique nécessaire de l'automatisation axée sur l'élément humain, mais elle aurait pu l'être. Il est essentiel que les systèmes soient suffisamment simples pour être bien compris des opérateurs humains, ou que ceux-ci disposent d'une version simplifiée et puissent utiliser celle-ci. S'il n'est pas possible de réaliser un système qui paraisse assez simple à l'opérateur, le risque que le système soit mal compris et ne soit pas utilisé correctement augmente dans une mesure importante. Concepteurs et fabricants de systèmes automatisés CNS/ATM

devraient s'efforcer de rendre leurs produits suffisamment simples pour que des opérateurs humains de niveaux de compétences très différents puissent les comprendre.

- **L'automatisation axée sur l'élément humain doit être flexible.** Une gamme adéquate d'options de commande et de gestion devrait être offerte. L'adjectif «flexible» est employé ici pour caractériser une automatisation adaptable à une grande diversité de variables environnementales, opérationnelles et humaines. Il faut disposer d'un large éventail d'options d'automatisation pour donner de la souplesse à des opérateurs humains dont l'expérience est très variable et dont les styles cognitifs le sont tout autant. Comme le rapport entre compréhension et flexibilité a tendance à être inversement proportionnel, il ne faut pas sacrifier la compréhension à la flexibilité, l'aptitude des opérateurs humains à comprendre leurs automatismes étant un élément capital de leur aptitude à conserver le commandement.
- **L'automatisation axée sur l'élément humain doit être fiable.** Elle devrait faire de façon fiable ce qu'il lui est ordonné de faire, ne jamais faire ce qu'il lui est ordonné de ne pas faire et ne jamais dégrader la situation. Les hommes n'utiliseront pas, ou regarderont avec suspicion, un système automatisé ou une fonction dont le comportement n'est pas fiable ou qui semble avoir un comportement capricieux. Cette méfiance peut être si ancrée que le système ne pourra jouer le rôle prévu par le concepteur. La fiabilité est particulièrement importante dans le cas des systèmes d'avertissement et d'alarme. Le fait que des opérateurs ne se soient pas fiés à certains avertissements donnés à bon escient par des systèmes qui avaient parfois émis des alarmes intempestives (comme c'était le cas des premiers modèles de GPWS, MSAW et STCA) a eu par le passé des conséquences tragiques. En fait, il peut être plus sage d'omettre entièrement une fonction, même très désirable, que de la fournir ou de la rendre possible avant que sa fiabilité ait pu être certifiée.
- **L'automatisation axée sur l'élément humain doit être informative.** L'information est d'importance critique pour permettre à l'opérateur de s'impliquer dans la tâche et d'en garder la maîtrise. Si un système avait un fonctionnement parfaitement fiable, il ne serait peut-être pas nécessaire d'en informer l'opérateur humain. Mais la perfection est inaccessible et il faut que, dans toute la mesure possible, les informations fournies soient pratiquement à toute épreuve, sachant que tout accroissement du volume d'information accroît les risques de perte de données ou même d'inexactitudes. Un des premiers principes d'une automatisation axée sur l'élément humain est que «pour s'impliquer, l'homme *doit* être informé». Mais quand y a-t-il assez d'information? Quand y en

a-t-il trop? Les opérateurs humains désirent toute l'information qu'ils peuvent obtenir; or, ils ne peuvent assimiler une information trop abondante et ce qu'ils laisseront de côté est imprévisible. Il est souhaitable de dégager l'information, de simplifier les affichages et les changements de format; bref, de prévoir une gestion de l'information *active* et non *passive* et d'aider l'opérateur humain à déterminer les priorités, afin que l'on s'occupe en premier lieu des choses les plus importantes. Ici encore, des problèmes peuvent survenir à cause de l'automatisation elle-même, ou simplement parce que les interfaces entre les automatismes et l'homme ne sont pas optimales. C'est souvent la forme de l'information qui déterminera la possibilité d'y donner suite; il y a donc lieu de s'en occuper lors de la conception de tout système d'information à intégrer au système CNS/ATM.

- **L'automatisation axée sur l'élément humain doit être résistante à l'erreur.** Elle doit, lorsque c'est possible, empêcher les opérateurs humains de commettre des erreurs. L'idéal serait que l'automatisation de l'ATM empêche toute erreur, de sa part ou de la part des opérateurs. Cela n'est peut-être pas réaliste, mais un système peut et doit être conçu pour être aussi résistant que possible à l'erreur. La résistance à l'erreur dans l'automatisation elle-même peut s'appuyer sur des tests internes permettant de s'assurer que le système respecte ses propres règles de fonctionnement. La résistance à l'erreur humaine peut s'appuyer sur la comparaison des actions humaines avec une matrice d'actions permises, ou simplement sur des affichages clairs, pas compliqués, et sur des procédures simples, intuitivement compréhensibles, pour réduire la probabilité d'erreur. L'automatisation de procédures qui sont inévitablement complexes est nécessaire et elle est tout à fait opportune, pourvu que l'être humain soit maintenu dans la boucle de manière à comprendre ce qui se passe. Le système doit pouvoir continuer à fonctionner aux mains des opérateurs humains en cas de défaillance des automatismes et indiquer alors sans ambiguïté qu'il fonctionne bien. Il est indispensable aussi de fournir des moyens qui permettront aux opérateurs humains de déceler toute erreur, qu'il s'agisse d'erreur humaine ou d'erreur des automatismes. Il faut que les avertissements soient donnés à temps pour que les opérateurs humains puissent isoler l'erreur et qu'un moyen de corriger l'erreur décelée soit fourni. Si cela est impossible, il faut une interrogation sur les conséquences de toute action avant que l'action elle-même soit autorisée.
- **L'automatisation axée sur l'élément humain doit être tolérante à l'erreur.** Certaines erreurs se produiront, même dans un système très résistant à l'erreur; il faut donc que l'automatisation puisse les déceler et amortir leurs effets. Puisque la résistance à l'erreur est relative et non absolue, il faut plusieurs couches de défenses contre les erreurs humaines. En

plus de réaliser des systèmes aussi résistants que possible aux erreurs, il est nécessaire et très souhaitable de les rendre tolérants à l'erreur. En ce sens, la «tolérance» signifie l'acte de permettre quelque chose; elle couvre toute la panoplie de moyens qui peuvent être utilisés pour qu'une erreur éventuellement commise ne puisse compromettre la sécurité. Le système aéronautique est déjà très tolérant à l'erreur, en grande partie grâce à la surveillance assurée par les autres membres de l'équipe. Mais certaines erreurs qui peuvent se produire avec un équipement automatisé, par exemple les erreurs d'introduction de données, ne se manifestent que longtemps après avoir été commises. De nouveaux logiciels, affichages et dispositifs de surveillance pourront être nécessaires pour piéger les erreurs plus cachées. Dans de tels cas, des contrôles des actions d'après certains critères logiques pourront être utiles. Puisqu'il est impossible d'éviter ou de piéger toutes les erreurs humaines possibles, les leçons d'événements passés survenus dans l'aviation, et spécialement les données d'incidents, peuvent être extrêmement utiles pour indiquer les types d'erreurs qui surviennent avec une certaine fréquence.

3.6.5 Les attributs d'une automatisation axée sur l'élément humain qui sont suggérés ci-dessus ne s'excluent pas mutuellement; il y a des chevauchements entre eux. Lorsqu'un arbitrage est nécessaire, les premiers principes suggèrent d'établir grosso modo des priorités. Il est dit que si les humains doivent commander, il faut qu'ils soient informés. Le fait que le système automatisé soit obligé de *rendre des comptes* est un aspect important pour informer l'opérateur humain et c'est un moyen important par lequel l'opérateur peut surveiller le fonctionnement du système automatisé. La *compréhensibilité* est un autre caractère capital si l'on veut que l'opérateur humain reste informé; il doit pouvoir comprendre sans ambiguïté ce que font les automatismes. Chacun de ces caractères est un aspect de l'*informativité*. À tout instant, l'opérateur humain doit être informé efficacement, en recevant au moins ce minimum d'information, et il doit être informé de telle façon qu'il y ait une très forte probabilité que l'information soit assimilée. Dans les cas où un système automatisé agit de façon imprévisible, il faut que l'on puisse trouver facilement l'explication, si elle n'est pas déjà connue ou relativement évidente.

3.6.6 Avec les exceptions inévitables, les responsables de la réglementation et l'opinion publique en général admettent que les humains assument en dernier ressort la responsabilité de la sécurité du système d'aviation civile. Cela sous-entend que l'être humain doit conserver l'entière maîtrise de l'ensemble du système. En dépit de cette assertion, on pense que l'indépendance de l'automatisation peut avoir tendance à court-circuiter l'opérateur humain, les éléments sol du système de transport aérien étant de plus en plus automatisés. Une automatisation qui court-circuite les opérateurs humains réduira forcément leur implication dans le système aéronautique et leur aptitude à en assumer la maîtrise, ce qui à son tour diminuera leur aptitude à redresser les défaillances ou à

compenser les insuffisances dans les sous-systèmes automatisés. Les concepteurs de l'automatisation devraient prouver de façon concluante que de telles lacunes n'existeront pas ou que de telles pannes ne se produiront pas, avant que la communauté aéronautique puisse envisager des systèmes automatisés qui puissent court-circuiter l'opérateur humain. Il est important de parvenir à un équilibre; si des compromis sont nécessaires, ils devront pencher du côté du maintien de l'opérateur humain dans la boucle, pour lui permettre d'intervenir lorsqu'il le faut. Cette idée est aussi exprimée par Billings (1997):

Pilotes et contrôleurs de la circulation aérienne sont indispensables parce qu'ils sont capables de prendre de bonnes décisions et d'agir comme il faut dans les situations difficiles. Nous n'avons pas encore conçu un ordinateur qui puisse s'accommoder de la variabilité inhérente à l'environnement des vols et du trafic aérien.

3.6.7 Malgré les progrès technologiques spectaculaires de l'automatisation, l'efficacité des systèmes automatisés et informatisés reste inextricablement liée aux possibilités de performance des opérateurs humains. L'automatisation de l'ATM imposera des changements radicaux dans le rôle de l'opérateur humain; elle pourra aussi introduire des changements majeurs dans le processus de collaboration entre contrôleurs aériens et pilotes pour accomplir leur mission avec le maximum de sécurité. Si un système ATM automatisé inhibe l'aptitude des contrôleurs et des pilotes à collaborer entre eux pour résoudre les problèmes, il limitera gravement la souplesse du système, et la perte de cette souplesse pourrait annuler beaucoup des avantages escomptés d'un système plus automatisé. Dans ce contexte, les systèmes automatisés ou informatisés avancés qui seront intégrés dans le système CNS/ATM devraient être conçus pour aider les humains à accomplir des tâches nouvelles et difficiles, à relever en toute sécurité les défis que leur imposeront les besoins et les exigences de demain. Avec le temps, la technologie, qui devait accroître les marges de sécurité, a été employée pour accroître la capacité du système, laissant ces marges pratiquement inchangées. Si les humains doivent rester entièrement responsables de la sécurité du système, il *ne* faudrait *pas* employer l'automatisation pour accroître sa capacité au-delà des possibilités humaines de le faire fonctionner manuellement en cas de défaillance des automatismes. Lors du développement des différents éléments du système CNS/ATM, les concepteurs et les fabricants, ainsi que les responsables de la réglementation, devraient se rappeler que la facette la plus importante de l'ensemble du système, c'est les êtres humains, hommes ou femmes, qui le font fonctionner, le contrôlent ou le gèrent, en poursuivant des objectifs humains et sociaux.

3.6.8 D'une façon générale, l'évolution de l'automatisation a été jusqu'à présent dans une grande mesure entraînée par la technologie. Ces dernières années cependant, les concepteurs de nouveaux aéronefs et d'autres systèmes aéronautiques ont résolument cherché à aider les humains à faire ce qu'ils n'arrivent peut-être pas à bien faire sous la pression des opérations courantes. Ils ont aidé ainsi à éliminer

certaines causes d'erreur humaine, tout en rendant possibles certaines erreurs différentes, directement associées à la nouvelle technologie.

3.6.9 Les systèmes CNS/ATM permettent une utilisation plus souple et plus efficace de l'espace aérien et sécurisent davantage le trafic. Les améliorations de la gestion du trafic aérien sont notamment:

- l'amélioration de l'acheminement et de la transmission de l'information entre exploitants, aéronefs et organes ATS;
- des communications améliorées entre contrôleurs et pilotes grâce à la technologie de liaison de données (CPDLC);
- l'extension de la surveillance (surveillance dépendante automatique, etc.);
- des systèmes sol avancés de traitement des données, y compris des systèmes d'affichage à l'intention des contrôleurs de données provenant de l'ADS et de données provenant des aéronefs, ceci permettant notamment d'améliorer la détection et la résolution de conflit, la génération et la transmission automatisées d'autorisations exemptes de conflit et une adaptation rapide aux changements des conditions de trafic.

3.6.10 La formulation des objectifs principaux des systèmes CNS/ATM et des futurs systèmes de navigation aérienne avancés devrait non seulement améliorer la planification, mais aussi renforcer la sécurité et rendre plus dynamiques l'utilisation de l'espace aérien et la gestion du trafic aérien. Il est évident que cela exigera une automatisation accrue et que celle-ci sera utilisée. Le défi à relever est de développer un système ancré dans les principes d'une automatisation axée sur l'élément humain, qui tienne compte des possibilités et des limites humaines. En résumé, cela implique que:

- **Les hommes doivent garder le commandement des opérations de vol et du contrôle de la circulation aérienne.** L'automatisation peut aider en offrant un éventail d'options de gestion.
- **Les opérateurs humains doivent rester impliqués.** L'automatisation peut aider en fournissant plus promptement une information meilleure.
- **Les opérateurs humains doivent être mieux informés.** L'automatisation peut aider en fournissant des explications sur ses actes et ses intentions.
- **Les opérateurs humains doivent faire un meilleur travail d'anticipation des problèmes.** L'automatisation peut aider en surveillant les tendances, en faisant des prévisions et en fournissant un appui à la décision.

- **Les opérateurs humains doivent comprendre l'automatisation qui leur est fournie.** Les concepteurs peuvent aider en offrant une automatisation plus simple, plus compréhensible intuitivement.
- **Les opérateurs humains doivent gérer efficacement toutes leurs ressources.** Bien conçue et utilisée, l'automatisation peut être leur ressource la plus utile.

3.6.11 Tous les concepts exposés dans le présent chapitre vont au-delà de la théorie; ils peuvent être mis en pratique très concrètement. L'objectif est d'agir sur la conception des systèmes homme-machine de telle sorte que les possibilités et les limites humaines soient prises en considération dès les premiers stades du processus de conception et qu'il en soit tenu compte dans la conception finale. Une conception tenant compte de ces questions aboutira à un système qui accroît la sécurité, la productivité et la satisfaction liée au travail. La profession des facteurs humains peut mettre à la disposition de l'aviation des concepteurs de systèmes possédant l'expertise et le savoir-faire nécessaires pour intégrer ces principes dans les systèmes tout au cours de leur conception.

LISTE DE RÉFÉRENCES

- Bainbridge, L. «Ironies of automation». Dans *Analysis, Design and Evaluation of Man-machine Systems, Proceedings of the IFAC/IFIP/FFORS/IEA Conference*. G. Johannsen et J.E. Rijnsdorp (Directeurs de publication). Pregamon Press, New York, 1982, p. 129-135.
- Billings, C.E. *Aviation Automation — The Search for a Human-Centered Approach*. Larence Erlbaum Associates, Mahwah (NJ), États-Unis, 1997.
- Billings, C.E. «Human-centered Aircraft Automation: A Concept and Guidelines». NASA Technical Memorandum 103885. National Aeronautics and Space Administration, Washington, D.C., 1991.
- Billings, C.E. «Toward a Human-centered Automation Philosophy». *Proceedings of the Fifth International Symposium on Aviation Psychology*. Columbus, Ohio, 1989.
- Clegg, C., Ravden, S., Corbett, M., et Johnson, G. «Allocating Functions in Computer Integrated Manufacturing: A Review and New Method» *Behaviour and Information Technology*. Vol. 8, No. 3, 1989, p. 175-190.
- Davis, B. «Costly Bugs: As Complexity Rises Tiny Flaws in Software Pose a Growing Threat» *Wall Street Journal*. 1987.
- Dekker, S. and Hollnagel, E. *Coping with Computers in the Cockpit*. Ashgate Publishing Ltd., Aldershot, Hants, UK, 1999.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE, «Too Much, Too Soon: Information Overload.» *Spectrum*, New York, juin 1987, p. 51-55.
- Isaac, A.R. «Mental Imagery in Air Traffic Control». *The Journal of Air Traffic Control*, Vol. 34, No. 1, 1992, p. 22-25.

- Lane, N.E. «Evaluating the Cost Effectiveness of Human Factors Engineering». Institute for Defence Analysis Contract MDA 903 '84 C 0031. Essex Corporation. Orlando, Florida, 1987.
- Margulies, F., et Zemanek, H. «Man's Role in Man-machine Systems». Dans *Analysis, Design, and Evaluation of Man-machine Systems*, Proceedings of the IFAC/IFIP/FFORS/IEA Conference. G. Johannsen et J.E. Rijnsdorp (éd.), Pergamon Press, New York, 1982.
- OACI, Annexe 11 — *Services de la circulation aérienne* (13^e édition), Montréal, 2001.
- OACI, Doc 9583 — *Rapport de la dixième Conférence de navigation aérienne*, Montréal, 1991.
- OACI, Doc 9758—*Lignes directrices sur les facteurs humains et les systèmes de gestion du trafic aérien*, Montréal, 2000.
- Orlady, H.W. «Advanced Technology Aircraft Safety Issues». Battelle ASRS Office, rapport non publié. Mountain View, California, 1989.
- Palmer, E., Mitchell, C.M. et Govindaraj, T. «Human-centered Automation in the Cockpit: Some Design Tenets and Related Research Projects». Atelier ACM SIGCHI sur l'interaction homme-ordinateur dans les systèmes aérospatiaux. Washington, D.C., 1990.
- Panel on Human Factors in Air Traffic Control Automation. *The Future of Air Traffic Control: Human Operators and Automation*. National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C., 1998.
- Patterson, W.P. «The Costs of Complexity». *Industry Week*, 6 juin 1988, p. 63-68.
- Perrow, C. *Normal Accidents: Living with High-risk Technologies*. Basic Books, Inc., New York, 1984.
- Pfeiffer, J. «The Secret of Life at the Limits: Cogs Become Big Wheels». *Smithsonian*, Vol. 27, No. 4, 1989, p. 38-48.
- Price, H.E. «The Allocation of Functions in Systems.» *Human Factors*, Vol. 27, No. 1., 1985.
- Price, H.E. «Conceptual System Design and the Human rôle». *MANPRINT*. Harold R. Booher (éd.). Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.
- Reason, J. *Human Error*. Cambridge University Press, Royaume-Uni, 1990.
- Ruitenbergh, B. *Certification of ATC Equipment — An Oversight in Oversight?* Communication au 5^e Australian Aviation Psychology Symposium, Manly, Australie, 2000.
- Schwalm, H.D., et Samet, M.G. «Hypermedia: Are We in For 'Future Shock'?» *Human Factors Bulletin*, Vol. 32, No. 6, 1989.
- Wiener, E.L. «Management of Human Error by Design». Human Error Avoidance Techniques Conference Proceedings. Society of Automotive Engineers, Inc., 1988.
- Wiener, E.L. «Human Factors of Advanced Technology ('Glass Cockpit') Transport Aircraft». NASA Contractor Report 177528. National Aeronautics and Space Administration, Washington, D.C., 1989.
- Wiener, E.L. «Fallible Humans and Vulnerable Systems: Lessons Learned from Aviation». *Information Systems: Failure Analysis*. Wise, J.A. et Debons, A. (éd.). NATO ASI Series, Vol. F-32, Springer-Verlag, Berlin, 1987.
- Wiener, E.L., et R.E. Curry. «Flight-deck Automation: Promises and Problems». NASA TM 81206. Moffett Field, California, 1980.
- Zuboff, S. «In the Age of the Smart Machine». Basic Books, Inc., New York, 1988.

CHAPITRE 4

ERGONOMIE

4.1 INTRODUCTION

4.1.1 Dès l'aube de la civilisation, l'ergonomie a été appliquée à la conception d'outils, même si c'était de façon élémentaire. En aviation, aux temps héroïques et bien des années par la suite, on a cherché surtout à mettre de l'avant quelques principes généraux pour orienter la conception des affichages et des commandes du poste de pilotage. Plus tard, cette perspective a été élargie à l'analyse expérimentale de la conception et de l'agencement des équipements, en étroite liaison avec l'analyse des exigences et de la charge de travail imposées à l'opérateur humain par le matériel et par les tâches à accomplir. De nos jours, les caractéristiques de l'opérateur (capacités, limites, besoins) sont prises en considération à un stade précoce du processus de développement des systèmes; dans l'approche de la conception qui prévaut maintenant, la réalisation technique leur est subordonnée. C'est l'option qu'expriment les termes «convivial» et «tolérant à l'erreur» appliqués aux équipements modernes.

4.1.2 Il est indéniable que des progrès techniques ont été accomplis et qu'ils ont accru la sécurité de vol; pourtant, l'expérience de l'exploitation révèle que l'erreur humaine est toujours, dans une certaine mesure, liée à des faiblesses dans la conception des équipements ou dans les procédures d'utilisation. On ne pourra améliorer davantage encore la sécurité qu'en prenant en compte dans la conception des systèmes les aspects appropriés des facteurs humains. Cependant, il serait fallacieux de faire croire qu'il suffirait d'améliorer la conception pour assurer la sécurité dans le système: ce qu'il faut, c'est une approche systémique de la sécurité de l'aviation.

4.1.3 Le présent chapitre traite des questions de facteurs humains qui se posent à l'interface homme-machine en aviation. Cette interface était jadis considérée comme porteuse de solutions simples aux problèmes de facteurs humains, à l'aide de «boutons et cadrans». Dans certains cas, on pouvait trouver ces solutions en consultant le tableau approprié. Mais comprendre comment résoudre les problèmes de facteurs humains à l'interface homme-machine dans le système aéronautique est autre chose que d'apprendre à consulter des tableaux, d'autant plus que ces solutions simples ne seront peut-être pas valables pour toutes les situations.

4.1.4 Le présent chapitre vise à susciter une plus grande conscience de l'omniprésence de l'ergonomie et de son rôle dans la sécurité de l'aviation. Il apportera au lecteur des connaissances de base et lui indiquera des sources d'information, ce qui l'aidera à faire appel, au besoin, à l'expertise

appropriée. Son propos est aussi de diffuser, en termes simples, l'information la plus actuelle émanant des États et d'encourager à tirer parti des possibilités existantes d'éducation et de formation.

Ce chapitre:

- expose les notions fondamentales d'ergonomie, notamment la différence entre les concepts d'ergonomie et de facteurs humains;
- traite des possibilités humaines qui sont à prendre en considération dans la conception des équipements;
- aborde la conception des dispositifs de présentation d'information et des instruments de commande, ainsi que leur intégration dans le poste de pilotage;
- traite des agents de stress présents dans le milieu ambiant qui intéressent l'ergonomie.

4.2 NOTIONS FONDAMENTALES D'ERGONOMIE

Introduction

4.2.1 Les concepts d'*ergonomie* et de *facteurs humains* sont employés dans de nombreux pays de façon interchangeable, mais avec une légère différence d'accent. Le concept de facteurs humains a acquis un sens plus large, incluant certains aspects des performances humaines et des interfaces des systèmes dont l'ergonomie générale ne s'occupe habituellement pas. Le Chapitre premier propose de considérer les deux termes comme synonymes, afin de ne pas s'attacher à des considérations académiques ou sémantiques et d'éviter la confusion; il mentionne cependant que dans de nombreux pays le terme ergonomie est appliqué strictement à l'étude des questions de conception des systèmes homme-machine. Dans cette perspective, l'ergonomie étudie les principes d'interaction entre les hommes et les équipements, en vue de les appliquer dans la conception et l'exploitation. L'ergonomie étudie les attributs humains, en déterminant quelles exigences concernant le matériel et les documents résultent des caractéristiques des activités en cause. Elle cherche à résoudre les problèmes d'adaptation des techniques et des conditions de travail aux êtres humains. Dans toute le présent chapitre, c'est ce dernier concept de l'ergonomie qui a été adopté; il se distingue donc clairement du concept de facteurs humains.

Une approche systémique de la sécurité

4.2.2 La meilleure façon d'assurer la sécurité en aviation au stade de la conception est d'adopter une stratégie fondée sur une approche systémique, ce qui est une façon de décomposer le «monde réel» en éléments identifiables et de regarder comment ceux-ci entrent en interaction et s'intègrent. L'interface Humain-Matériel du modèle SHEL, présenté au Chapitre premier, peut être considérée comme un *système homme-machine* dans lequel des hommes et des machines entrent en interaction dans un environnement pour atteindre un ensemble d'objectifs du système. L'ergonomie tentera d'optimiser les interactions entre humains et machines dans le système (interface L-H), tout en prenant en considération les caractéristiques de tous les éléments du système (par exemple, l'environnement ainsi que la documentation).

4.2.3 La Figure 4-1 représente d'une façon simplifiée le système homme-machine. L'*élément machine* est présenté du côté droit. Des dispositifs de présentation d'information (visuels et audibles, par exemple) informent l'humain sur l'état interne du système ou les conditions externes au système, tandis que des commandes lui permettent d'apporter des modifications à la situation du système. L'*élément humain* du

système est présenté du côté gauche de la Figure 4-1. Il faut que les renseignements présentés soient perçus et traités par l'homme pour que celui-ci puisse ensuite prendre des décisions conscientes. Des réponses motrices pourront être envoyées pour modifier les réglages des commandes. La ligne qui, sur la Figure 4-1, sépare la machine de l'homme représente l'*interface homme-machine*. Des informations circulent dans les deux sens à travers cette interface; l'ergonomie se préoccupe beaucoup d'assurer qu'elles traversent bien l'interface et l'ergonome devra veiller à ce que les dispositifs de présentation d'information et les commandes soient compatibles avec les capacités humaines et les exigences des tâches.

4.2.4 Avant de pouvoir spécifier et concevoir un système homme-machine, il faut en définir les objectifs systémiques. Ces objectifs, ainsi que les contraintes opérationnelles identifiées, dictent les conditions dans lesquelles le système homme-machine fonctionnera. Si le fonctionnement du système ne respecte pas cet ensemble de conditions, il peut en résulter une situation dangereuse.

4.2.5 Une autre tâche importante de l'ergonome est la répartition des fonctions et des tâches entre les éléments du système, humain et machine. L'équipe de conception du

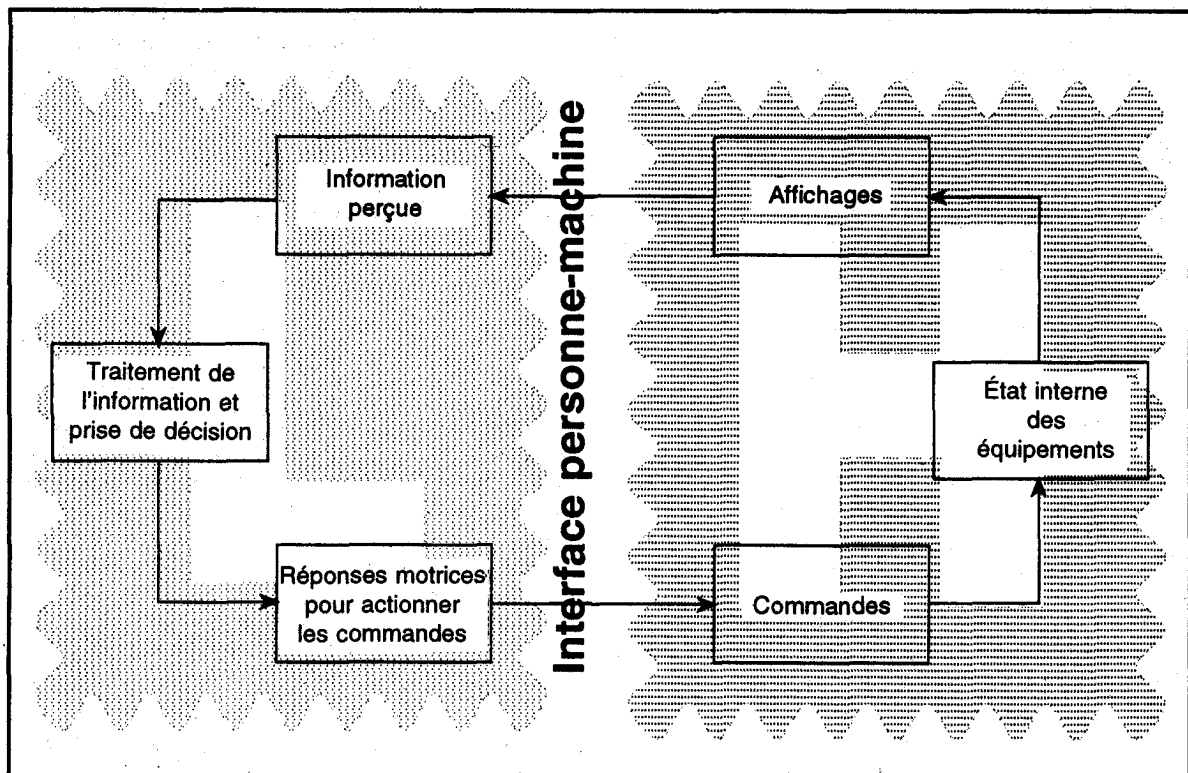


Figure 4-1. Représentation d'un système personne-machine (d'après Meister, 1979)

système (dont l'ergonome fait partie) décide quelles fonctions il convient d'attribuer à l'humain et quelles autres au matériel et à la documentation, sur la base de considérations telles que les caractéristiques humaines, les exigences des tâches, la charge de travail, les coûts, les besoins de formation et les techniques disponibles. Une attribution peu judicieuse des fonctions risquerait de compromettre l'efficacité et la sécurité du système. Il ne faudrait pas permettre que la tendance à comparer l'humain et la machine, en considérant les fonctions pour lesquelles les humains sont supérieurs aux machines et celles pour lesquelles les machines sont supérieures aux humains, conduise à une attribution simpliste de fonctions entièrement à l'homme ou entièrement à la machine. Humains et machines devraient être *complémentaires* dans l'accomplissement des tâches. De plus, cette complémentarité devrait être conçue avec une souplesse suffisante pour que la répartition des fonctions puisse être adaptée à diverses situations opérationnelles (depuis les vols normaux jusqu'aux situations d'urgence).

4.2.6 Pour que le système qu'il conçoit puisse atteindre les objectifs visés, l'ergonome doit procéder d'une façon systématique. La série de questions ci-après, donnée à titre d'exemple, montre la démarche qu'il pourra suivre:

- Quels intrants et extrants faut-il prévoir pour atteindre les objectifs du système?
- Quelles sont les opérations nécessaires pour produire les extrants du système?

- Quelles fonctions dans le système devraient être accomplies par la personne?
- Quels sont les exigences de formation et de compétence des opérateurs humains?
- Les tâches qu'exige le système sont-elles compatibles avec les capacités humaines?
- De quelles interfaces avec le matériel l'homme a-t-il besoin pour accomplir son travail?

Un système conçu sans que ces questions soient bien considérées risquerait de ressembler à celui qu'illustre la Figure 4-2.

Contrôle de l'erreur humaine

4.2.7 L'erreur humaine est une question fort complexe. Il faut employer ce terme à bon escient, car il risque d'être perçu comme un terme chargé, impliquant un blâme. De plus, le mot «erreur» implique un écart par rapport à un comportement correct ou approprié, qui est définissable. En réalité, le comportement approprié est souvent difficile à définir, et l'erreur humaine est de plus en plus regardée comme un symptôme de déficiences dans la conception du matériel ou la performance du système plutôt que comme une cause en elle-même. Malgré ces réserves, la notion d'erreur humaine reste importante pour comprendre la nature du comportement humain et les facteurs qui l'influencent. Différents auteurs ont proposé différentes classifications des erreurs humaines.

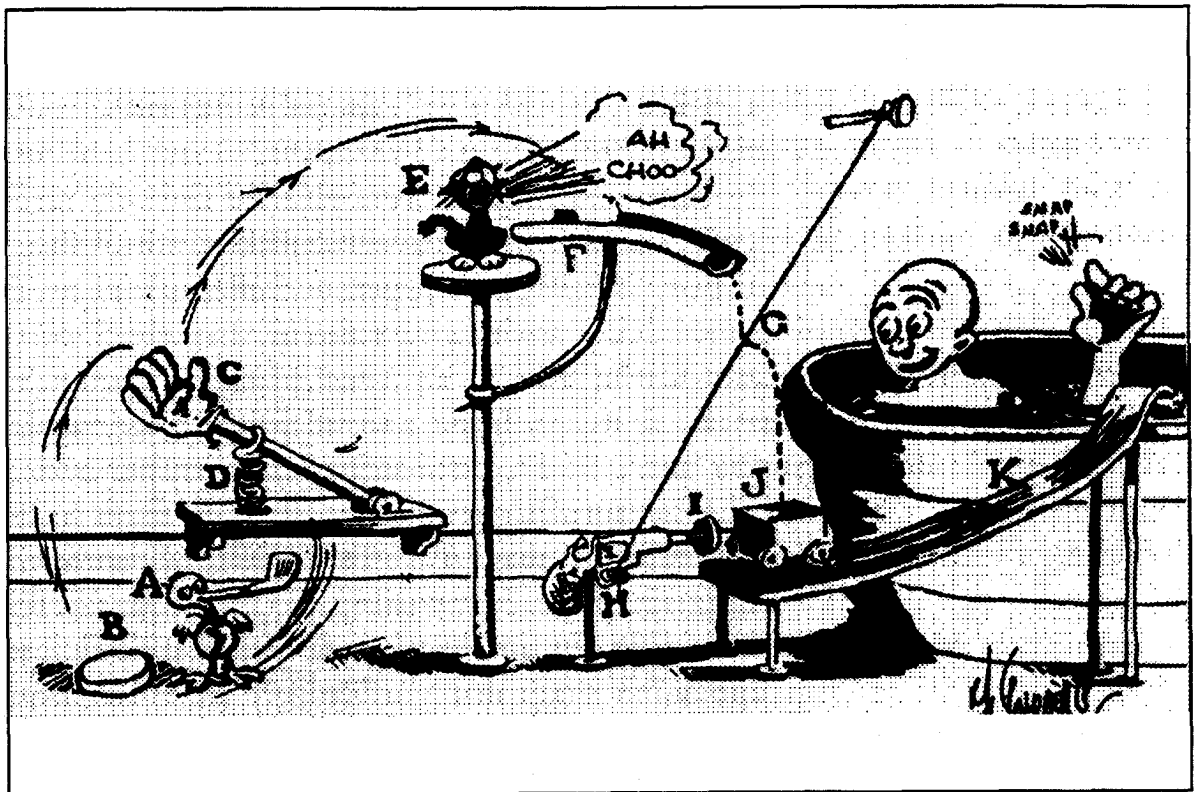


Figure 4-2. Système de ramassage d'une savonnette tombée d'une baignoire (d'après *The Best of Rube Goldberg*, recueil de Charles Keller, Prentice-Hall, 1979)

4.2.8 Pour réduire l'occurrence de l'erreur humaine, il faut d'abord comprendre sa nature, qui est liée à certains concepts de base: il peut exister des *différences fondamentales dans les origines des erreurs et leur fréquence*, ainsi que des *différences significatives dans les conséquences des erreurs*. Certaines erreurs peuvent être dues à l'inattention, à la négligence ou à un défaut de jugement, mais beaucoup proviennent d'une piètre conception du matériel ou peuvent être induites par la réaction normale d'une personne à une situation stressante. Dans ces deux derniers cas, il s'agit d'erreurs susceptibles de se reproduire et il peut y être remédié par la pratique de l'ergonomie.

4.2.9 Chacune des interfaces du modèle SHELL comporte un potentiel d'erreur lorsqu'il n'y a pas une bonne adéquation entre les éléments. Par exemple:

- L'interface *Humain-Matériel* est fréquemment source d'erreurs: si des boutons ou des manettes de commande ne sont pas bien situés ou bien codés, il y aura des problèmes à cette interface.
- À l'interface *Humain-Documentation*, des erreurs et des retards peuvent se produire s'il faut chercher un renseignement d'importance vitale sur des écrans ou des cartes confus, erronés ou trop chargés. Des problèmes peuvent provenir aussi de la présentation des informations ou de la conception des logiciels.
- À l'interface *Humain-Environnement*, des facteurs ambiants tels que le bruit, la chaleur, l'éclairage, la qualité de l'air, les vibrations, ou encore la perturbation des rythmes biologiques, peuvent entraîner des erreurs.
- À l'interface *Humain-Humain*, les interactions interpersonnelles peuvent influencer sur l'efficacité de l'équipage et du système. Elles font intervenir aussi le leadership et le commandement; des insuffisances à ce niveau risqueraient de réduire l'efficacité opérationnelle et de causer erreurs et malentendus.

Les considérations qui interviennent pour éviter pareilles erreurs relèvent de l'ergonomie.

4.2.10 Le contrôle de l'erreur humaine nécessite deux démarches différentes. En premier lieu, il est souhaitable de *réduire le nombre d'erreurs* (l'élimination totale de l'erreur humaine n'étant sans doute pas un objectif réaliste, puisque l'erreur fait normalement partie du comportement humain). On peut, par exemple, limiter les erreurs en assurant un haut niveau de compétence du personnel, en concevant des commandes et des affichages adaptés aux caractéristiques humaines, en fournissant des listes de vérification, procédures, manuels et cartes bien conçus, en contrôlant le bruit, les vibrations, les extrêmes de température et autres conditions stressantes, ainsi qu'en offrant des programmes de formation et de sensibilisation qui visent à renforcer la coopération et la communication entre membres d'équipage. La seconde démarche vise à *réduire au minimum les effets ou les conséquences des erreurs*, en prévoyant des facteurs de sécurité tels que le contrôle croisé, la coopération entre membres d'équipage et du matériel à sûreté intégrée.

4.3 CAPACITÉS HUMAINES

Le système visuel

4.3.1 Le système visuel (c'est-à-dire les yeux et les voies nerveuses optiques) est généralement considéré comme le plus important appareil sensoriel, permettant à l'être humain d'acquérir des informations provenant de sources externes. On ne cherchera pas ici à approfondir l'anatomie de ce système, puisqu'elle est décrite dans de nombreux textes. L'accent sera placé sur le système visuel au travail, ce qu'il fait et ne fait pas. La performance visuelle dépend de plusieurs facteurs, certains internes à ce système (acuité visuelle, accommodation et convergence, adaptation à la lumière et à l'obscurité, perception des couleurs) et d'autres externes, notamment des variables telles que la tâche, la cible et certaines caractéristiques du milieu ambiant (luminance, contraste, taille, lieu, mouvement et couleur). Tous ces facteurs entrent en interaction pour déterminer la précision et la rapidité de la performance visuelle humaine. La compréhension de ces facteurs humains et systémiques permet à l'ergonome de prévoir et d'optimiser la performance du système visuel dans diverses situations opérationnelles.

4.3.2 Il est commode de séparer les fonctions visuelles selon les trois facteurs captés: lumière, forme et couleur. L'oeil est capable de fonctionner sur une large échelle d'intensités lumineuses, allant de la lueur des étoiles à la pleine lune et au grand soleil. Il lui faut du temps pour s'adapter aux variations du niveau d'intensité lumineuse, parce que le mécanisme qui intervient est un processus photochimique. L'ajustement est rapide lorsque l'oeil s'adapte au passage de l'obscurité à la lumière, tandis qu'il est lent pour l'adaptation au passage de la lumière à l'obscurité. L'adaptation fait intervenir trois processus. D'abord, la quantité de lumière qui peut pénétrer dans l'oeil (et atteindre ainsi la rétine) est réglée par la dimension de la pupille; celle-ci augmente lorsque la personne essaie de voir dans l'obscurité et se réduit en pleine lumière. En deuxième lieu, un processus photochimique intervient lorsque l'intensité lumineuse varie. En troisième lieu, deux mécanismes fonctionnent à différents niveaux d'intensité lumineuse: la vision utilisant les bâtonnets, basée sur la fonction des percepteurs de lumière périphériques de la rétine, les bâtonnets, fonctionne depuis le seuil de perception jusqu'au niveau de lumière du clair de lune; ici, l'acuité de perception des formes est faible et les couleurs ne peuvent pas être discriminées. À partir du niveau de luminosité de l'aube, la vision basée sur la fonction des percepteurs de lumière centraux de la rétine, les cônes, prend la relève; l'acuité de vision des formes et la perception des couleurs deviennent bonnes. Au stade transitoire, correspondant à peu près à la lumière de la pleine lune, bâtonnets et cônes fonctionnent simultanément. Une autre caractéristique importante de la vision utilisant les cônes et de la vision utilisant les bâtonnets est leur sensibilité spectrale différente, dont on se rend compte au crépuscule, lorsque les tons rouges s'obscurcissent avant que les autres couleurs ne changent, du fait de l'insensibilité relative des bâtonnets à la lumière. Un résultat de ce double mécanisme d'appréciation de la lumière est qu'il faut utiliser

la vision périphérique pour déceler de faibles lumières. Il est largement illusoire de chercher à protéger la vision nocturne en préservant l'adaptation des bâtonnets (éclairage rouge dans le cockpit), car fort peu de tâches liées au vol peuvent être effectuées avec la vision utilisant les bâtonnets.

En novembre 1979, un DC-10 effectuant un vol touristique au-dessus de l'Antarctique s'écrase sur le flanc d'un volcan de 12 000 ft. L'avion était descendu sous les nuages à 6 000 ft pour permettre aux passagers de regarder la banquise. Du fait de l'introduction de coordonnées de navigation inexactes dans le système de navigation inertielle (INS), l'avion s'était écarté de 25 miles de l'itinéraire prévu; cependant, l'équipage n'a pas vu les flancs du volcan malgré une visibilité de 70 km. Une étude poussée des effets de la texture visible et invisible sur la perception visuelle et de l'illusion que le «blanc dehors» produit dans cette région pourrait expliquer pourquoi l'équipage n'a pas vu l'obstacle.

Source: Sommaire ADREP 80/1, OACI.

4.3.3 L'acuité visuelle est la capacité de résolution des détails du système visuel. Elle peut être exprimée par différentes notations. On l'exprime couramment sur la base de la plus petite lettre qu'une personne peut reconnaître sur un tableau de Snellen à 20 pieds de distance, comparée à la distance de lecture «normale» de la même lettre. Par exemple, l'acuité visuelle normale étant 20/20, la notation 20/40 indique que la personne ne peut lire qu'à 20 pieds ce qu'il est normal de lire à 40 pieds. La luminance absolue, le contraste de luminance, le temps d'exposition, le mouvement et l'éblouissement sont parmi les facteurs qui influent sur l'acuité visuelle.

4.3.4 Pour voir nettement un objet, l'oeil fait une mise au point sur cet objet. En faisant la mise au point sur des objets situés entre l'infini et 5 à 6 mètres, l'oeil normal ne change pas; par contre, lorsqu'il focalise sur des objets situés à moindre distance (moins d'environ 5 mètres), deux choses se produisent: les yeux accommodent (c'est-à-dire qu'ils ajustent leur réfractivité en fonction de la distance à l'objet) et les globes oculaires se tournent vers l'intérieur, afin que les axes visuels des deux yeux convergent sur l'objet. Lorsque les indices visuels sont faibles ou absents (dans le vide, par exemple), les muscles qui contrôlent l'accommodation et la convergence s'ajustent d'eux-mêmes à une distance d'environ

un mètre («myopie du vide»). Cela affectera significativement la performance visuelle d'une personne qui recherche des objets éloignés alors que les indices visuels sont faibles, comme c'est le cas lorsqu'on cherche à repérer, du poste de pilotage, le trafic signalé.

4.3.5 L'orientation spatiale fait intervenir à la fois la perception visuelle et l'appareil vestibulaire («organe de l'équilibre») de l'oreille interne. La proprioception (sensibilité du système nerveux relative aux mouvements du corps) joue également un rôle (instinctif), moins important. L'orientation spatiale est aussi influencée par l'expérience passée. La Figure 4-3 présente un modèle simplifié de cette activité.

En juin 1988, un Airbus A320 s'écrase au cours d'un vol à Mulhouse-Habsheim (France). Le rapport de la commission d'enquête contient les observations suivantes sur la question de la mauvaise évaluation visuelle: «Alors qu'il (le commandant) avait l'habitude d'utiliser des pistes de 2 000 à 3 000 m avec des tours de contrôle d'une trentaine de mètres de hauteur, il s'est trouvé au-dessus d'une piste gazonnée de 800 m avec une tour de 12 m; l'effet d'échelle peut avoir créé une fausse impression.» Le rapport mentionne aussi que l'assiette fortement en cabré, à l'approche de l'angle d'incidence maximum, aurait placé le niveau des yeux du pilote particulièrement haut par rapport au reste de l'avion. C'est la partie arrière du fuselage qui a heurté les arbres en premier lieu.

Source: Sommaire ADREP 88/3, OACI.

4.3.6 Les yeux communiquent en général assez fidèlement l'information captée. Lorsque cette information est traitée par le cerveau et combinée aux facteurs émotionnels, aux apprentissages antérieurs, à l'expérience ou aux attentes, il peut cependant y avoir ambiguïté ou incertitude. Ces facteurs font partie du cadre mental, que décrit bien le dicton selon lequel on voit ce que l'on s'attend à voir. Ainsi, un pilote pourrait capter correctement un signal d'alarme indiquant la défaillance d'un système et ne pas en tenir compte si une expérience antérieure d'alarmes intempestives lui fait penser que l'alarme provient d'un signal défectueux.

4.3.7 L'absence de réaction à un stimulus, même clairement perçu, peut être due à la fascination (fixation de l'attention). En pareil cas le pilote se concentre sur un

Un Twin Otter DHC-6-300 De Havilland transportant un appareil et une équipe de forage est en approche pour atterrir sur un esker de 200 m de long (un esker est une formation géologique ressemblant à une barre de sable) près de Concession Lake, Yellowknife (Canada). L'avion heurte le sol dans un ravin, une vingtaine de mètres trop tôt. Le pilote, qui n'a jamais atterri sur cet esker auparavant, n'a pas vu la pente de 8 degrés et a fait une approche à plat.

Source: Sommaire ADREP 89/381, OACI.

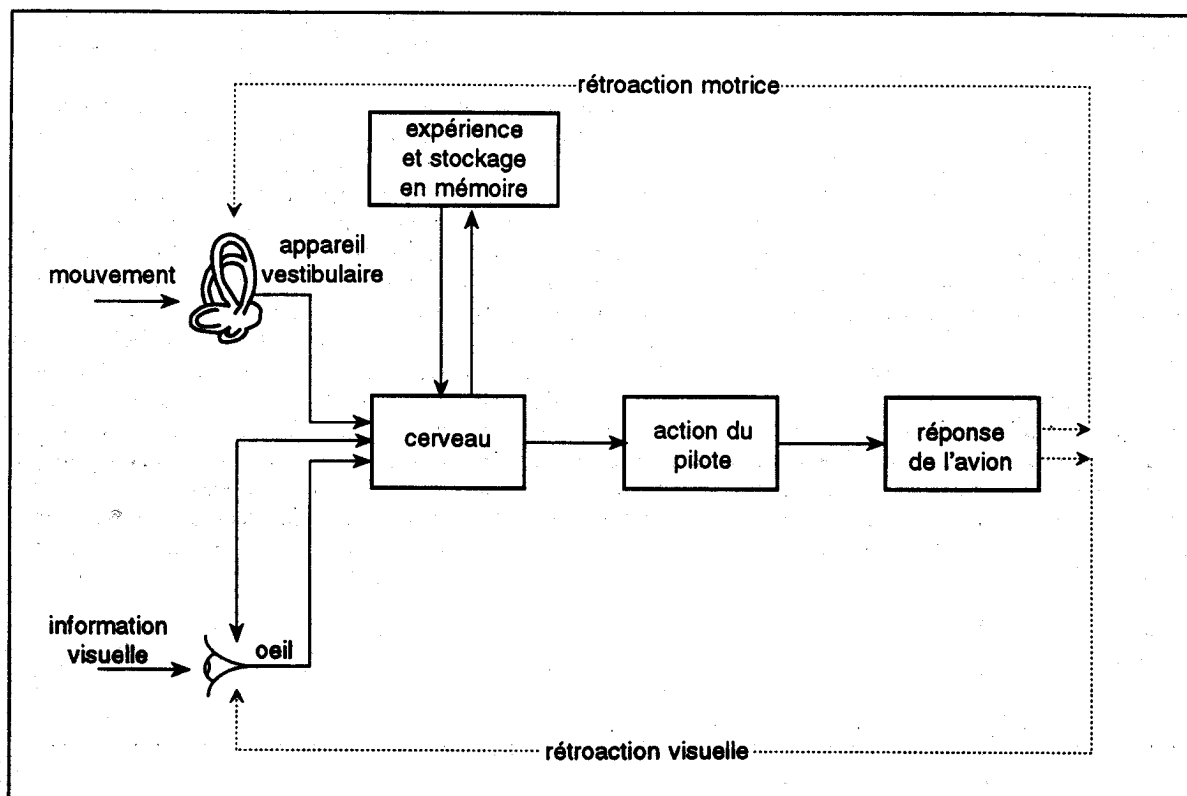


Figure 4-3. Modèle simplifié représentant certains des éléments intervenant dans la perception visuelle (d'après Hawkins, 1987)

instrument de vol (directeur de vol, par exemple) et ne tient pas compte d'informations importantes auxquelles il devrait réagir. La fascination peut se produire non seulement dans des conditions de forte charge de travail, mais aussi lorsque cette charge est faible et que l'ennui s'installe.

4.3.8 Des *illusions visuelles* d'une sorte ou d'une autre ont été éprouvées par tout membre d'un équipage de conduite. Depuis des années, physiologistes et psychologues proposent des théories pour les expliquer. Ces études, et des notions générales sur les illusions visuelles en aviation, peuvent être trouvées ailleurs. Aux fins du présent chapitre, il suffit d'appeler l'attention sur la vulnérabilité humaine à ces phénomènes.

Les systèmes vocal et auditif

4.3.9 La parole est le résultat de l'interaction de plusieurs composantes du *système vocal*. Les différentes voix sont caractérisées par les registres de hauteur et de fréquence qu'elles emploient. La parole peut être déformée de toutes sortes de façons, mais elle reste intelligible tant que la composition spectrale reste intacte. Le *système auditif* perçoit les signaux sonores et la parole, qu'il transmet au cerveau pour

En décembre 1983, un Cessna Citation fait une descente depuis le niveau 330 pour atterrir à vue, de nuit, à Stornoway (Royaume-Uni). La nuit est très sombre et il y a une couche de stratus entre 1 000 et 3 000 ft. On voit l'avion au radar poursuivre une descente stabilisée jusqu'au niveau de la mer, où l'écho radar disparaît à 10 NM du point de destination. Les enregistrements radar indiquent qu'à environ 3 000 ft le pilote a réduit sa vitesse d'approche, braqué les volets, sorti le train et est descendu très rapidement. Tous les occupants sont morts noyés, ce qui indique que l'impact avec l'eau n'a pas été violent. On n'a trouvé aucun indice de panne de moteur ni de rupture de la cellule. L'approche effectuée au-dessus de la mer sombre en direction d'une région éclairée a créé une illusion visuelle.

Source: Sommaire ADREP 85/1, OACI.

que celui-ci les traite. L'oreille externe est formée du pavillon, du conduit auditif et du tympan. L'oreille moyenne contient trois osselets qui transmettent à l'oreille interne les sons provenant de l'extérieur; elle est reliée au nez et à la gorge. Le fait d'avaler, de bâiller ou d'éternuer égalise la pression existant dans l'oreille moyenne avec la pression extérieure. Le

système vestibulaire logé dans l'oreille interne remplit des fonctions telles que l'équilibration et la communication au cerveau d'informations relatives à l'accélération et aux changements de position.

4.3.10 Des troubles de l'audition peuvent être provoqués par l'obstruction du passage entre l'oreille moyenne, le nez et la bouche (du fait d'un rhume par exemple), par un épaissement du tissu osseux ou une calcification des osselets, ou encore par des infections de l'oreille moyenne entraînant une accumulation de fluide qui amortit le mouvement des éléments assurant la transmission du son. L'exposition prolongée à un bruit intense (tel que le bruit de machines ou de moteurs d'avion) peut léser de façon permanente les nerfs de l'oreille interne. Des affections telles qu'une tumeur au cerveau ou un accident cérébro-vasculaire peuvent entraver le fonctionnement de la zone du cerveau responsable de l'audition. Enfin, l'acuité auditive se dégrade généralement avec l'âge.

4.3.11 Dans le langage, les sons présentent quatre caractéristiques primordiales: l'*intensité*, qui se mesure en décibels (dB) et crée la sensation de force sonore; la *fréquence*, qui se mesure en hertz ou en cycles par seconde et produit la sensation de hauteur; la *composition harmonique*, liée à la qualité de l'élocution, et le *facteur temps*, c'est-à-dire la vitesse du débit, la longueur des pauses et le temps passé sur les différents sons.

Dès que j'arrive au travail, je grimpe dans l'hélicoptère (qui vaut quelque trois millions de livres) et me trouve exposé à des niveaux de bruit effrayants, même avec un bon casque et des protège-tympons; à cela s'ajoutent les vibrations, l'inconfort du siège et le mauvais fonctionnement du circuit de chauffage du cockpit... L'énumération pourrait être prolongée à l'infini. Pourquoi avoir toléré pareille situation? Comment y remédier?

Source: *Feedback* n° 10, avril 1986 (*Feedback* est le bulletin périodique du CHIRP, système de comptes rendus confidentiels d'incidents liés aux facteurs humains de l'Administration de l'aviation civile du Royaume-Uni).

4.3.12 Le **bruit** est un son importun ou sans relation avec la tâche immédiate. Il peut gêner l'auditeur, compromettre la communication verbale ou l'exécution des tâches et avoir des incidences sur la santé. La relation entre la force du son «utile» et celle du bruit de fond est le «*rapport signal-sur-bruit*». Ce rapport est un facteur plus important pour déterminer l'intelligibilité que le niveau absolu du signal ou du bruit. Il sera question plus loin dans ce chapitre du bruit ambiant comme agent de stress.

... Vers la fin de la communication (de l'autorisation ATC), on entend sur le CVR un «Yes» du commandant. Environ 5 secondes plus tard, pendant que le copilote relit encore l'autorisation, on entend le commandant prononcer les mots «We go — check thrust...» suivis de sons d'accélération du moteur.

Dans l'enregistrement CVR, la dernière partie de la relecture par le copilote devient nettement plus rapide et moins claire. Il termine par les mots «We are now — uh — takin' off» ou «We are now at take-off».

Après quoi on entend le contrôleur dire «Okay (pause) stand by for takeoff, I will call you». Sur le CVR de l'avion KLM, la partie de cette communication qui suit le mot «okay» est recouverte par un bruit strident; la voix du contrôleur a une intonation un peu déformée, mais elle reste compréhensible.

Dans le Clipper 1736, après avoir entendu l'annonce du décollage par le copilote KLM et le «okay» du contrôleur, suivi d'une pause, le copilote Pan Am annonce: «and we are still taxiing down the runway — the Clipper one seven three six». C'est cette communication qui, dans le cockpit de l'avion KLM, produit le bruit strident et la déformation de la communication du contrôleur ordonnant d'attendre avant de décoller. La communication de Pan Am a été elle-même complètement bloquée par celle du contrôleur à l'avion KLM. Seuls les mots «Clipper one seven three six» sont entendus dans la tour. Le contrôleur dit alors «Papa Alpha one seven three six, report runway clear». Sur quoi le Clipper répond «Okay, we'll report when we are clear». Pendant ces communications, l'avion KLM 4805 continue à accélérer dans sa course de décollage.

À bord de l'avion KLM, le mécanicien de bord interroge «Is he not clear, then?» Le commandant demande «What did you say?» et le mécanicien répond «Is he not clear, that Pan American?». Ce à quoi le commandant et le copilote répondent par un «Yes» positif et quasi simultané.

Environ 7 secondes plus tard, le copilote appelle «V one». Trois secondes plus tard, l'équipage hollandais voit directement en face de lui la forme du Clipper 1736 qui vire sur la droite de l'appareil KLM en cherchant à dégager la piste. À 1706:49 GMT, l'avion KLM 4805 entre en collision avec le Clipper 1736.

Source: «Human Factors Report on the Tenerife Accident», U.S. ALPA.

4.3.13 La *redondance* dans le langage parlé aide à transmettre des informations même lorsque le son est déformé ou environné de bruit. Dans le cas d'informations déformées, on risque de voir l'auditeur émettre de fausses hypothèses en comblant les lacunes sur la base de son expérience, de ses apprentissages et de ses attentes. Il y a *masquage* si une composante de l'ambiance sonore (bruit importun, par exemple) réduit la sensibilité auditive à une autre composante (signal audible ou parole, par exemple). Plus il y a perte de contenu de la parole — du fait de distorsions, de bruits, de déficiences auditives personnelles, etc. — et plus les attentes peuvent jouer un rôle dans l'interprétation des messages sonores, ce qui risque d'avoir des conséquences catastrophiques.

4.3.14 L'ergonomie cherche à atténuer les effets négatifs du bruit sur l'audition et sur l'intelligibilité de la parole en attaquant le problème à la source, lors de l'émission, et/ou à l'extrémité réception du signal, de la parole ou du bruit.

4.4 TRAITEMENT DE L'INFORMATION PAR L'ÊTRE HUMAIN

4.4.1 Les humains possèdent un système puissant et développé de captage et de traitement de l'information sur le monde environnant; on peut subdiviser le processus de captage et de traitement de l'information en plusieurs étapes, comme la Figure 4-4 le montre d'une façon généralisée. Avant qu'une personne puisse réagir à une information sous forme de stimuli, il faut qu'elle capte ces stimuli. Comme les appareils sensoriels fonctionnent dans des plages étroites, il existe un potentiel d'erreur. Une fois captés, les stimuli sont transmis au cerveau qui les traite et qui tire des conclusions sur la nature et le sens du message reçu. Cette activité d'interprétation fait intervenir des fonctions cérébrales de haut niveau que l'on appelle *perception* et il y a là un terrain fertile pour l'erreur. Les attentes, l'expérience, l'attitude, la motivation et la stimulation influent conjointement sur la perception et peuvent entraîner des erreurs.

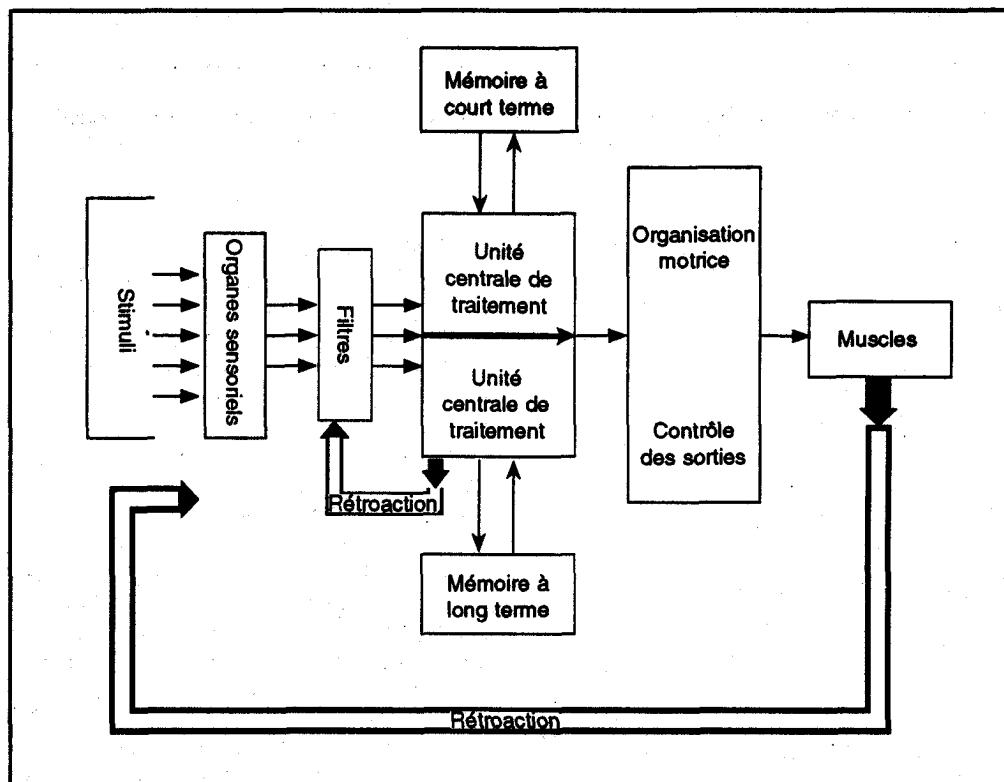


Figure 4-4. Modèle du système humain de traitement de l'information (d'après Hawkins, 1987)

4.4.2 Une fois que le cerveau a tiré ses conclusions sur la signification des stimuli, la prise de décision commence. À nouveau, de nombreux facteurs peuvent conduire à des décisions erronées: formation ou expérience insuffisante ou non pertinente; facteurs émotionnels ou commerciaux; fatigue, médicaments, motivation, état physique ou psychologique. L'action (ou l'absence d'action) suit la décision. Après une action, un mécanisme de retour d'information peut informer la personne sur l'efficacité de cette action. Ces deux dernières phases comportent un potentiel d'erreurs.

4.4.3 La capacité de se souvenir est indispensable au traitement de l'information; même le système le plus simple ne peut fonctionner sans mémoire. La mémoire humaine ayant ses limites, l'ergonome doit veiller à concevoir des systèmes qui ne la surchargeront pas. On distingue la mémoire à long terme et la mémoire à court terme. La mémoire à long terme est celle qui permet de retenir et restituer l'information pendant une longue période. L'instruction et l'entraînement sont des moyens efficaces d'accroître les capacités de stockage et de restitution à long terme. La mémoire à court terme permet de retenir et traiter des données pour les activités en cours. Après l'achèvement des activités, les données s'effacent rapidement.

4.4.4 C'est la durée de stockage de l'information qui différencie la mémoire à court et à long terme. La mémoire à court terme permet de retenir et traiter les données pendant une courte durée en présence de changements rapides et continus dans l'information. La mémoire à long terme, portant sur des séquences moins fréquemment renouvelées, est caractérisée par le stockage de longue durée de l'information. La répétition ou la révision permettent de stocker les informations dans la mémoire à long terme.

4.4.5 La mémoire à court terme a une capacité très limitée. Il a été établi d'une façon générale qu'elle peut accueillir à un moment donné une quantité limitée d'informations (sept plus ou moins deux éléments). Les éléments (symboles par exemple) figurant au début et surtout à la fin d'une série seront les mieux retenus. L'aptitude humaine à la discrimination d'informations visuelles est pareillement limitée. Il faut tenir compte de ce fait dans la présentation des informations sur le tableau de bord.

4.4.6 La limitation à sept éléments d'information vaut pour des éléments qui, selon l'expérience de la personne, ne paraissent pas liés. Le terme BASSE PRESSION, par exemple, contient 13 lettres non liées, mais celles-ci constituent en réalité deux groupes ou blocs pour la mémoire à court terme. Les différents éléments de chaque bloc sont combinés en une unité cohérente. Dans tout système où des chaînes d'éléments sont à mémoriser, l'ergonome doit tableer sur le principe d'agglomération, afin d'accroître la mémoire à court terme.

4.4.7 L'attention, comme terme technique, a deux sens différents. L'être humain peut concentrer son esprit sur les faits

En approche venant de l'ouest, nous recevons les consignes du contrôle d'approche «Report visual before joining. Expect clearance to joining downwind left-hand for Runway 31, QFE...»

Nous annonçons le contact visuel et nous sommes invités à appeler la tour. La tour nous donne comme consigne «Join down and left-hand for runway 13, QFE...» L'autre pilote et moi-même, nous notons cette consigne de façon indépendante et la relisons. Vu le message précédent, je me demande s'il faut réinterroger, mais ce contrôle ATC est généralement assez bon; je me dis que j'ai sans doute mal entendu le message précédent.

... Juste à la limite de l'aéroport, nous voyons un avion en approche finale pour la piste 31... La tour nous rappelle d'un ton furieux «You were cleared to join downwind left-hand for 31...»

... Encore une erreur humaine classique qui a toujours existé avec les pistes 13/31 depuis que le contrôle radio existe. Transpositions ou inversions de position sont parmi les types les plus courants d'erreurs de la mémoire à court terme ...

Source: *Feedback* n° 23, février 1991, CHIRP.

qui l'intéressent, en inhibant les faits extérieurs. Il s'agit alors de l'attention sélective, qui permet, par exemple, de mener une conversation au milieu d'une réunion bruyante. C'est, en résumé, la possibilité de se concentrer sur une source d'information environnée de plusieurs autres. L'attention partagée, par contre, est la capacité humaine de s'occuper de plusieurs choses à la fois — par exemple, surveiller le trafic à l'extérieur tout en conversant avec l'ATC.

4.4.8 Il n'y a pas de définition unique du concept de charge de travail mentale. Certains le rattachent au traitement de l'information et à l'attention, d'autres au temps disponible pour l'exécution d'une tâche, et d'autres encore au stress et à l'activation. On peut recueillir des opinions subjectives sur la charge de travail à l'aide d'échelles, de questionnaires ou d'entrevues; ces méthodes sont souvent employées lorsque l'on cherche à définir ou mesurer la charge de travail en situation opérationnelle. Dans notre société, un des effets du progrès technologique est que la charge mentale devient plus importante que la charge physique de travail. Avec les automatismes modernes, le travail des opérateurs est parfois monotone, consistant en une activité physique ou intellectuelle sans variété. Des efforts considérables ont été faits et continueront d'être faits pour établir des méthodes d'évaluation de la charge mentale, l'objectif ultime étant de décrire et prévoir la charge mentale associée à une tâche donnée.

En mai 1978, un Boeing 727 s'écrase dans la baie d'Escambia, au cours d'une approche au radar de surveillance sur l'aéroport régional de Pensacola. L'équipage est blâmé pour la façon non professionnelle dont il a conduit l'approche de non-précision. Cependant, l'ATC est aussi mentionné comme un facteur ayant accéléré le rythme des activités dans le poste de pilotage après le dernier repère d'approche. Le NTSB a établi que l'avion se trouvait sur la trajectoire d'approche finale «... dans une situation où il aurait été impossible que le commandant donne à son avion la configuration spécifiée dans le manuel de vol». Il y a eu aussi de la confusion concernant la nature de l'appui à l'approche aux instruments à Pensacola. Du fait de ces facteurs, l'équipage n'est pas parvenu à sortir le train et à braquer les volets convenablement. De plus, un avertissement ultérieur provenant du système avertisseur de proximité du sol est passé inaperçu; cet avertisseur a été débranché quelques secondes avant l'impact. Le NTSB conclut «... ces faits, qui ont accru la charge de travail du commandant, ont contribué à produire le principal facteur causal de l'accident — l'équipage n'avait pas conscience de l'altitude».

Source: Sommaire ADREP 78/6, OACI.

4.5 MENSURATIONS HUMAINES

4.5.1 Un des principaux objectifs de l'ergonomie est d'adapter les postes et les espaces de travail (et de vie) aux caractéristiques humaines. Certaines des caractéristiques humaines essentielles sont celles qui sont liées à la morphologie et aux mensurations des différentes parties du corps et à leurs mouvements. La Figure 4-5 montre combien il importe de tenir compte des mensurations corporelles lors de la conception des équipements. La disposition des instruments de commande de certains tours couramment utilisés est telle que l'opérateur idéal devrait mesurer 1,40 m et avoir 0,60 m de carrure et 1,20 m de longueur des bras. Il devrait pourtant être plus facile de modifier la machine que les gens appelés à la faire fonctionner! L'anthropométrie s'intéresse aux mensurations corporelles telles que le poids, la stature et la longueur des membres, ainsi qu'à d'autres mesures spécifiques telles que la hauteur des yeux de la personne en position assise et sa distance d'atteinte maximale en position assise, avec ou sans dispositif de retenue (tel qu'un harnais). Cette information permet d'estimer la hauteur optimale pour les plans de travail et la localisation des commandes, la hauteur et la profondeur des aires de rangement, l'espace minimal pour les genoux entre les rangées de sièges, la largeur des sièges, la longueur des accoudoirs, la hauteur de l'appui-tête, les dimensions des radeaux de sauvetage et des coussins des sièges ainsi que les distances d'atteinte. La biomécanique se spécialise dans

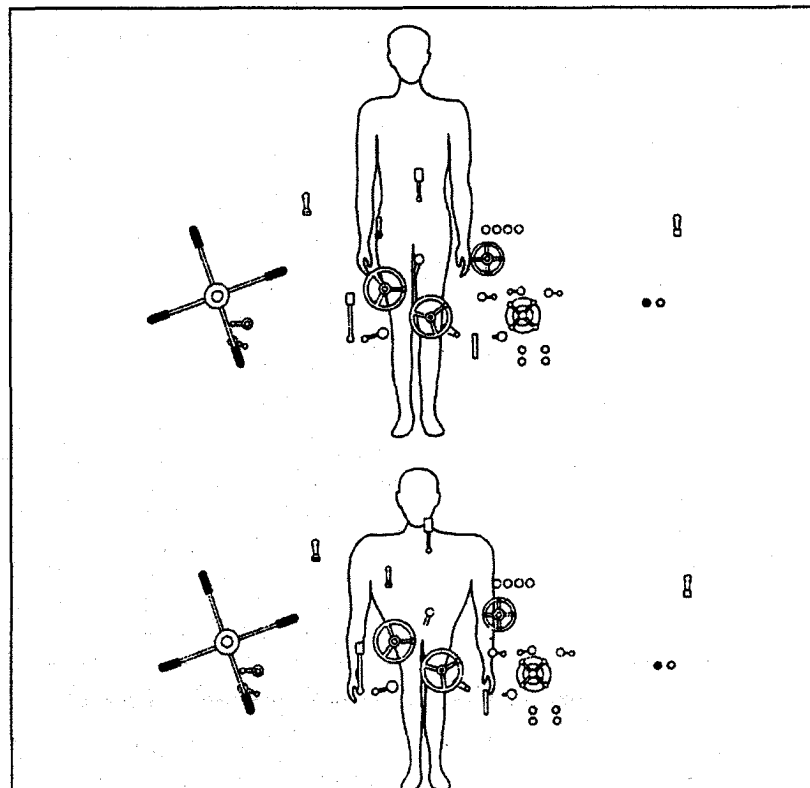


Figure 4-5. Les commandes d'un tour utilisés couramment ne sont pas faciles à atteindre pour une personne «moyenne» (tiré de la revue *Applied Ergonomics*, IPC; 1969; Vol. 1)

l'application de la science de la mécanique à l'étude d'organismes vivants (l'être humain en l'occurrence). Cette discipline étudie des aspects tels que les mouvements des parties du corps et les forces qui peuvent être appliquées. Par exemple, il ne faut pas savoir seulement qu'une certaine force permettra d'actionner une commande, mais où la commande doit être située par rapport au corps et quelle sera la direction du mouvement de commande.

4.5.2 La collecte des données est une étape importante. Il faut recueillir des données provenant d'un échantillon représentatif et suffisamment étendu de personnes qui utiliseront les équipements. En utilisant ces données, il faut tenir compte de la date de collecte, car les mensurations humaines évoluent avec le temps. On sait que les humains sont généralement devenus plus grands qu'il y a une cinquantaine d'années. Un ergonome devra déterminer quand et comment de tels changements deviendront un facteur à prendre en considération dans la conception.

4.5.3 L'ergonome devrait veiller à ce qu'il soit tenu compte, dans la conception, des différences humaines. Il n'y a pas seulement des différences de mensurations corporelles entre groupes ethniques, mais aussi entre hommes et femmes au sein d'un même groupe (la force nécessaire pour actionner une commande, par exemple, pourrait convenir pour un homme mais être excessive pour une femme). En aviation, beaucoup d'éléments d'équipement ont longtemps été fabriqués sur la base des mensurations types d'un homme de type caucasioïde, alors que des Africains, des Asiatiques et d'autres étaient également appelés à les utiliser. L'ergonome doit identifier le groupe d'utilisateurs cible et concevoir les équipements en conséquence. S'il n'est pas possible de retenir une solution unique qui tienne compte de toutes les différences entre utilisateurs, il faut prévoir différents réglages qui s'adapteront à la plupart des utilisateurs — des exemples étant le réglage de la pédale de palonnier et celui des sièges dans le cockpit.

4.6 DISPOSITIFS DE PRÉSENTATION D'INFORMATION, COMMANDES ET AMÉNAGEMENT DU POSTE DE PILOTAGE

4.6.1 Les dispositifs de présentation d'information et les instruments de commande sont au cœur de l'ergonomie. Si nous nous reportons au modèle SHEL, ils appartiennent principalement aux interfaces Humain-Matériel et Humain-Documentation. Dans les affichages, l'information va du Matériel à l'Humain, tandis que les commandes servent à transmettre des instructions dans l'autre sens, de l'Humain au Matériel. Généralement, le processus comporte une circulation de l'information en boucle, et les ergonomes ont pour mission d'optimiser le flux dans cette boucle. Dans les paragraphes qui suivent, il sera question des dispositifs de présentation d'information, des commandes, ainsi que de leur intégration dans le milieu de travail que constitue le poste de pilotage.

4.6.2 Les questions liées à l'automatisation ne seront pas abordées dans ce chapitre. Cet aspect important et actuel

de la conception du poste de pilotage est traité dans la 2^e Partie, Chapitre 3.

Dispositifs de présentation d'information

4.6.3 La fonction d'un dispositif de présentation d'information est de communiquer des informations (sur la situation du vol, par exemple), rapidement et exactement, de leur source à l'opérateur. Dans la conception de ces dispositifs, il faut tenir compte des possibilités et des limites humaines de traitement de l'information, dont il a été question ci-avant. Il faut présenter en temps utile à l'opérateur des informations appropriées, précises et suffisantes, en fonction des exigences de ses tâches. Il serait nuisible à l'exécution des tâches de présenter plus d'informations qu'il n'en faut, surtout lorsque l'opérateur est surchargé, fatigué ou stressé.

4.6.4 Les dispositifs visuels peuvent être *dynamiques* (p. ex. altimètres, indicateurs d'assiette) ou *statiques* (p. ex. panneaux, signalisation, cartes). Ils peuvent présenter des informations quantitatives (p. ex. altitude et cap) ou qualitative (p. ex. situation du train d'atterrissage). Ils peuvent donner l'alarme (p. ex. MOTEUR EN FEU) ou mettre en garde (p. ex. voyant lumineux ou indicateur de pression d'huile).

4.6.5 Les dispositifs peuvent aussi être *tactiles/kinesthésiques* (tactile signifiant lié au toucher, kinesthésique signifiant lié à la perception du mouvement) ou *audibles*. De tels dispositifs peuvent être employés surtout pour communiquer des informations à l'opérateur humain lorsque le système visuel est très chargé (ou qu'il est à prévoir qu'il va l'être). La transmission d'informations tactiles/kinesthésiques est utile également lorsque les conditions visuelles sont dégradées. (Un bon exemple est l'emploi du vibreur de manche pour un avertissement de décrochage). Le canal auditif convient particulièrement bien aux alarmes. C'est pourquoi il existe une tendance à beaucoup employer les dispositifs audibles dans le poste de pilotage, parfois sans discrimination. On sait que l'emploi non judicieux d'alarmes audibles dans le cockpit peut être gênant, créer de la confusion et nuire à l'exécution des tâches. On ne pourrait trop souligner combien il importe de tenir compte, dans la conception de ces dispositifs, des considérations appropriées relatives aux facteurs humains.

4.6.6 Pour concevoir et localiser convenablement un dispositif de présentation d'information, il faut résoudre correctement certaines questions fondamentales. La conception et la localisation de ces dispositifs peuvent avoir une grande influence sur l'efficacité du dialogue homme-machine. Voici quelques exemples d'aspects à prendre en considération:

- Comment, par qui et dans quelles circonstances le dispositif sera-t-il utilisé?
- Les dispositifs audibles sont généralement omnidirectionnels, tandis que les dispositifs visuels ne le sont pas. Faut-il que le dispositif soit visible par plusieurs personnes?

Depuis 1959, toute une série de cas de mauvaise lecture de l'altimètre à tambour et aiguille se sont produits, lors des études et dans la vie réelle. Cet instrument est particulièrement sujet aux erreurs de lecture de milliers de pieds, surtout lorsque l'indication est voisine du zéro. D'après les résultats d'une étude de la NASA, le problème est dû au fait que l'être humain ne peut pas lire efficacement à la fois le tambour et l'indication de l'aiguille. Cette étude montre aussi que la fenêtre d'altitude est lue très peu souvent sur cet altimètre. Il faut presque deux fois plus de temps pour lire la fenêtre que pour lire du texte. On pense qu'au moins dans les accidents suivants, cet instrument a été mal déchiffré et a été un des facteurs contributifs:

- a. B727 American Airlines, Constance (Kentucky, États-Unis), novembre 1965;
- b. DC9 Northeast Airlines, Martha's Vineyard (Massachusetts, États-Unis), juin 1971;
- c. DC9 Eastern Airlines, Charlotte (Caroline du Nord, États-Unis), septembre 1974;
- d. B727 National Airlines, Pensacola (Floride, États-Unis), mai 1978;
- e. DC9 Alitalia, Palerme (Italie), décembre 1978;
- f. B727 Iberia, Bilbao (Espagne), février 1985.

Source: «The Killer Instrument — The Drum Pointer Altimeter» (1990). Harold F. Marthinsen, Directeur, Département enquêtes sur les accidents, US ALPA.

- Comment l'efficacité d'un dispositif visuel sera-t-elle influencée par l'éclairage ambiant?
- Convient-il de présenter l'information sous forme analogique ou numérique? Les affichages numériques donnent plus de précision pour l'enregistrement ou la surveillance des systèmes (p. ex. instruments moteurs), tandis que les instruments analogiques sont préférables si les valeurs numériques changent rapidement ou fréquemment (p. ex. altimètres et variomètres).
- Sous quel angle sera-t-il regardé?
- Y aura-t-il des effets de parallaxe?
- Quelle sera la distance de vision? Faut-il agrandir les caractères et les symboles pour permettre la lecture à distance?
- Si des dispositifs sont dans le mode attente ou inactif, cela devrait être clairement signalé. Toute ambiguïté peut accroître la charge mentale et entraîner des erreurs.
- Si des renseignements sont suspects, il ne faut pas qu'ils continuent d'être présentés à l'opérateur.
- Dans les affichages, il faut tenir compte de facteurs tels que la luminance, la couleur, le contraste et l'effet de papillotement.

4.6.7 Les affichages alphanumériques (en lettres et en chiffres) ont fait l'objet de beaucoup de recherches. Les dispositifs mécaniques, électromécaniques et électroniques posent divers problèmes ergonomiques qui méritent de retenir l'attention. Il faut que l'information présentée soit perceptible, qu'il soit facile de différencier ou d'identifier les caractères. Il faut aussi qu'elle soit lisible, ce qui veut dire que les mots ou les groupes de lettres et de chiffres doivent être compréhensibles globalement. La lisibilité est généralement fonction de facteurs tels que le style de caractères, leur aspect (p. ex. capitales ou italiques), la taille, le contraste et l'espacement.

4.6.8 Les indications et la forme des cadrans sont deux autres aspects que l'ergonome étudie. La Figure 4-6 donne des exemples des principaux types d'instruments utilisés pour la présentation de renseignements quantitatifs. La graduation des échelles devrait être fixe et régulière et être établie en unités entières. L'indication de multiples de 10 ou de 5 est bonne, celle de multiples de 2 est acceptable. L'emploi du point décimal (en anglais) est à éviter; si on l'emploie, ne pas indiquer le zéro qui le précède. Des lectures complètes devraient être préférées aux versions tronquées (p. ex. 15 pour 150). La conception du repère est à étudier avec soin lorsque l'instrument comporte aussi une lecture numérique qu'une aiguille pourrait masquer. La pointe de l'aiguille devrait toucher le bord de l'échelle de graduation, sans le chevaucher. La distance entre l'aiguille et la surface de l'échelle peut produire un effet de parallaxe, qu'il faut éliminer ou réduire au minimum. Ce problème ne se posera pas si l'échelle est présentée sur un affichage électronique. En général, la taille des indications affichées (p. ex. échelles et icônes) doit être directement liée à la distance de vision (c'est-à-dire que la taille doit être d'autant plus grande que l'échelle ou l'icône sera vue de plus loin). Il faut tenir compte aussi, dans la conception, de facteurs de correction tels que l'éclairage, les vibrations et les angles de vision non optimaux.

Peu après avoir décollé le soir de Bombay, arrivé à une altitude d'un peu moins de 1500 ft, un Boeing 747 ayant à son bord 210 personnes s'incline à 14 degrés sur la droite. Au cours des 13 secondes qui suivent, il revient progressivement à la position ailes horizontales, puis continue à s'incliner latéralement jusqu'à 9 degrés sur la gauche. À ce point, les ailerons sont brusquement braqués à gauche; la tendance s'inverse momentanément puis l'avion s'incline très fortement sur la gauche. Le pilote maintient fermement la gouverne de direction et les ailerons à gauche jusqu'à l'impact avec la mer, qui se produit 30 secondes plus tard, à plus de 300 noeuds, l'avion étant incliné latéralement à 108 degrés. La présentation à l'équipage d'informations inexactes, à cause d'un dysfonctionnement du directeur de vol (inversion d'horizon artificiel) a contribué à l'accident.

Source: Sommaire ADREP 78/5, OACI.

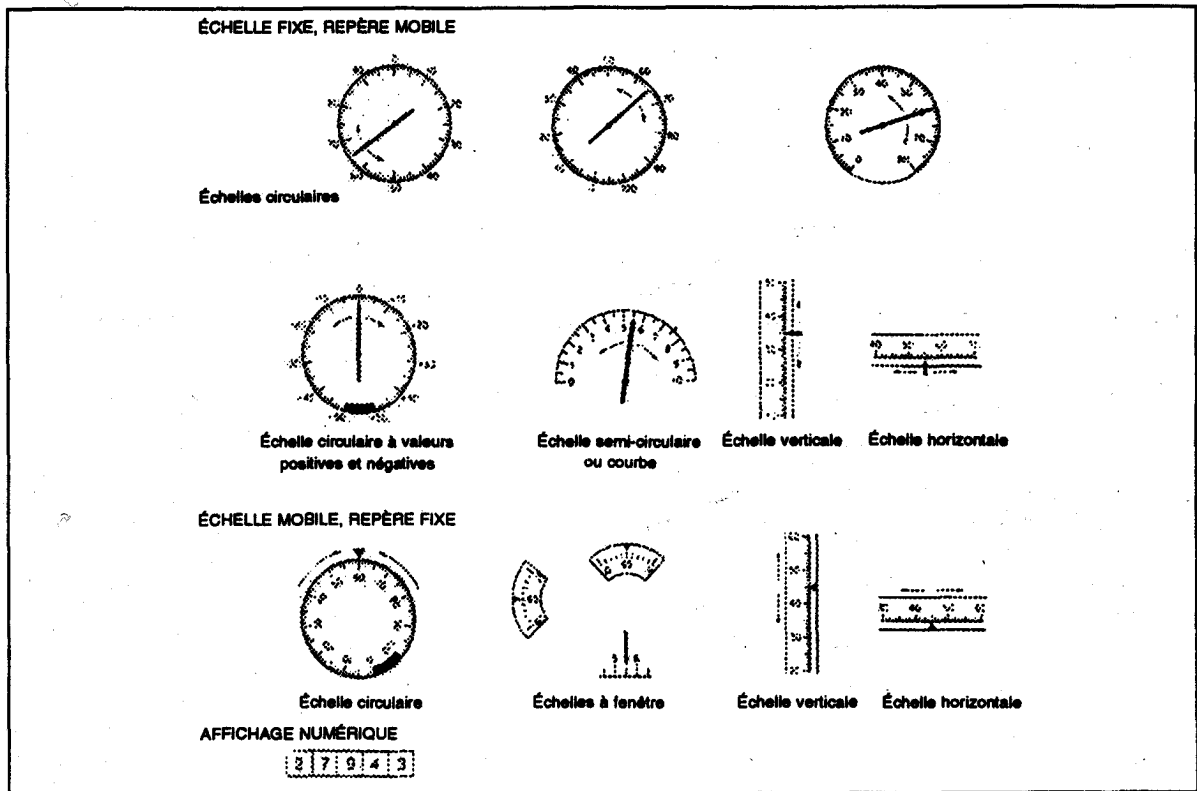


Figure 4-6. Exemples de dispositifs employés pour présenter une information quantitative (d'après McCormich, *et al.*, 1983)

4.6.9 L'introduction d'affichages électroniques (écrans cathodiques par exemple) permet de surmonter beaucoup des anciennes contraintes des instruments électromécaniques; la possibilité d'intégrer ces affichages donne plus de souplesse et permet d'utiliser plus efficacement l'espace disponible. Les affichages électroniques ont généralement trois applications dans le cockpit: instruments de vol, informations relatives aux systèmes (p. ex. données sur les moteurs et sur d'autres systèmes, notamment les dispositifs d'alarme) et systèmes de gestion de vol (FMS). Ces affichages relèvent de l'ergonomie à plusieurs égards: luminance et contraste de luminance; emploi de couleurs pour différents éléments d'information; effet de fatigue de périodes prolongées de surveillance des écrans cathodiques; symboles employés; informations à présenter sur l'écran, et à quel endroit; il y a aussi le fait que — pour des raisons qui ne sont pas encore bien claires — la lecture d'un texte sur écran est plus lente que sur papier imprimé. Par ailleurs, d'une manière générale, les affichages électroniques ont de multiples possibilités et sont économiques; ils donnent à l'utilisateur un assez bon contrôle de certaines propriétés importantes telles que la luminance et le contraste de luminance.

4.6.10 De nombreux exploitants ont introduit des affichages tête haute comme outil supplémentaire pour permettre les vols par faibles minimums météorologiques. Les symboles employés dans ces dispositifs doivent être les mêmes que sur les écrans.

Dispositifs d'alarme, d'avertissement et d'avis (ACW)

4.6.11 Les dispositifs d'alarme appellent l'attention de l'équipage de conduite sur une situation qui exige son intervention immédiate pour maintenir la sécurité du système; leur code de couleur est normalement le ROUGE. Les dispositifs avertisseurs signalent une situation qui risque de devenir une urgence si on la laisse persister ou se dégrader. L'attention qu'ils demandent ne doit généralement pas être immédiate; leur code de couleur est AMBRE. Les dispositifs d'avis sont généralement destinés à informer seulement; ils peuvent demander ou non une intervention de l'équipage. Leur code de couleur peut être BLEU, BLANC ou VERT. Trois principes de base s'appliquent à la conception de ces dispositifs:

- ils devraient **alerter** l'équipage et appeler son attention;
- ils devraient **l'informer** de la nature de la situation;
- ils devraient, de préférence, **donner des avis** concernant les mesures à prendre.

4.6.12 À propos de ce dernier point, plusieurs facteurs sont à prendre en considération. Combien d'avions ont été accidentés parce que l'équipage n'avait pas coupé le moteur qu'il fallait après une panne de moteur! Parmi les aspects à considérer dans la conception de ces divers dispositifs, la fiabilité du système vient en premier lieu; en effet, on perdrait

confiance dans un dispositif qui multiplierait les alarmes intempestives. En second lieu, l'apparition trop fréquente d'un signal réduit la réaction à ce signal et devient une nuisance. En troisième lieu, les dispositifs audibles multi-alarmes (c'est-à-dire l'emploi d'un même son pour alerter dans différentes situations) demandent une étude spéciale. Ils sont efficaces pour appeler l'attention, mais risquent d'occasionner des erreurs ou des retards dans l'intervention corrective. Des messages vocaux peuvent être ajoutés pour améliorer l'identification et l'interprétation.

4.6.13 Les dispositifs d'alarme, d'avertissement et d'avis employés dans le poste de pilotage peuvent être groupés en quatre grandes catégories:

- ceux qui informent sur les performances ou sur des écarts par rapport à l'enveloppe d'exploitation ou aux profils de vol sûrs (p. ex. décrochage, excès de vitesse ou proximité du sol), généralement de façon très urgente;
- ceux qui informent sur la configuration de l'avion (p. ex. position du train d'atterrissage et des volets);
- ceux qui informent sur la situation de circuits de bord, notamment les bandes limites et les voyants sur les instruments;
- ceux qui se rapportent aux communications (p. ex. SELCAL et interphone).

En décembre 1974, un Boeing 727 s'écrase 12 minutes après son départ de l'aéroport JFK. Les valeurs enregistrées pour la vitesse et l'altitude par l'enregistreur de données de vol sont conformes à la performance de montée prévue jusqu'à ce que l'avion parvienne à 16 000 ft; à cette altitude, du givrage se produit. La vitesse au moment du déclenchement du vibreur de manche est estimée à 165 kt, alors que l'enregistreur de vol enregistre 412 kt. L'assiette longitudinale aurait été 30 degrés en cabré.

L'équipage n'a pas actionné les réchauffeurs pitot et les têtes de pitot ont été bloquées par le givrage, ce qui a produit de fausses alarmes vitesse et Mach. L'équipage, interprétant à tort les avertissements de décrochage comme un buffeting de Mach, a redressé l'avion en cabré, ce qui a entraîné le décrochage et la chute en vrille.

Source: AAR 75-13, NTSB.

4.6.14 Un important principe doit être rappelé: en cas de dysfonctionnement, il ne faut en aucun cas que des renseignements non fiables soient présentés à l'utilisateur d'un affichage. La défaillance devrait être annoncée sur l'affichage lui-même, plutôt que sur un indicateur. Si des renseignements non fiables sont présentés, ils seront très vraisemblablement utilisés tôt ou tard.

Les commandes

4.6.15 Les instruments de commande sont pour l'opérateur humain des moyens de transmettre des messages ou des instructions à la machine. Le message est à transmettre avec une précision et dans un délai qui sont spécifiés. Différents types de commandes accomplissent différentes fonctions. On peut les employer pour transmettre des informations ponctuelles (p. ex. sélection d'un code de transpondeur) ou continues (p. ex. sélection de la température de la cabine). Il peut s'agir d'envoyer un signal de commande à un système (p. ex. manette becs et volets) ou de contrôler directement un affichage (p. ex. calage altimétrique). Comme dans le cas des dispositifs de présentation d'information, le concepteur doit prendre en compte les caractéristiques de la population d'utilisateurs.

4.6.16 Les exigences fonctionnelles, ainsi que la force de manipulation nécessaire, déterminent les types de commandes à adopter et leur conception. La liste de vérification que voici, donnée à titre d'exemple, peut aider à choisir les instruments de commande sur la base de leurs fonctions.

<i>Fonction/force nécessaire</i>	<i>Type de commande</i>
Fonctions ponctuelles et/ou faible force	boutons-poussoirs, commutateurs à bascule et commutateurs tournants
Fonction continue et/ou faible force	commutateurs tournants, manettes, petits leviers ou petites manivelles
Force importante	volants et grands leviers de commande, grandes manivelles et pédales

En décembre 1972, un Lockheed L-1011 s'écrase dans les marécages des Everglades, près de Miami. Tandis que l'équipage cherche à remplacer une ampoule défaillante de l'indicateur de train avant, le pilote automatique est déconnecté par inadvertance et l'avion plonge dans les marécages. Le voyant de train avant n'était pas pourvu d'un diviseur d'ombre entre les deux ampoules comme dans les modèles courants. Avec le diviseur d'ombre, les pilotes s'aperçoivent qu'une moitié du voyant est noire lorsqu'une première ampoule est défaillante. En étant allumée, la seconde ampoule confirme à l'équipage que le train est bien verrouillé. L'avion en question a probablement effectué plusieurs vols sans que la défaillance d'une ampoule sur l'indicateur de train avant soit décelée. La défaillance de la seconde ampoule à l'approche de Miami a produit le cas hautement improbable de défaillance simultanée des deux ampoules. L'absence de diviseur d'ombre a donc été un des facteurs ayant contribué à l'enchaînement d'événements qui a abouti à l'accident.

Source: Sommaire ADREP 72/557, OACI.

«... en croisière, le copilote a actionné le robinet BP au lieu des pompes à carburant voisines pendant l'équilibrage du carburant. Le moteur n° 1 s'est éteint — il s'est rallumé instantanément ...»

Source: *Feedback* n° 1, mars 1983.

«... en roulant au sol pour sortir du stationnement, nous avons atteint le point "sélection des volets" dans la liste de vérification. Le commandant ayant confirmé les volets pour le décollage, j'ai baissé la main gauche et saisi la manette, que j'ai abaissée. Comme elle m'a donné dans sa course une sensation d'absence remarquable de résistance, j'ai baissé les yeux et me suis rendu compte que j'avais en réalité fermé le robinet HP n° 2, arrêtant le moteur tribord. Le haut de la manette des volets et le robinet HP sont situés juste à côté l'un de l'autre ...»

Source: *Feedback* n° 2, juillet 1983.

«... certains lecteurs se souviendront que nous avons publié plusieurs comptes rendus d'incidents dans lesquels des pilotes avaient par inadvertance fermé les robinets carburant sur des BAC 1-11. BAe a pris ces comptes rendus très au sérieux; une «British Aerospace Policy Letter» a été diffusée dans le monde entier pour avertir tous les exploitants du problème potentiel. Peut-être n'est-ce pas le remède - mais c'est assurément un pas dans la bonne direction.»

Source: *Feedback* n° 3, décembre 1983.

4.6.17 Un autre aspect concernant les instruments de commande qui est essentiel du point de vue ergonomique est leur localisation dans l'aire de travail. Il faut savoir toutefois qu'un emplacement qui serait optimal pour un affichage ne le sera peut-être pas pour une commande qu'il s'agit d'atteindre.

4.6.18 D'autres considérations encore interviennent dans la conception, notamment le rapport commande-affichage, c'est-à-dire le rapport, en termes quantitatifs, entre l'importance du changement qui intervient dans l'affichage en réponse à une action de commande et celle du changement effectué sur la commande par l'opérateur, ainsi que le sens du déplacement de l'élément indicateur (aiguille par exemple) par rapport au sens du déplacement de la commande. Comme le montre la Figure 4-7, la rotation d'un bouton situé du côté droit d'un affichage longitudinal devrait se faire dans le sens des aiguilles d'une montre pour déplacer vers le haut la flèche indicatrice. La résistance de la commande influe sur la vitesse et la précision de l'action de commande, la sensation de commande, la continuité du mouvement de commande et la susceptibilité de la commande à un actionnement par inadvertance. Le codage de la commande (p. ex. forme, dimensionnement, couleur, marquage, emplacement) vise à améliorer l'identification ainsi qu'à réduire les erreurs et le temps nécessaire à la sélection (voir Figure 4-8). Enfin, il faut protéger les commandes contre le déclenchement involontaire, par des moyens tels que la protection, le verrouillage ou l'interverrouillage (p. ex. interconnexion des commandes pour que les manettes d'inversion de poussée ne puissent pas être actionnées avant que les manettes de poussée soient inactivées). Dans certains cas, une manoeuvre incompatible avec les conditions existantes peut déclencher une alarme visuelle ou sonore (par exemple, l'action de fermer les

manettes de poussée alors que le train est rentré déclencherait une alarme sonore).

Dans une certaine famille de biréacteurs, la commande de coupe-feu moteur est une commande puissante au moyen de laquelle on peut d'un seul geste couper l'allumage, le carburant, l'alimentation en liquide hydraulique et la gaine pneumatique menant au réacteur en cause. Conscients des conséquences que peut entraîner son déclenchement intempestif, les concepteurs ont été très loin pour abaisser la probabilité de cette erreur. Ils ont donné à cette commande une forme particulière, lui ont conféré une sensation particulière de résistance rencontrée et l'ont située bien en évidence. Pour l'actionner, il faut un long mouvement de traction, différent du mouvement à faire pour actionner toute autre commande du tableau de bord. Un voyant sur la poignée indique quel réacteur est en feu. Enfin, la poignée est verrouillée dans la position normale à moins qu'un incendie de moteur ne soit détecté (bien qu'il y ait aussi un interrupteur prioritaire manuel). La commande est située de telle façon qu'il faut un geste distinct supplémentaire de l'opérateur pour la libérer. Ce système a bien fonctionné pour la gestion d'incendies de moteur depuis son introduction, il y a 25 ans.

Source: «Error Tolerant Avionics and Displays», Delmar M. Fadden. Human Error Avoidance Techniques: Proceedings of the Second Conference. SAE P-229.

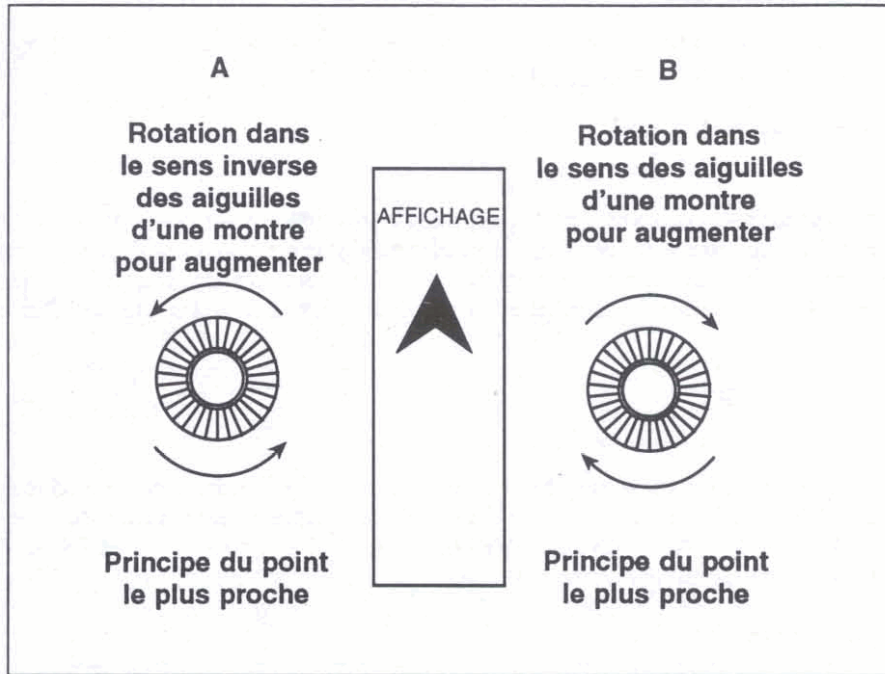


Figure 4-7. Deux stéréotypes de populations associés à cette relation entre une commande et un dispositif de présentation d'information

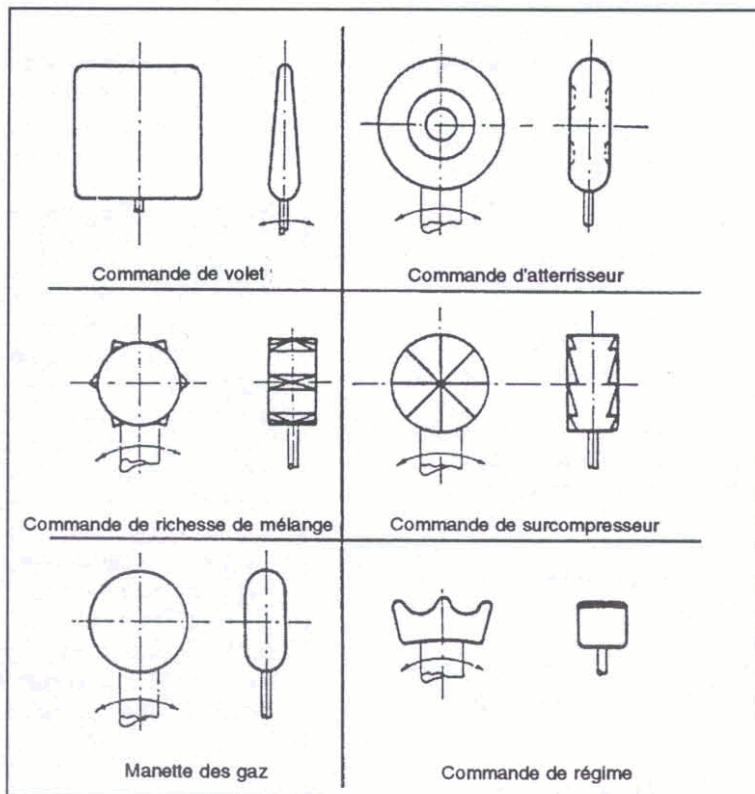


Figure 4-8. Spécifications de la FAA pour commandes utilisées dans le poste de pilotage (d'après 14CFR, Chap. 1, Section 25.781)

4.6.19 L'utilisation de claviers dans le poste de pilotage s'est développée au fil des ans, avec l'avènement de l'informatique et de l'avionique moderne. Un dactylographe expérimenté peut faire une faute non corrigée sur 2 000 à 4 000 frappes, mais les membres d'équipage qui travaillent dans le cockpit sont généralement considérés comme des dactylographes non qualifiés. De plus, ils emploient parfois le clavier dans des conditions ambiantes défavorables (p. ex. mauvais éclairage ou turbulences). Pour les applications à bord, la précision et la détection des erreurs sont bien plus importantes que la vitesse de saisie. Dans la conception des claviers, il faudra porter attention à la taille des touches et à leur espacement, pour éviter qu'elles ne soient enfoncées par inadvertance, et prévoir des repose-mains pour amortir les vibrations. Le clavier classique est désigné par les six premières lettres de la rangée supérieure (p. ex. AZERTY en français, QWERTY en anglais). Le clavier DVORAK (ainsi désigné d'après le nom de son inventeur, August Dvorak) est différent (voir Figure 4-9). Ces diverses configurations ne conviennent généralement pas pour les applications à bord, où l'espace est restreint et où il faut se servir d'une seule main. La Figure 4-10 représente un clavier qui a été adopté pour de nombreux systèmes de navigation de bord.

En juillet 1987, un Lockheed L-1011 frôle à moins de 100 ft un Boeing 747 au-dessus de l'Atlantique Nord. Il est établi par la suite que l'incident est dû à une erreur de saisie des données de l'équipage du L-1011. Celui-ci prétend avoir respecté les procédures établies en la matière, en veillant à ce que les données introduites par un membre d'équipage soient vérifiées par un autre; l'erreur de saisie s'est néanmoins produite. Par la suite, l'équipage n'a pas suivi les procédures établies de contre-vérification, ce qui a permis que l'erreur passe inaperçue jusqu'à ce que survienne la quasi-collision.

Source: Sommaire ADREP 87/331, OACI.

4.6.20 Pendant des années, on a considéré le poste de pilotage comme un espace commun où convergent de nombreux circuits autrement non reliés entre eux, tels que les circuits hydrauliques, électriques, pneumatiques et de pressurisation. Chaque circuit était conçu par un groupe différent de spécialistes; les commandes et les dispositifs de présentation de l'information s'y rapportant dépendaient en grande partie de ses spécifications fonctionnelles. L'équipage de conduite se trouvait face à une série d'affichages, de boutons, de commutateurs et d'autres instruments de commande de différentes tailles, formes et marques, généralement choisis dans les catalogues de différents fabricants. Le concepteur avait pour tâche principale de veiller à ce que tous les éléments d'équipement soient installés dans l'espace prévu. Cette méthode de conception ne permettait généralement pas de porter toute l'attention voulue à la façon de permettre à l'équipage d'accomplir ses tâches le plus efficacement possible.

4.6.21 Ces dernières années, la conjugaison des efforts de différents groupes de l'aéronautique civile et militaire, avec la participation d'avionneurs, de compagnies aériennes, de pilotes et d'administrations, a conduit à l'élaboration du concept de conception du système axée sur l'équipage. Ce concept insiste sur l'intégration fonctionnelle de tous les éléments du système, en tenant compte des besoins de l'équipage (pour les commandes et les affichages, par exemple). Les facteurs intégrés dans une approche systémique de la conception comprennent aussi la géométrie du poste de pilotage, son aménagement (p. ex. sièges, fenêtres, écran anti-éblouissement), les variables du milieu ambiant (p. ex. bruit, vibrations, lumière, température, conditions météorologiques) et les divers accessoires (p. ex. porte-gobelet, aménagements pour repas, repose-pieds, casiers à bagages). Ils comprennent aussi les caractéristiques des personnes qui utiliseront les divers éléments du système et assureront leur entretien.

4.6.22 Cette approche systémique de la conception du poste de pilotage est rendue possible par l'activité dite «ingénierie des systèmes», dont l'objet est d'établir des relations entre les éléments des systèmes, d'évaluer les effets que les divers éléments ont l'un sur l'autre et, finalement, d'intégrer tous les éléments en une entité effectivement fonctionnelle. Les opérateurs humains, le personnel de maintenance et les formateurs sont regardés comme des éléments du système. Le produit final est considéré comme un système complexe homme-machine. Selon cette approche, le poste de pilotage est donc regardé comme un système, avec les composantes des éléments Humain, Matériel, Documentation et Environnement.

4.6.23 Pour parvenir à une conception fonctionnelle, les méthodes modernes de l'ingénierie des systèmes intègrent les apports de l'ergonomie, qui eux-mêmes traitent le poste de pilotage comme un poste de travail et prennent en compte les possibilités des usagers et leurs limites. Les ergonomes cherchent à connaître et à résoudre les problèmes potentiels de facteurs humains à un stade précoce de la conception, avant la production de tout élément d'équipement.

4.6.24 L'approche ergonomique part d'une évaluation des exigences des tâches et des caractéristiques des usagers qui influenceront sur les décisions de conception, telles que celles qui spécifient l'agencement et la composition du poste de pilotage. De plus, le concepteur doit tenir compte des contraintes qui peuvent limiter les options. Il s'agit notamment des caractéristiques aérodynamiques de l'avion, liées à la coupe du fuselage et à la forme du nez. Ainsi, le poste de pilotage du Concorde, d'une largeur de 148 cm dictée par les exigences de l'aérodynamique, représente un milieu de travail plutôt exigu comparé à celui du Boeing 747, large de 191 cm.

4.6.25 La nécessité de visibilité vers le bas pendant l'approche contribue à déterminer le design du pare-brise et l'emplacement de la position de référence des yeux (voir Figure 4-11). Ce point de référence important aide à déterminer l'emplacement d'éléments d'équipement tels que les écrans.

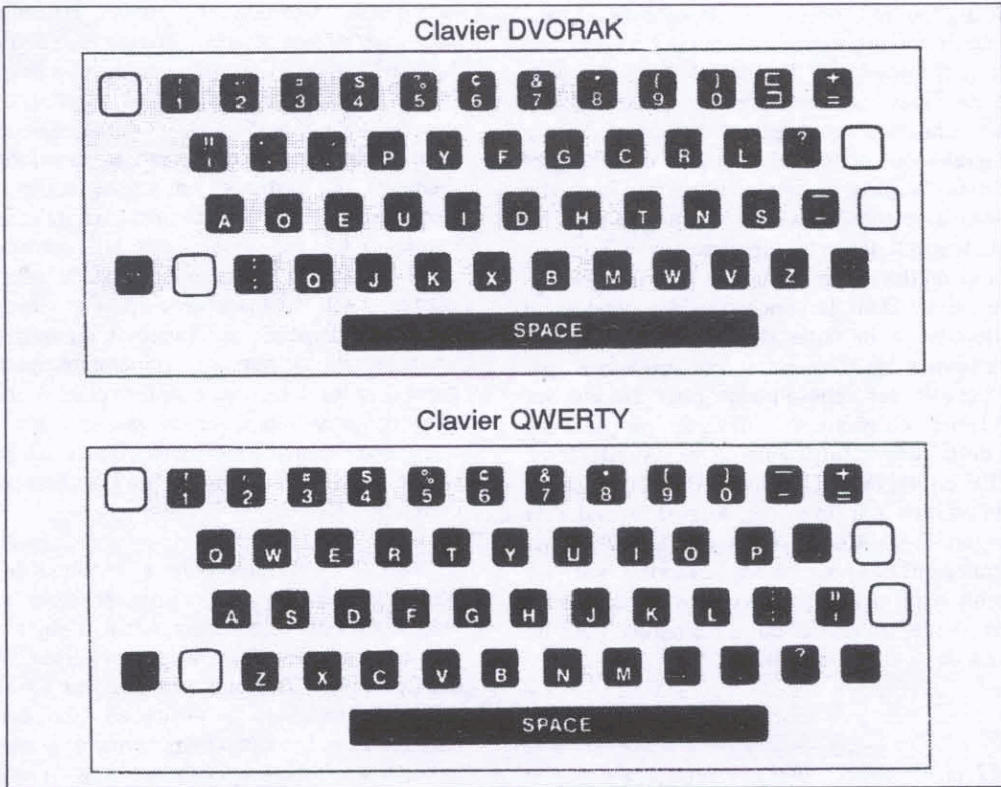


Figure 4-9. Le clavier QWERTY classique et la version DVORAK, plus efficace

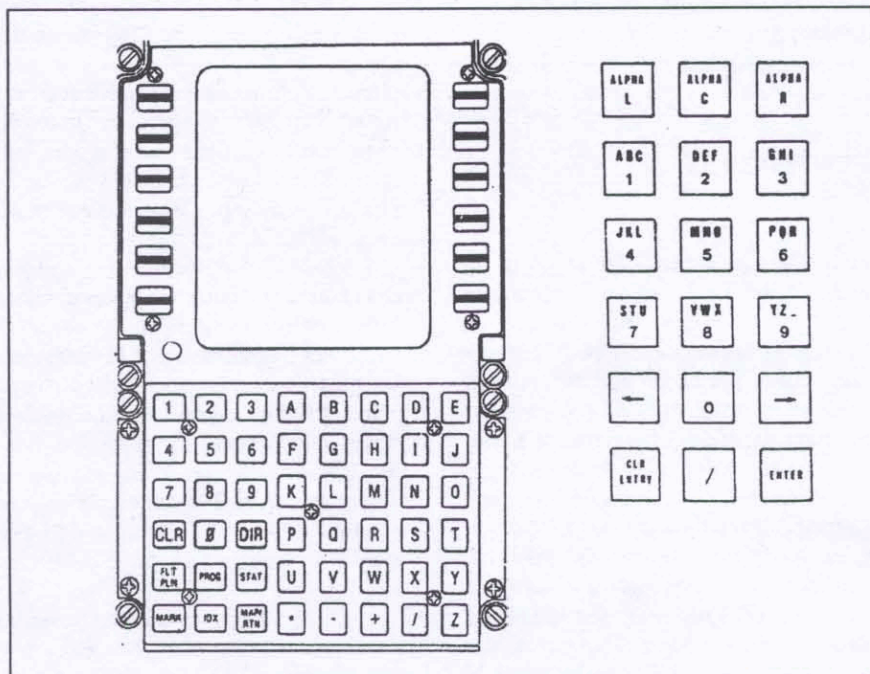


Figure 4-10. Exemple de clavier employé pour un système de gestion de vol ou de navigation (à gauche) et agencement proposé (d'après Human Factors, L.C. Butterbaugh et T.H. Rockwell, 1982)

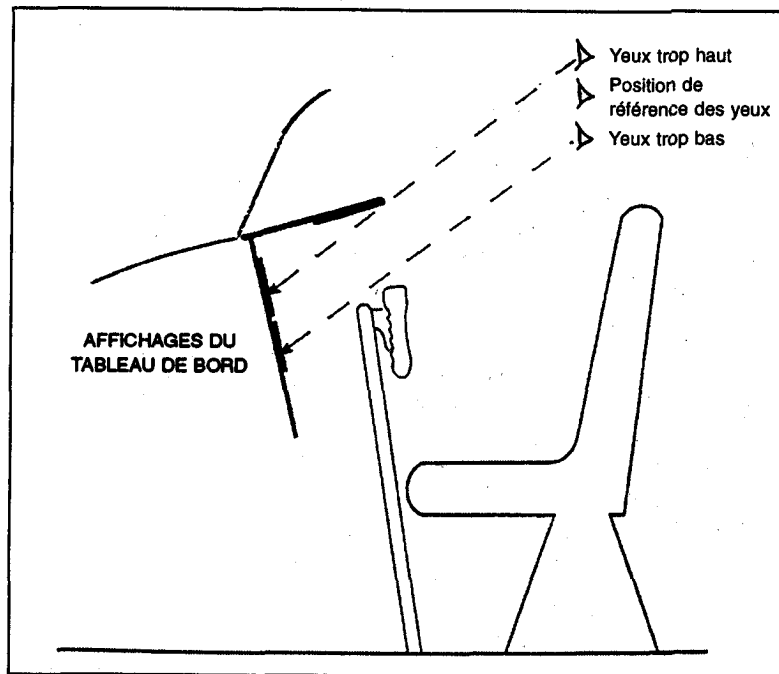


Figure 4-11. Position de référence des yeux
(d'après *Human Factors in Flight*, F.H. Hawkins, 1987)

4.6.26 La distance entre les sièges des pilotes est un facteur à considérer lorsqu'une double surveillance est nécessaire ou lorsque certains affichages ou certaines commandes sont utilisés par les deux pilotes. Si les sièges des pilotes sont difficiles d'accès, on pourrait décider de les déplacer légèrement vers l'extérieur; il faudra cependant veiller à ce que ce désalignement du pilote et des commandes soit sans danger en vol.

4.6.27 La distance de vision des écrans est un autre aspect important, que dicte la géométrie du poste de pilotage. Pour les gros-porteurs, les distances types des yeux du pilote sont de 71-78 cm pour le tableau principal, 20 cm pour le tableau de plafond et 2 m pour le tableau latéral des circuits (voir Figure 4-12). La taille des détails (p. ex. caractères alphanumériques) est déterminée par l'emplacement des affichages et leur distance par rapport aux yeux de ceux qui les utiliseront. Les questions de distance de vision s'appliquent en particulier aux porteurs de lunettes. Elles sont également pertinentes dans le poste de pilotage à écrans cathodiques.

4.6.28 Le panneau des instruments de vol a toujours reçu beaucoup d'attention de la part des concepteurs. L'agencement de base en «T» qui existe aujourd'hui dans la plupart des avions résulte de la nécessité d'assurer un balayage rapide et précis de quatre paramètres de base — vitesse, assiette, altitude et cap —, avec priorité à l'assiette (voir Figure 4-13). Les tableaux de bord qui affichent des informations quantitatives (p. ex. tableau des instruments moteurs) sont disposés comme un bloc ou un comptoir d'instruments.

En janvier 1989, un Boeing 737-400 s'écrase peu avant le seuil de piste sur l'aéroport d'East Midlands, près de Kegworth, Leicestershire (Royaume-Uni). Pendant la montée au niveau de croisière, il s'est produit dans le réacteur n° 1 une série de calages du compresseur qui provenaient d'une défaillance structurelle, entraînant un tremblement de la cellule, de la fumée et une odeur de brûlé dans le poste de pilotage ainsi que des fluctuations des paramètres du réacteur n° 1. Pensant que le réacteur n° 2 était endommagé, l'équipage coupe les gaz sur ce réacteur. Le tremblement provenant du battement du réacteur n° 1 cesse lorsque l'équipage coupe les gaz sur le réacteur n° 2. Convaincu d'avoir fait ce qu'il fallait faire, l'équipage éteint alors le réacteur n° 2 et dérouté l'avion pour atterrir. À 2,4 milles de la piste, il se produit une brusque réduction de puissance et une alarme incendie provenant du réacteur n° 1, puis l'avion s'écrase.

Source: Sommaire ADREP 89/1, OACI.

Dans son rapport, l'AAIB britannique recommande d'évaluer la présentation des informations sur les nouveaux instruments et l'efficacité avec laquelle ceux-ci les transmettent à l'équipage de conduite. Il recommande aussi que l'on modifie le tableau des instruments de contrôle moteurs pour y introduire un mécanisme destiné à appeler l'attention, qui alertera l'équipage en cas d'anomalie. La Figure 4-14 montre le réagencement proposé.

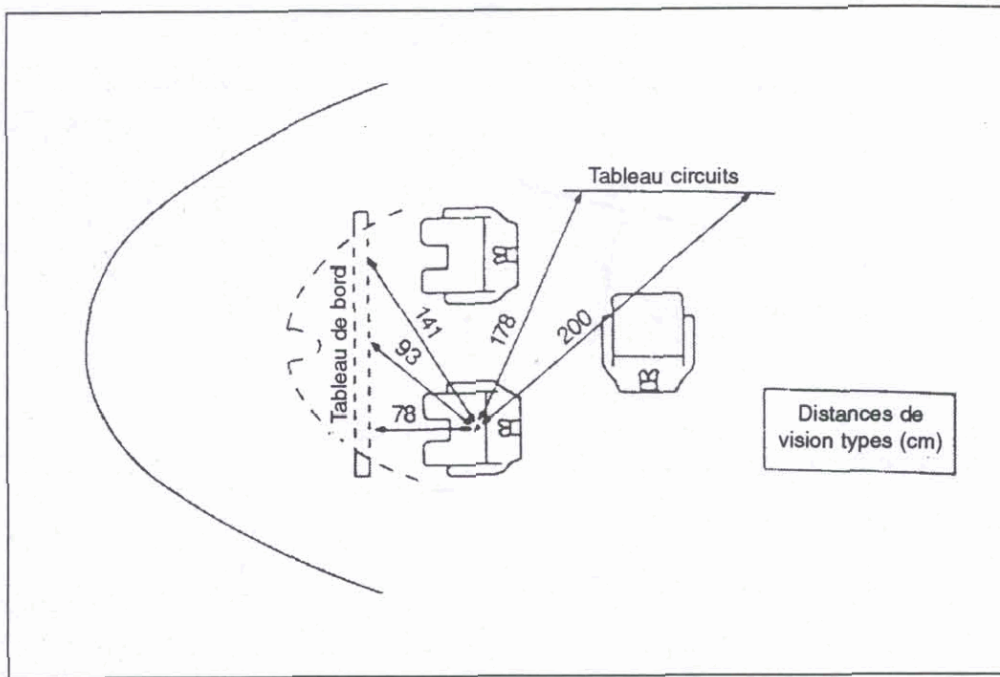


Figure 4-12. Distances de vision types, de la position de référence des yeux du pilote à différents tableaux situés dans le cockpit d'un gros-porteur (d'après *Human Factors in Flight*, F.H. Hawkins, 1987)

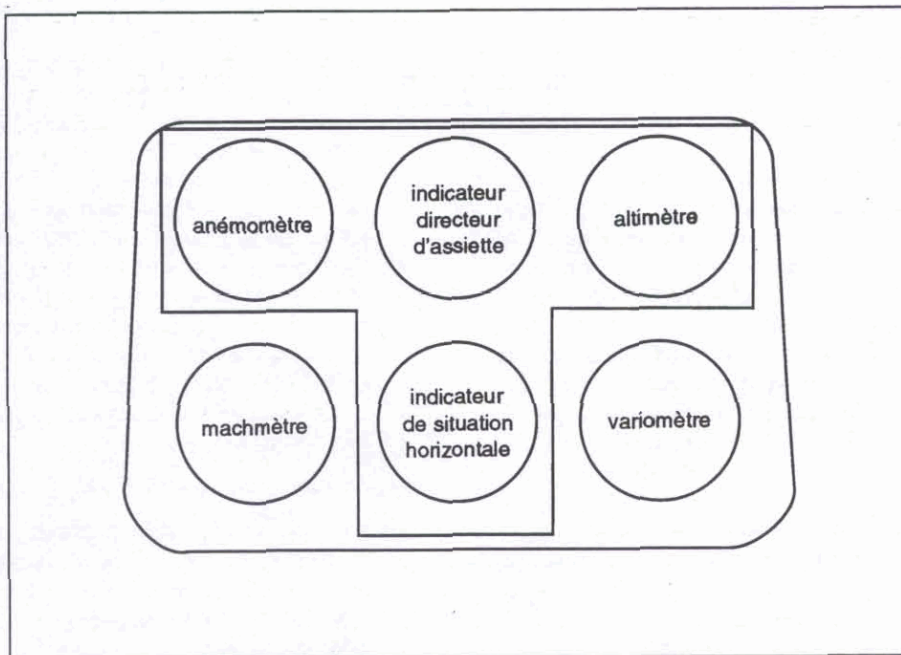


Figure 4-13. Le «panneau en T de base» qui constitue le coeur du tableau de bord dans les agencements modernes (d'après *Human Factors in Flight*, F.H. Hawkins, 1987)

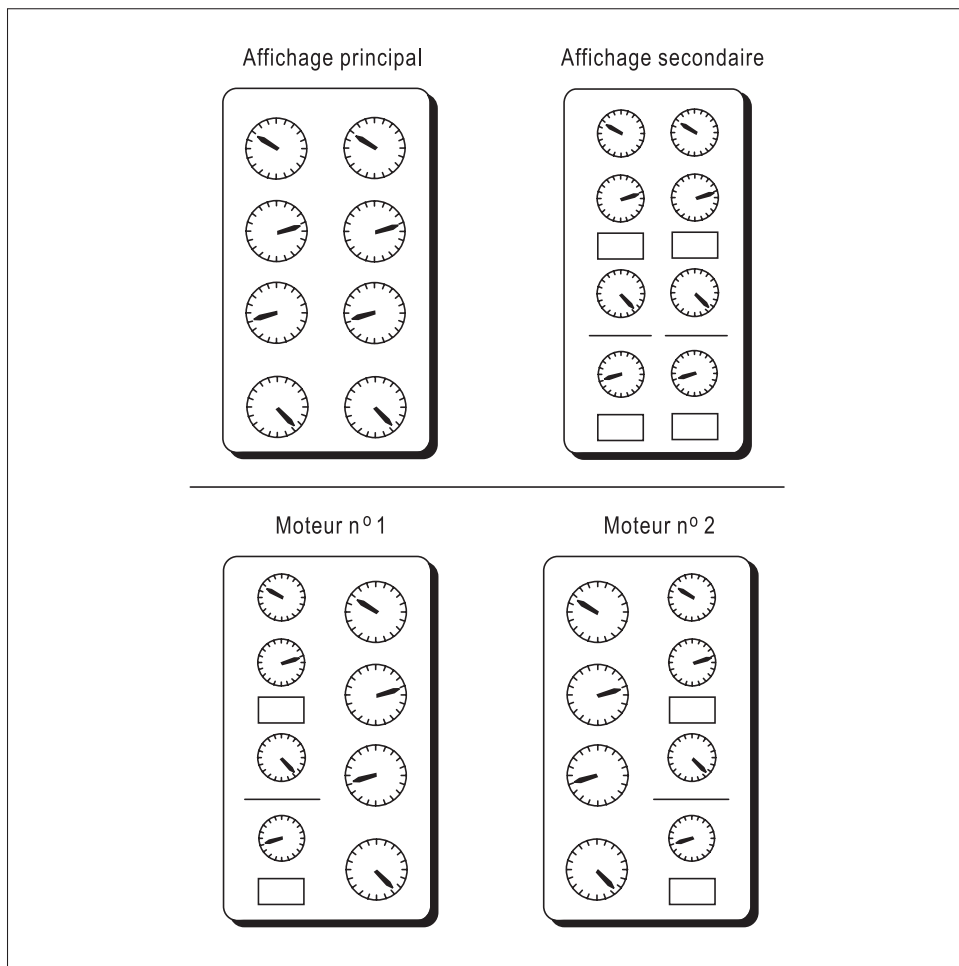


Figure 4-14. Système proposé pour les instruments de contrôle moteurs

L'équipage décèlera promptement toute déviation des indications sur l'un des instruments. Des panneaux synoptiques (p. ex. pour les circuits carburants, électriques, pneumatiques et hydrauliques) présentent les circuits sous une forme schématique, avec les commandes et affichages dans les positions appropriées. Les panneaux de guidage du vol sont généralement montés sur l'écran pare-soleil. Cela permet aux deux pilotes de les atteindre sans avoir à se pencher par-dessus le manche, tout en améliorant le balayage des instruments. La Figure 4-15 présente un modèle de liste de vérification destinée à l'évaluation d'un tableau type de guidage du vol. D'autres tableaux qui demandent une conception ergonomique appropriée sont notamment les tableaux de commande radiotéléphone-intercom, les coupe-circuits, le panneau de commande office et les panneaux de manoeuvre de porte.

4.6.29 Il y a deux types d'agencement des commutateurs à bascule: «forward-on» (mise en marche en abaissant vers l'avant) ou «sweep-on» (mise en marche d'un mouvement de balayage) (voir Figure 4-16). Le premier pose un problème d'ambiguïté dans le cas de panneaux montés verticalement ou quasi verticalement. De plus, il manque de souplesse lorsqu'il faut déplacer des modules et que les nouvelles positions ne répondent plus au concept «forward-on». L'agencement «sweep-on» résout ces problèmes. Lorsque le parc aérien d'une compagnie comprend des avions de plusieurs types, les deux types d'agencement peuvent y être rencontrés. Il y a eu des cas où l'absence de normalisation a été source de confusion et d'erreurs de l'équipage.

4.6.30 L'effectif d'équipage nécessaire est un autre facteur à prendre en considération dans la conception et l'agencement du poste de pilotage. Dans le cas d'un équipage à trois, le troisième membre d'équipage pourra être assis face à un tableau distinct, situé latéralement, ou être assis entre les pilotes et regarder vers l'avant. Les constructeurs ont fait alterner les deux conceptions au fil des ans. En général, lorsque la complexité des circuits s'accroît au point d'exiger de nombreux instruments, un poste séparé est nécessaire. Dans les avions pilotés à deux, un grand tableau de plafond est installé pour loger des commandes qui, autrement, seraient logées sur le panneau latéral. En général, les éléments le plus fréquemment utilisés devraient être situés dans la partie antérieure du panneau de plafond; ceux qui le sont moins souvent devraient être placés dans sa partie arrière, moins facile à atteindre.

4.6.31 Les incidences de la question de l'équipage à deux ou à trois au niveau de la conception vont bien au-delà du processus élémentaire qui consisterait à modifier l'emplacement de quelques commandes et écrans. Par exemple, en cas de défaillance de l'équipement primaire à bord d'un avion piloté à deux, avec module de secours redondant, la réaction à cette situation d'urgence ne devrait exiger qu'un minimum d'intervention de l'équipage. Le passage sur le module de secours devrait se faire automatiquement dès que l'équipement primaire est défaillant, l'intervention d'un troisième membre d'équipage n'étant donc pas nécessaire. Cependant, il faut toujours que l'équipage soit informé de ce qui se passe et qu'il dispose d'options pour prendre d'autres mesures d'urgence le

cas échéant. De plus, il convient d'éviter les activités et les procédures qui demandent de passer beaucoup de temps tête baissée, pour que l'équipage ait le maximum de possibilités de balayage visuel à l'extérieur.

En décembre 1983, un Airbus A300-B4 s'écrase peu avant le seuil de piste à Kuala Lumpur, pendant une approche dans des conditions météorologiques de vol aux instruments (IMC). Parmi les facteurs contributifs, il est indiqué qu'il s'agit d'un avion loué, dont les commandes sont différentes, par certains aspects, de celles des autres A300 du parc aérien de la compagnie qui l'a pris en location. Le manuel fourni avec l'avion accidenté ne contient pas de précisions sur certaines modifications apportées aux instruments d'origine avant la cession de l'appareil.

Source: Sommaire ADREP 84/6, OACI.

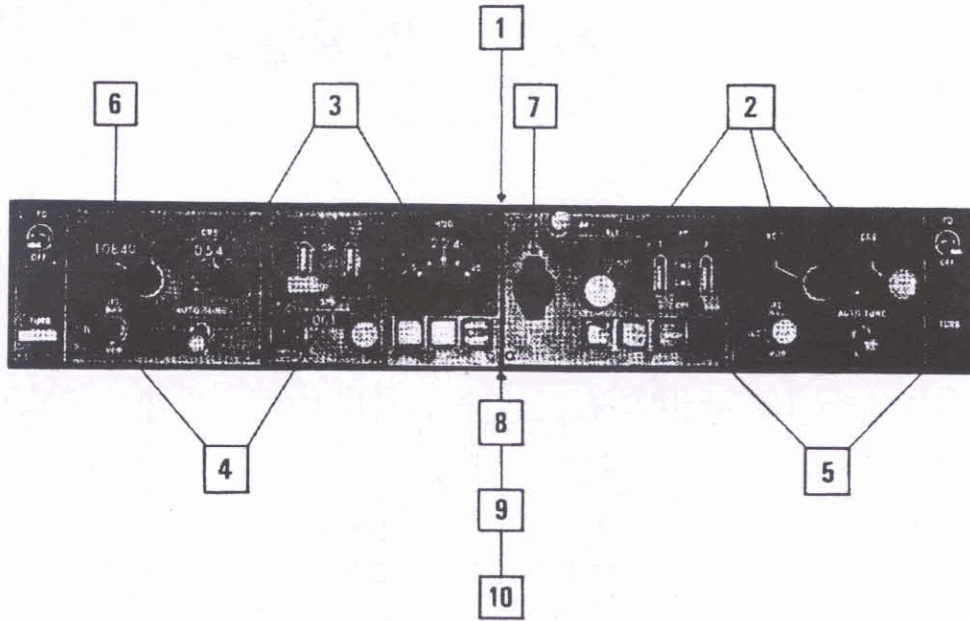
4.6.32 Les principes généraux de conception des sièges s'appliquent aussi bien aux sièges des membres d'équipage qu'à ceux des passagers. Il s'agit notamment de répartir le poids du corps dans toute la région lombaire et de donner aux sièges une hauteur appropriée, pour éviter une pression excessive sur la face arrière des cuisses. La colonne vertébrale doit être maintenue dans une position bien équilibrée et conserver sa courbure relativement naturelle grâce à un bon soutien lombo-sacral et à un bon design des sièges. Les accoudoirs devraient soutenir les bras tout en laissant leur mobilité aux épaules, aux bras et au torse. Il faut enfin prendre en considération des facteurs tels que la durabilité et le poids des matériaux, l'inflammabilité, l'intégrité des structures, la fiabilité, l'espace disponible, les exigences de certification et les coûts. Les dispositifs de commande des sièges, les systèmes de retenue et les repose-pieds doivent également recevoir l'attention voulue.

4.6.33 Les pilotes devant rester de longues heures attachés à leur siège, les effets des caractéristiques des sièges vont au-delà des problèmes médicaux (tels que les maux de dos) qui risquent de survenir. L'inconfort et les maux de dos sont pénibles et peuvent avoir des retentissements sur la motivation, le comportement et la performance.

4.7 L'ENVIRONNEMENT

Le stress

4.7.1 Le concept de stress a été proposé par Hans Selye, qui l'a défini comme une réponse non spécifique de l'organisme à toute sollicitation. Ce concept suppose l'existence d'un certain état «normal» ou «optimal» des fonctions corporelles, état dont celles-ci s'écartent sous l'effet d'agents stresseurs (c'est-à-dire de stimuli ou de situations qui



- | | | |
|--|--|--|
| <p>1 Installation
Utilisation par quels membres d'équipage?
Quelle priorité?
Quel emplacement : vision, distance d'atteinte
Montage horizontal ou vertical
Fonctions opérationnelles
Vulnérabilité aux reflets :
lumière solaire directe
Dimensions standard</p> | <p>4 Commutateurs (à bascule)
Sens du mouvement
Gêne; déclenchement par inadvertance;
protection; verrouillage du levier;
montage en série
Codage, forme, texture, couleur
Type et taille
Marques de position : visibilité depuis la
position de référence visuelle des pilotes
Force à appliquer</p> | <p>8 Caractéristiques générales
Finition couleur
Peinture à faible réflectivité pour les tableaux,
attaches, compteurs, etc.
Rayon du bord du panneau éclairage
(risques de dommages)
Compatibilité avec les autres tableaux du cockpit
Emplacement des éléments/modules du tableau
les uns par rapport aux autres</p> |
| <p>2 Lectures
Taille des caractères alphanumériques
Type de lettres/chiffres
Visibilité depuis la position de référence du pilote :
effet de parallaxe
Compteur, sens du mouvement
Compteur, caractéristiques du mouvement
(analogique/numérique)
Revêtement anti-reflets du couvercle de verre
Peinture à faible réflectivité
Emploi de couleurs
Blanc sur noir ou noir sur blanc; contraste</p> | <p>5 Commutateurs (à bouton-poussoir)
Taille et forme
Séparation, protection,
déclenchement par inadvertance
Installation verticale/horizontale;
utilisation dans les turbulences
Annonce de fonction, jour/nuit
Indications on/off, jour/nuit
Pression de déclenchement et parcours</p> | <p>9 Éclairage du tableau
Luminance et voltage
Équilibre, compatibilité avec les autres
tableaux du cockpit
Luminance égale, éclairage égal des lectures
Température de la couleur
Emploi d'un code de couleur/
luminance des commutateurs presse-bouton, etc.
Éblouissement, taches lumineuses, fuites
(voir aussi rayon du bord du panneau éclairage)
Commandes, continues/par étapes,
intégration au système du poste de pilotage,
emplacements
Potentiel de réflexion de la lumière, écrans
Éclairage des positions des boutons/commandes
Éclairage des commutateurs presse-bouton
positions on/off</p> |
| <p>3 Boutons
Codage, forme, texture, couleur
Taille
Gêne pour les doigts
Vitesse de rotation, nécessité de pivotement rapide
Maintien en position
Marques de position sans ambiguïté;
visibilité depuis la position de référence
visuelle des pilotes
Force à appliquer
Sens du mouvement
Friction des doigts, prise</p> | <p>6 Nomenclature du tableau
Type et lettrage
Redondance de la nomenclature (confusion)
Abréviations standard
Emplacement
Obstacles à la visibilité</p> | <p>10 Maintenance
Facilité d'installation et d'enlèvement
Vulnérabilité aux dommages provenant du maniement.</p> |
| <p>7 Commandes
Sens/rapport de déplacement
Friction des doigts, prise
Codage : forme, couleur
Interrelations fonctionnelles
Gêne pour les doigts,
déclenchement par inadvertance
Nécessité d'utilisation "à l'aveuglette"
Force à appliquer
Caractéristique du maintien en position</p> | | |

Figure 4-15. Liste de vérification pour l'évaluation d'un tableau type

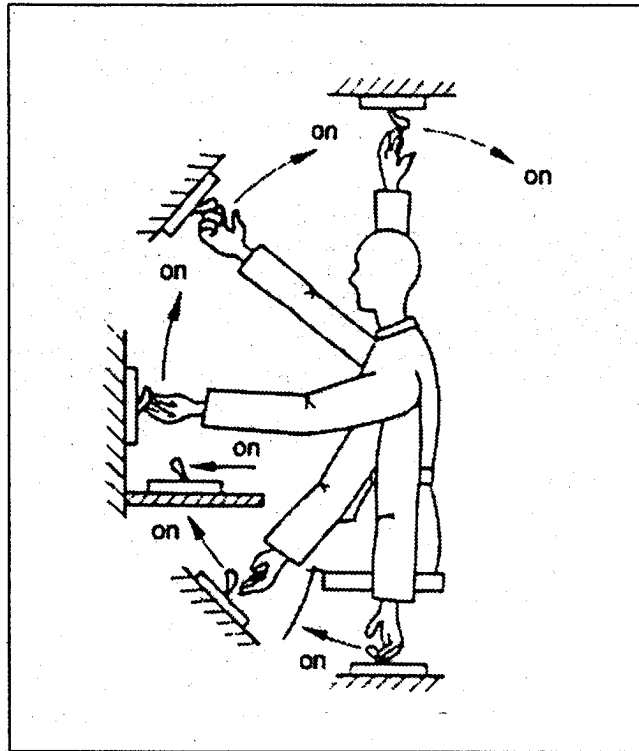


Figure 4-16. Agencement des commutateurs — le concept «sweep-on» remplace peu à peu l'agencement «forward-on» (d'après *Human Factors in Flight*, F.H. Hawkins, 1987)

stressent la personne). Le stress représente généralement un effort du corps pour s'adapter ou maîtriser les exigences d'une situation et retourner le plus tôt possible à l'état normal. On peut distinguer le stress psychosocial, le stress environnemental et le stress cognitif. Le *stress psychosocial* est déclenché par des événements pénibles de l'existence personnelle (p. ex. divorce, deuil dans la famille). Le *stress environnemental* est lié aux effets de certains facteurs du milieu ambiant tels que la température, l'humidité, le bruit, la pression, l'éclairage ou les vibrations. Le *stress cognitif* est lié aux exigences cognitives (ou mentales) de la tâche elle-même. Les mesures à prendre pour pallier les effets indésirables du stress environnemental et du stress cognitif sont du ressort de l'ergonomie.

4.7.2 On lie généralement le stress à l'activation, terme qui désigne les modifications non spécifiques intervenant dans l'organisme (p. ex. dans les activités hormonales et cérébrales) en réponse à une stimulation externe. En général, les niveaux de stress et d'activation sont directement liés, c'est-à-dire que des niveaux élevés de stress sont liés à des niveaux élevés d'activation. La loi de Yerkes-Dodson, qu'illustre la Figure 4-17, établit un rapport entre performance et activation. Elle montre que les niveaux de performance des individus augmentent avec le degré d'activation jusqu'à un certain point au-delà duquel tout surcroît d'activation nuira généralement à

l'exécution de la tâche. La forme générale de la courbe de relation reste la même lors de l'exécution de différentes tâches, mais la forme et la localisation exactes de chaque courbe varient avec la complexité de la tâche.

4.7.3 Il existe une relation entre le stress et la capacité qu'a une personne de porter attention à des indices que fournit l'environnement. Dans un cas simple où il existe peu d'indices, le stress améliore la performance en amenant la personne à focaliser son attention. Dans un cas complexe où les indices sont nombreux, le stress abaisse la performance, car beaucoup d'indices seront négligés. Cela explique de nombreux accidents dans lesquels des membres d'équipage soumis au stress étaient obnubilés par un certain instrument défectueux (même si c'était un instrument peu important) et omettaient de porter attention à d'autres éléments d'information, d'importance cruciale.

Le bruit

4.7.4 Le bruit est défini comme un son indésirable. Deux aspects importants du bruit sont à considérer: les sources de bruit et les effets physiologiques et psychologiques du bruit sur la personne exposée. Le bruit affectera une personne diffé-

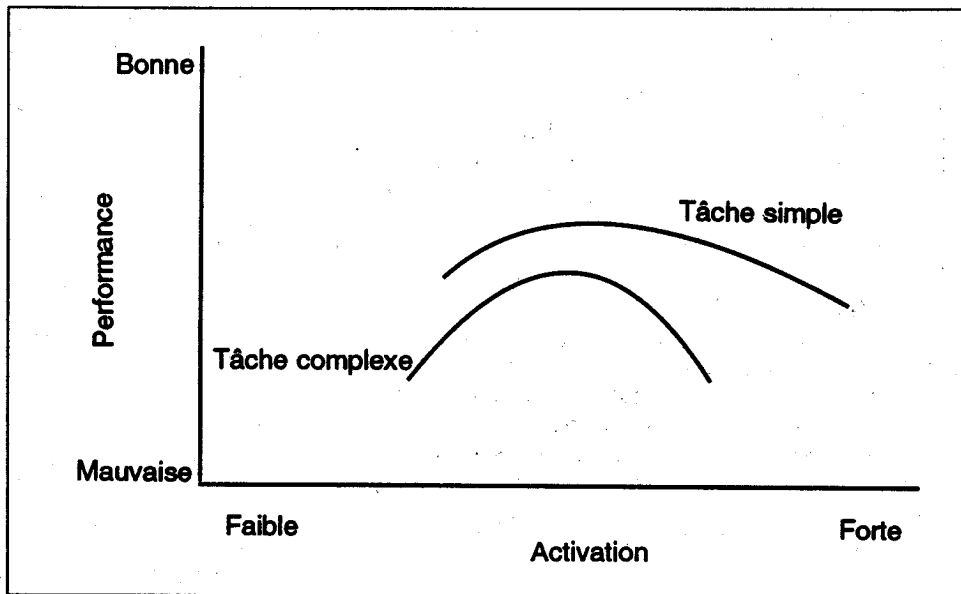


Figure 4-17. Loi de Yerkes-Dodson reliant la performance à l'activation

remment selon qu'elle s'y attend ou non, qu'il rend la tâche plus difficile ou non et que la personne est détendue ou vigilante.

4.7.5 Les principales sources de bruit dans les avions à voilure fixe sont les moteurs, la climatisation, la pressurisation et les circuits hydrauliques, ainsi que la turbulence aux couches limites. À l'intérieur de l'avion, le bruit est plus fort à proximité des parois qu'au centre du fuselage. Il est facile d'agir sur le niveau de bruit dans le cockpit en modifiant l'interaction de l'écoulement de l'air avec la surface du fuselage. L'insonorisation réduit le bruit mais augmente la masse de l'avion, ce qui a beaucoup d'effets indésirables, tels que celui d'accroître les dépenses de carburant. Une amélioration de la conception visant à réduire le bruit à sa source serait une meilleure solution. Ainsi, la suppression des essuie-glaces dans un certain type d'avion de transport à réaction permet de réduire de 2 dB le niveau de bruit dans le cockpit.

4.7.6 Le plus important effet pathogène du bruit, qui est de compromettre l'audition, a déjà été abordé en 4.2. Il y en a d'autres: modifications de la pression artérielle et du rythme cardiaque, maux de tête, fatigue et problèmes gastro-intestinaux tels que les ulcères. Jadis, la veille prolongée sur la radio hautes fréquences (HF) impliquait une importante exposition au bruit. L'introduction des appels sélectifs (SELCAL) a déjà remédié à cette situation. Les progrès techniques dans les communications — et dans d'autres domaines — apporteront certainement de nouvelles améliorations à la protection auditive. Il demeure cependant que les membres d'équipage qui, à bord, sont exposés pendant de longues périodes à du bruit de forte intensité doivent s'attendre à subir des pertes d'audition qui s'ajouteront à celles résultant naturellement du vieillissement.

4.7.7 Le bruit affecte la performance en gênant la détection et la compréhension des signaux relatifs à la tâche ou de la parole. Il entrave la communication verbale en influant sur le rapport signal-sur-bruit et en diminuant l'intelligibilité de la parole. Il nuit aussi à la communication verbale en dégradant l'audition.

En septembre 1985, un bimoteur Beechcraft B-99 s'écrase pendant une approche aux instruments vers l'aéroport de Shenandoah Valley, Virginie. Le NTSB conclut que parmi les facteurs qui ont contribué aux erreurs de l'équipage de conduite il y a eu «... des difficultés de communication dans le poste de pilotage, du fait de hauts niveaux de bruit ambiant dans l'avion...»

Source: Sommaire ADREP 88/4, OACI.

4.7.8 Parce qu'il gêne la plupart des gens, le bruit peut aussi avoir des effets sur l'état psychologique. Dans le poste de pilotage, cette gêne s'ajoute aux problèmes de communication qu'il occasionne. Il peut en résulter de la frustration ou de l'inquiétude, parce qu'il faut répéter les messages ou parce que ceux-ci sont difficiles à comprendre. Cela peut aussi accroître la charge de travail et la fatigue. C'est le rôle de l'ergonome d'essayer dès le stade de la conception de réduire le bruit et de fournir des protections auditives, mais il faut que les membres d'équipage soient avertis des effets insidieux du bruit, des lésions qu'il peut provoquer, ainsi que des méthodes de réduction du niveau de bruit et de protection individuelle contre ses effets nocifs.

La température

4.7.9 Parmi les agents de stress dans le milieu ambiant, les extrêmes de température sont l'un des plus courants. Les êtres humains n'étant à l'aise que dans une étroite bande de température, il faut savoir dans quelle mesure ils peuvent avoir un bon fonctionnement en présence de températures différentes, afin de pouvoir étudier des mesures correctives. C'est au stade de la conception qu'il faut résoudre ou prendre en compte les questions concernant les besoins de climatisation et la performance humaine dans des conditions stressantes de chaleur ou de froid. Le système de régulation climatique de la cabine est le principal moyen de contrôle du milieu interne des avions.

4.7.10 L'être humain dégage de la chaleur lorsqu'il effectue des travaux mécaniques et il en dégage aussi, dans une moindre mesure, lorsqu'il est au repos. L'excédent de chaleur est transmis à l'environnement, principalement par la sudation et la transpiration, pour maintenir une température corporelle relativement constante de 37 degrés Celsius (C). Le succès de la régulation de cette température dépend de différents facteurs: température ambiante, humidité, vitesse de l'air. Si la température corporelle augmente de plus de 2 degrés C, l'efficacité physiologique sera compromise.

En février 1984, un Cessna T-303 s'écrase à l'atterrissage à Hickory, Caroline du Nord (États-Unis). L'avion a dépassé l'extrémité de la piste et a heurté une barrière. Le pilote a été gêné par une panne de circuit de chauffage et par un plafonnier qu'on n'arrivait pas à éteindre.

Source: Sommaire ADREP 86/5, OACI.

4.7.11 Les effets physiologiques des extrêmes de température ambiante sont bien connus, mais les effets du stress thermique sur la performance humaine sont plus complexes. Il est généralement admis qu'une chaleur excessive entraîne une baisse de performance, mais on ne s'entend guère ni sur l'ampleur de cette baisse, ni sur le délai dans lequel elle intervient. L'être humain ne peut résister à des extrêmes de température que pendant une brève période, avant qu'une dégradation mesurable ne s'installe. L'acclimatation prolonge cette période. Chez des personnes non acclimatées, la dégradation apparaît lorsque la température ambiante est supérieure à 30 degrés C, que l'humidité relative est élevée et que l'exposition dépasse trois heures. Il est évident que l'habillement peut jouer un rôle important, de même que le niveau d'activité physique.

4.7.12 Lorsque le corps est exposé au froid, il cherche à maintenir sa température interne en frissonnant et en limitant l'afflux sanguin vers sa surface. Les températures corporelles inférieures à 35 degrés C sont dangereuses. Une amnésie temporaire peut apparaître à 34 degrés C, tandis que des irrégularités cardiaques et probablement l'inconscience surviendront entre 32 et 30 degrés C. L'humidité n'intervient

pas, mais la vitesse de l'air est importante. C'est pourquoi les comptes rendus météorologiques indiquent de plus en plus le facteur éolien de refroidissement (lequel n'est pas un effet psychologique — il abaisse effectivement la température corporelle). Le froid accroît à la fois le temps que prennent les réactions et les mouvements: la dextérité manuelle commence à se dégrader lorsque la température cutanée des mains tombe au-dessous de 18 degrés C.

L'humidité

4.7.13 L'humidité peut devenir un problème pour les avions de transport à réaction volant à haute altitude, l'humidité relative étant faible à leurs altitudes d'exploitation. L'inconfort provenant d'une faible humidité relative n'implique pas toujours une indisposition physique. L'absorption suffisante de liquides peut empêcher une déshydratation générale. Il convient d'éviter les diurétiques tels que le café et le thé. L'installation d'humidificateurs à bord pourrait accroître l'humidité dans la cabine et le cockpit, mais le concepteur devra tenir compte des problèmes possibles: pénalisation en poids, condensation et contaminations minérales.

La pression

4.7.14 La pressurisation de la cabine supprime beaucoup de problèmes liés au vol à haute altitude, mais elle introduit d'autres risques, dont le plus important est celui d'une décompression rapide. Le temps de conscience utile (TCU) qui suit une perte de pressurisation rapide dépend de l'altitude de l'avion, de la vitesse de la chute de pression et du niveau d'activité physique au moment où elle survient. Aux altitudes types de vol des avions de transport à réaction (35 000 pieds), le TCU variera entre 33 et 54 secondes. À 40 000 pieds, il pourrait tomber à la moitié de ces valeurs moyennes. Cela souligne combien il est important que les membres d'équipage puissent disposer immédiatement d'un supplément d'oxygène.

4.7.15 La fiabilité technique des systèmes automatiques d'alimentation en oxygène et la conception de certains inhalateurs d'application rapide pour membres d'équipage n'ont pas toujours été optimales. Il faut avoir à l'esprit le fait que les masques à oxygène sont destinés à être utilisés dans des circonstances qui s'accompagnent d'anxiété et d'autres agents stressants; la simplicité d'emploi et la fiabilité sont donc d'une extrême importance.

L'éclairage

4.7.16 La nature de l'éclairage du poste de pilotage et la quantité de lumière nécessaires pour l'exécution d'une certaine tâche peuvent varier considérablement. Les facteurs qui entrent en jeu sont la rapidité et la précision avec lesquelles il faut lire les affichages, l'éclairage ambiant, les autres sources lumineuses (en particulier la lumière solaire) et

la présence d'éblouissement. L'éblouissement se définit comme une condition de vision dans laquelle il y a inconfort et/ou réduction de la capacité de voir des objets significatifs, parce que la distribution de la luminance (densité de la lumière ou intensité lumineuse par unité de superficie de projection) ou la plage de luminance est inadaptée, ou du fait de contrastes extrêmes dans l'espace ou dans le temps.

4.7.17 L'éblouissement est un aspect important de la qualité de l'environnement éclairé. Il peut provenir de sources de lumière vive ou de la réflexion de la lumière par certaines surfaces. Il peut produire de la gêne et de l'inconfort et compromettre la performance visuelle. Le type de réflexion par les surfaces dépend des propriétés de celles-ci (polies, rugueuses, mates). Certaines indications donnent à penser qu'il existe un élément de subjectivité dans la tolérance à l'éblouissement. Les techniques les plus efficaces pour le réduire consistent notamment à bloquer la surface réfléchissante ou à installer un éclairage supplémentaire pour contrer les effets d'éblouissement.

Les vibrations

4.7.18 Les vibrations, forme de mouvement qui change périodiquement son ampleur de déplacement par rapport à un point, sont un phénomène physique très répandu. Le mouvement de pistons à l'intérieur des cylindres de moteurs ou les perturbations produites dans des avions qui traversent des turbulences sont des formes de vibrations qui peuvent être transmises au corps humain. Les vibrations sont généralement transmises par contact direct entre le corps et la structure qui vibre, ce qui risque d'avoir des effets nocifs.

4.7.19 En aviation, les vibrations peuvent avoir des incidences opérationnelles en réduisant l'acuité visuelle, en compromettant le contrôle neuromusculaire et en entraînant la fatigue. Même si la situation s'est améliorée, on rencontre encore de forts niveaux de vibrations dans les hélicoptères ainsi que dans les avions à voilure fixe en vol à faible altitude.

4.7.20 On peut assurer la protection contre les vibrations en portant attention à leur source, en modifiant les trajets

de transmission ou en agissant sur les propriétés dynamiques du fuselage de l'avion. La réduction des vibrations des moteurs d'aviation est une tâche primordiale des ingénieurs d'étude et de maintenance. Les «absorbeurs de vibrations dynamiques» ont réduit les niveaux de vibrations à bord des hélicoptères. Une autre méthode ergonomique consiste à isoler des vibrations les sièges des membres d'équipage.

LISTE DE RÉFÉRENCES

- Chapanis, A. *Man-machine engineering*. 1965. Belmont, California, USA. Wadsworth.
- Damon, A., Stoudt, H.W. and McFarland, R.A. *The Human Body in Equipment Design*. 1966. Cambridge, Massachusetts, USA. Harvard.
- Edwards and Edwards. *The Aircraft Cabin*. Gower Technical Press.
- Ernsting and King. *Aviation Medicine*. Butterworths.
- Grandjean, E. *Fitting the Task to the Man: An Ergonomic Approach*. 1980. London, United Kingdom. Taylor and Francis.
- Hawkins, Frank H. *Human Factors in Flight*. Gower Technical Press.
- Kantowitz and Sorkin. *Human Factors, Understanding People-System Relationships*. John Wiley and Sons.
- O'Hare and Roscoe. *Flightdeck Performance: The Human Factor*. Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA.
- Roscoe, S. (Ed.) *Aviation Psychology*. 1980. Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA.
- Salvendy (Ed.). *Handbook of Human Factors*. John Wiley and Sons.
- Sanders and McCormick. *Human Factors in Engineering and Design*. McGraw-Hill.
- Shackel, B. (Ed.). *Applied Ergonomics Handbook*. 1974. IPC Science and Technology Press. Surrey, England.
- Sloan and Cooper. *Pilots under Stress*. Routledge and Keegan Paul.
- Stokes, Wickens and Kite. *Display Technology. Human Factors Concepts*. Society of Automotive Engineers.
- Wiener and Nagel. *Human Factors in Aviation*. Academic Press.
- OACI. *Manuel de médecine aéronautique civile* (Doc 8984).

CHAPITRE 5

LES QUESTIONS DE FACTEURS HUMAINS DANS LE CONTRÔLE DE LA CIRCULATION AÉRIENNE

5.1 INTRODUCTION

5.1.1 Le présent chapitre traite des questions de facteurs humains liées au contrôle de la circulation aérienne (ATC). Visant à donner des indications pratiques à ce sujet à ceux qui s'occupent de systèmes ATC, il montre comment les possibilités et les limites humaines peuvent influencer l'exécution des tâches et la sécurité de l'ATC. Il indique aussi des sources de connaissances dans ce domaine. Ce chapitre:

- décrit la place des facteurs humains dans un système ATC;
- explique les questions de facteurs humains que soulève l'automatisation dans l'ATC;
- donne un aperçu des critères de sélection des contrôleurs et traite des questions relatives à leur formation, notamment la formation en gestion des ressources en équipe (TRM) et la gestion des menaces et des erreurs (TEM);
- examine certains attributs humains qui ont rapport avec les systèmes ATC;
- donne une liste de références.

5.2 LES FACTEURS HUMAINS DANS LES SYSTÈMES

5.2.1 Dans tout ce chapitre, divers thèmes relatifs aux facteurs humains seront examinés séparément, parce que c'est une façon commode de les décrire. Dans la pratique, ces thèmes ne sont jamais séparés, il y a toujours de fortes interactions entre eux. Jamais une question réelle de facteurs humains dans l'ATC ne peut être traitée complètement sous une seule rubrique. Ainsi, toute spécification relative à l'espace de travail ATC aura des incidences sur la conception des tâches, la performance, les habiletés et l'erreur, et sans doute aussi sur la formation et le travail en équipe. Le modèle SHEL¹ peut être employé pour identifier les aspects qui posent problème, retracer les origines de certains problèmes et définir les tâches appropriées de collecte de données. Le modèle SHEL représente les principales interactions entre l'humain et les autres aspects du système, mais il y a aussi des interactions de deuxième et de troisième ordre. Ce qu'un contrôleur (humain)

verra effectivement sur un affichage (matériel) peut être influencé par des facteurs tels que: le caractère plus ou moins adapté à la tâche des données affichées (documentation), les réverbérations qui pourraient masquer les données affichées (environnement) et ce que le contrôleur s'attend à voir après avoir conversé avec le pilote (humain).

5.2.2 Un système ATC, dont le but est d'assurer l'écoulement sûr, ordonné et rapide du trafic aérien, est un exemple de grand système homme-machine². Dans de tels systèmes, des humains travaillent en interaction avec des machines pour accomplir les fonctions du système. Cependant, ces humains n'ont généralement pas tous les mêmes tâches, le même emploi, le même équipement ou les mêmes fonctions, bien qu'ils puissent avoir une formation professionnelle et des qualifications semblables. Un système ATC sûr et efficace doit comporter à la fois une technologie appropriée et des contrôleurs aériens professionnels bien formés et bien informés, aptes à comprendre et à utiliser tous les moyens disponibles pour assurer un service ATC satisfaisant.

5.2.3 En plus d'assurer l'écoulement sûr, ordonné et rapide de la circulation aérienne, le système ATC vise plusieurs autres objectifs, moins connus: conservation du carburant, réduction du bruit et des nuisances environnementales, économie (de plus en plus importante lorsque l'ATC devient une entreprise), impartialité envers tous les usagers dans le cadre des règles et règlements, et satisfaction des demandes des usagers dans la mesure du possible. Un but accessoire mais néanmoins essentiel est d'assurer qu'il y ait toujours des contrôleurs aériens capables d'appliquer les normes et les politiques et de servir les objectifs du contrôle de la circulation aérienne, avec les moyens existants et les moyens nouveaux. Cela implique, dans une organisation ATC, un effort considérable pour la formation des contrôleurs aériens ainsi que pour le développement des systèmes ATC, ce qui exige les apports et la participation de contrôleurs en service et devrait se traduire dans l'effectif de contrôleurs.

Accorder l'humain et la machine

5.2.4 La plupart des questions de facteurs humains qui se posent dans le contrôle de la circulation aérienne ne sont pas nouvelles, étant liées aux possibilités et aux limites fondamentales de l'être humain. La discipline des facteurs humains doit cependant réagir à des changements dont l'origine est ailleurs, par exemple dans la demande grandissante de transport aérien

Exemples d'interfaces SHELL pour l'ATC:

- | | |
|-----------------------|---|
| Humain-documentation: | <ul style="list-style-type: none"> • Des différences dans les procédures de calage altimétrique (pouces ou hectopascals; hauteur des altitudes et/ou des niveaux de transition) risquent d'entraîner des erreurs chez des membres d'équipage en service dans un espace aérien étranger ou qui ne leur est pas familier. • Manuels de procédures ATC nationales ou locales non actualisés par rapport aux procédures appliquées en exploitation. |
| Humain-matériel: | <ul style="list-style-type: none"> • Fauteuils réglables à roulettes souvent plus confortables que les anciens modèles rigides à pieds. • Bon réglage du casque d'écoute. |
| Humain-environnement: | <ul style="list-style-type: none"> • Thermostat et/ou climatisation dans la salle de contrôle. • Dans la tour: fenêtres inclinées, verre teinté, etc. Orientation évitant d'avoir le soleil dans les yeux pendant une grande partie de la journée. |
| Humain-humain: | <ul style="list-style-type: none"> • Tous les aspects de la coordination et de la communication. • Relations employé-employeur. |

ou dans les progrès technologiques. La concrétisation de tous les avantages escomptés de ces avancées exige l'alliance réussie de l'humain et de la machine, pour que les humains ne ralentissent pas le progrès technique parce que les tâches qu'on leur a confiées dépassent leurs possibilités. Dans le contrôle de la circulation aérienne, l'objectif en matière de facteurs humains est d'harmoniser les spécifications et la conception du système avec les possibilités et les limites humaines. Cette alliance harmonieuse de l'élément humain et du système est un processus actif, dont la réalisation peut nécessiter des changements chez l'un ou l'autre ou chez les deux. Son succès exige l'application correcte des abondantes données disponibles sur les facteurs humains.

5.2.5 Le contrôleur de la circulation aérienne doit comprendre comment le système ATC a été conçu et comment il peut fonctionner, pour entrer en interaction avec lui et apporter les atouts de ses connaissances professionnelles. Le but fondamental de l'application de la connaissance des facteurs humains au contrôle de la circulation aérienne est d'améliorer la sécurité et de contribuer à la prévention des accidents, tout en améliorant l'efficacité du système.

Évolution dans le contrôle de la circulation aérienne

5.2.6 Ces dernières années ont vu une croissance inexorable du trafic aérien dans le monde entier. Avec la mise en service d'avions plus grands et plus rapides, conjuguée au

nombre grandissant de petits avions, le contrôle de la circulation aérienne doit s'occuper d'avions de types plus diversifiés. Malgré l'installation d'équipements plus efficaces à bord et au sol et malgré l'utilisation plus intensive et productive du système ATC, les pointes de trafic, au cours desquelles le trafic atteint ou approche la capacité maximale du système ATC, sont devenues plus fréquentes et plus prolongées.

5.2.7 Dans plusieurs parties du monde, on s'attend à voir la demande future de transport aérien s'accroître jusqu'à dépasser la capacité des systèmes ATC actuels, qui devront donc évoluer ou être remplacés pour répondre en toute sécurité à ces exigences grandissantes. Une sectorisation plus poussée de l'espace aérien devient finalement une solution contre-productive, vu le travail supplémentaire de coordination et de liaison qu'elle implique. Il faut concevoir, valider et mettre en oeuvre d'autres solutions, telles que:

- la fourniture de données meilleures au contrôleur;
- le remplacement de fonctions manuelles par des versions automatisées;
- l'automatisation de la manipulation et de la présentation de l'information;
- une assistance automatisée aux tâches humaines cognitives telles que la résolution de problème et la prise de décision;

- la flexibilité d'utilisation de l'espace aérien, sur la base des besoins de l'exploitation plutôt que des frontières géographiques;
- le passage des interventions tactiques à court terme, pour résoudre les problèmes qui surviennent, à une planification stratégique préalable de courants de trafic efficaces, visant à éviter que des problèmes surviennent.

5.2.8 Parfois, les systèmes deviennent surchargés et une régulation des courants de trafic doit être imposée. De nos jours, la gestion des courants de trafic aérien (ATFM) est un processus normal dans les régions à forte densité, pour coordonner la planification des flux de trafic aérien à travers les secteurs et les FIR. Bien que l'ATFM soit essentiellement un outil stratégique destiné à éviter la surcharge des systèmes de contrôle, il faut de l'expérience en qualité de contrôleur aérien et une parfaite connaissance de la région pour réaliser la planification des courants de trafic. L'objectif de l'ATFM telle qu'elle est appliquée en Europe n'est pas de contrôler les avions en vol mais de réduire les retards en attribuant des créneaux de départ et des itinéraires aux avions encore au sol. Aux États-Unis, on a développé une forme d'ATFM dans laquelle un organe central (Washington) peut intervenir dans le trafic en vol pour optimiser le flux, par exemple vers une certaine destination ou autour de systèmes météorologiques.

5.2.9 D'autres facteurs encore peuvent aggraver les circonstances difficiles auxquelles est confronté le contrôle de la circulation aérienne. Dans bien des cas, l'effectif de contrôleurs reste à peu près inchangé alors que l'accroissement du trafic exigerait qu'ils soient plus nombreux. Par ailleurs, la technologie nouvelle qui permet d'abaisser les critères applicables de séparation des aéronefs peut aussi nécessiter des contrôleurs plus nombreux, car elle n'accroît pas seulement la capacité d'acheminement du trafic mais exige une intervention plus rapide du contrôleur si les critères de séparation ne sont pas respectés. Parfois, la piste, l'itinéraire de départ ou le dispositif d'approche qui aurait la préférence du contrôleur ou du pilote ne sont pas disponibles à cause de restrictions antibruit.

5.2.10 Les techniques de gestion du trafic aérien sont en constant changement. Les nouvelles techniques de liaison de données et de communication par satellite évoluent, la qualité du radar et du traitement de l'information s'améliore, des systèmes anticollision sont développés et mis en oeuvre, on explore l'acheminement direct des avions entre aéroports de départ et d'arrivée (plutôt qu'en suivant des voies aériennes) et on poursuit les recherches sur les systèmes de navigation aérienne avancés. Il faut aussi que les nouvelles options offertes par ces progrès de la technologie soient étudiées dans la perspective de la sécurité, de l'efficacité, de l'économie et de la compatibilité avec les possibilités et les limites humaines. Ces avancées modifient les procédures et les pratiques du contrôle de la circulation aérienne, l'environnement de travail et le rôle des contrôleurs, ce qui comporte pour toutes les parties concernées le défi de ne pas négliger les questions de

facteurs humains. Dans le contrôle de la circulation aérienne, aucun compromis sur l'impératif primordial de sécurité ne doit jamais être toléré; à travers tous les changements futurs, il faut que la sécurité soit maintenue et renforcée.

Transmission de l'information

5.2.11 Les objectifs assignés au contrôle de la circulation aérienne sont d'éviter les collisions aériennes et tous autres dangers potentiels, par des moyens qui favorisent néanmoins l'efficacité économique des vols. Leur réalisation dépend de nombreux facteurs, notamment:

- les caractéristiques de chaque aéronef et de ses équipements de bord;
- la nature et le degré du contrôle exercé sur le trafic;
- les règles, principes et procédures applicables;
- les moyens d'exercer le contrôle sur la circulation aérienne;
- les connaissances, les habiletés et l'expérience du pilote;
- les connaissances, les habiletés et l'expérience du contrôleur;
- le volume, la densité et la composition du trafic aérien;
- l'information disponible au sujet de chaque aéronef;
- les facteurs environnementaux, notamment les installations et services au sol, le relief et les conditions météorologiques.

5.2.12 L'information au sujet des aéronefs peut être de deux types, quantitative et qualitative. L'information quantitative — par exemple sur la position, le niveau de vol, la vitesse, le cap et les manoeuvres — peut généralement être exprimée et communiquée sous forme numérique et être présentée sur des écrans. L'information qualitative — par exemple sur la fiabilité et la validité des données — n'est généralement pas affichée mais dépend de la façon dont l'information est captée et traitée (fréquence d'actualisation, exactitude, précision et types d'erreurs, de défaillances ou de dégradations auxquels elle est exposée). Un contrôleur expérimenté apprend à reconnaître une information de piètre qualité et à la rehausser.

5.2.13 C'est souvent l'information qualitative qui détermine la séparation à respecter pour que les avions évoluent en toute sécurité, déterminant ainsi la capacité du système ATC dans la plupart des circonstances, bien que d'autres facteurs tels que les minimums imposés par la turbulence de sillage ou le nombre de pistes et leur disponibilité puissent, eux aussi, influencer sur la capacité. L'espacement admissible des avions

peut généralement être moindre dans un environnement radar (où l'on dispose à leur sujet d'une information de haute qualité, fréquemment actualisée) que lorsqu'ils évoluent en dehors de la couverture radar et que les critères de séparation aux procédures sont appliqués. Les meilleures aptitudes de haute précision de navigation dans la plus récente génération d'aéronefs peuvent aussi être considérées comme un moyen permettant d'appliquer des normes de séparation réduites.

La position de travail du contrôleur³

5.2.14 Dans le contrôle de la circulation aérienne, les positions de travail doivent rester sûres et efficaces jusque dans les conditions les plus défavorables qui soient admissibles, ceci s'appliquant aux caractéristiques de l'opérateur humain (p. ex. normes de vision minimale), du matériel (p. ex. équipements sur le point d'être remplacés), de la documentation (p. ex. procédures non normalisées) et de l'environnement (p. ex. soleil éblouissant). Il faut donc tester et valider les positions de contrôle en fonction de telles conditions, et non des conditions moyennes ou optimales. Pour chacune d'elles, il faut tenir compte des informations à présenter, des types de commandes nécessaires pour chaque tâche, de leur agencement les unes par rapport aux autres et par rapport aux visualisations, ainsi que du mobilier. Cela exige l'application de connaissances ergonomiques éprouvées, pour déterminer en détail l'emplacement, l'agencement, la séparation et le codage des commandes et des affichages. Accepter des compromis sur ces principes pourrait mener à une performance moins bonne, demandant plus de temps et davantage sujette à l'erreur, ce qui risquerait de compromettre la sécurité.

5.2.15 Les décisions relatives aux positions de travail et à l'aménagement déterminent à l'avance beaucoup des types d'erreurs humaines qui risqueront de se produire, et qui se produiront tôt ou tard. Cela s'applique en particulier aux décisions concernant les visualisations et les codages, les types et la sensibilité des dispositifs de commande et d'insertion de données, l'agencement des équipements dans l'aire de travail, les voies de communications et les moyens de les activer, ainsi qu'aux relations perçues entre les visualisations et les périphériques d'entrée.

Communications

5.2.16 Il faut que les moyens de communication disponibles à la position de travail du contrôleur soient bien en évidence. Les communications sont essentiellement de l'information, à laquelle du matériel donne accès. Il faut qu'elles soient intégrées à la position de travail avec une indication claire et sans ambiguïté lorsqu'un canal est déjà utilisé. Il faut aussi une indication positive du succès d'une transmission. Jusqu'à présent, la transmission d'information entre contrôleurs, ainsi qu'entre pilotes et contrôleurs, s'est faite en grande partie par la parole (interface humain-humain); les formats de message comprenaient un accusé de réception indiquant

formellement que le message avait été reçu et compris. À l'avenir, davantage d'informations seront transmises automatiquement entre avions et systèmes sol, entre satellites et ordinateurs, ainsi que par divers autres systèmes de communication, sans participation ni intervention directe du contrôleur. Le contrôleur n'en aura connaissance que si des dispositions ont été prises délibérément pour l'informer. Lorsque les communications sont automatisées, le rôle des groupes et des équipes est souvent réduit, la liaison avec la machine par l'interface homme-machine n'étant généralement accessible qu'à un seul contrôleur et non à une équipe de contrôleurs.

Exemple: Dans un environnement ATC traditionnel avec communications vocales, il n'est pas rare qu'un contrôleur, à sa position de travail, entende une instruction erronée ou une erreur de relecture dans la transmission d'un collègue installé à un poste voisin ou qu'il se rende compte d'une erreur dans la relecture faite par un pilote à un autre contrôleur. Dans un environnement plus automatisé, par exemple avec communications pilote-contrôleur par liaison de données (CPDLC) comme moyen primaire de communication, ce mode additionnel de défense n'existe pas.

5.2.17 Pendant de nombreuses années encore, les systèmes ATC continueront d'employer une combinaison de divers types de communication. Le contrôle de la circulation aérienne devra offrir des services à des types d'avions très différents par leur équipement de communication embarqué. Le contrôleur devra comprendre et intégrer tous les types d'informations qui pourront être rencontrés. S'il existe des aides automatisées aux communications, il devra savoir comment elles fonctionnent. Différents types d'informations communiquées ne pourront être combinés et conciliés que de façons qu'autorise la conception de l'interface homme-machine.

5.2.18 Pour éviter ambiguïtés et sources d'erreur, il faut que le contenu, la structure, les dialogues, le vocabulaire et les séquences des messages ATC vocaux soient aussi uniformisés que possible. Cette uniformisation est déjà réalisée dans une large mesure depuis de nombreuses années. L'alphabet d'épellation de l'OACI est le résultat d'intenses recherches pour le choix d'un ensemble de mots ayant une consonance aussi différente que possible les uns des autres, même s'ils sont prononcés sur des voies de communication bruyantes ou dégradées, par des locuteurs de langue maternelle autre que l'anglais. Cet alphabet d'épellation s'est révélé efficace et il n'est guère vraisemblable que l'on parviendrait à l'améliorer sensiblement en poursuivant les recherches. (Le fait qu'il se prête à la reconnaissance par l'être humain n'implique cependant pas qu'il se prête tout aussi bien à la reconnaissance par machine.)

5.2.19 Les principales sources de confusions et de similitudes phonétiques sont bien connues. Si des avions dont les indicatifs d'appel se ressemblent évoluent dans le même espace aérien, cela sera inévitablement une cause potentielle d'erreur humaine. La meilleure façon d'éviter que cela se produise est la planification préalable. Lorsqu'il est prévu que des avions évoluent dans une même zone à un certain stade de leur vol, il faut leur assigner des indicatifs d'appel nettement différents. On pourra réduire les risques d'ambiguïté en établissant toujours le contenu des messages ATC dans un format et dans un ordre standardisés. Il y aura ainsi moins de risques qu'un type d'information soit pris pour un autre.

Exemple: Le chiffre «250» pourrait signifier un niveau de vol, un cap ou une vitesse ou pourrait encore être la partie numéro de vol d'un indicatif d'appel. Il est évident qu'il y a là un fort potentiel d'ambiguïté si des procédures normalisées ne sont pas respectées.

5.2.20 Les communications peuvent être améliorées par une bonne discipline des contrôleurs et des pilotes. Il est toujours important de parler lentement et clairement, surtout si la langue employée n'est pas la langue maternelle de celui qui parle ni de celui qui écoute. Vers la fin d'un long quart ou d'un long vol, à un moment où le contrôleur ou le pilote peut être fatigué, son élocution devrait être particulièrement lente et claire. Les voix deviennent familières. Si le contrôleur qui répond au pilote n'est pas celui que ce dernier s'attend à entendre, cela risque d'être une source de confusion pour le pilote; si différents membres d'équipage interviennent dans un dialogue avec l'ATC, cela peut être une source de confusion pour le contrôleur. Des transmissions dans lesquelles le début ou la fin d'un message est coupé sont potentiellement dangereuses, surtout lorsque le contrôleur est très occupé — et c'est alors que cela risque le plus de se produire. La confirmation systématique des messages et une invitation à les répéter s'il y a la moindre incertitude aideront à éviter les erreurs. Il faut prendre garde en particulier à la propension humaine à entendre plutôt ce que l'on s'attend à entendre que ce qui est dit effectivement.

Exemple: Dans une situation où un avion vient d'atterrir sur la piste et où l'avion suivant signale qu'il est en approche finale (par exemple au-dessus de la balise extérieure), le contrôleur répondra normalement à l'avion en approche finale qu'il est «numéro un». Assez souvent, dans cette situation, le pilote répétera «autorisé à atterrir», car c'est cela qu'il s'attendait à entendre.

5.2.21 De façon analogue au développement de l'alphabet d'épellation OACI pour les communications vocales, des

normes sont en voie d'être introduites par l'OACI pour être employées dans les communications contrôleur-pilote par liaison de données (CPDLC). Avant de mettre en oeuvre les CPDLC, il est cependant de la plus haute importance de prendre entièrement en considération les questions de facteurs humains, tant pour le poste de pilotage que pour le côté sol.

5.3 L'AUTOMATISATION DANS LE CONTRÔLE DE LA CIRCULATION AÉRIENNE

Automatisation complète ou partielle

5.3.1 Beaucoup de systèmes ATC modernes comprennent certaines fonctions, de collecte et de traitement de données par exemple, qui sont entièrement automatisées et n'exigent aucune intervention humaine. Cela peut avoir d'importantes incidences en matière de facteurs humains, par exemple dans le cas où le contrôleur n'est pas en mesure d'établir si certaines fonctions entièrement automatisées ont été exécutées ou si elles l'ont été avec succès. Si une de ces fonctions entièrement automatisées était précédemment exécutée par le contrôleur, celui-ci risque de ressentir l'absence de la connaissance qu'il acquerrait en exécutant cette fonction comme une perte de conscience de la situation du trafic.

5.3.2 La présente section porte principalement sur une forme différente d'automatisation de l'ATC, dans laquelle l'automatisation d'une fonction est partielle ou incomplète, étant destinée à aider le contrôleur. Les incidences de telles formes d'automatisation en matière de facteurs humains sont directes et immédiates. Elles posent des problèmes de relations homme-machine qu'il faut mettre en évidence et résoudre dès la conception du système, avec confirmation ultérieure de la réalisation des objectifs opérationnels. Il s'agit ici principalement de l'interface homme-machine.

Raisons de l'automatisation

5.3.3 Il y a plusieurs raisons à l'introduction progressive des automatismes dans les systèmes ATC. L'une d'elles est liée aux progrès des techniques et de la navigation, grâce auxquels on dispose de données plus exactes, précises, fiables et actuelles sur la position de chaque avion, ses projets et ses intentions, son niveau de vol et sa vitesse, et sur la progression du vol. Ces développements sont souvent accompagnés de progrès dans la technologie des visualisations, qui permettent d'améliorer la représentation de l'avion sur les écrans ATC, et de progrès dans l'assistance automatisée pour la résolution des problèmes, les prévisions et la prise de décision. La collecte, le stockage, la compilation, l'intégration, la présentation et la communication des informations sont des processus essentiels dans le contrôle de la circulation aérienne et peuvent tous faire l'objet d'une assistance informatique.

5.3.4 Partout dans le monde, le trafic aérien s'intensifie. L'information sur les avions s'améliore quantitativement et qualitativement, ce qui est nécessaire pour que des avions plus nombreux puissent évoluer dans le même espace aérien de façon aussi sûre qu'ils le font actuellement. Comme il y a davantage d'avions et plus d'informations concernant chacun d'eux, le volume d'informations ATC s'accroît jusqu'à dépasser les capacités de traitement des systèmes existants. Or, il faut maintenir la sécurité et l'efficacité. Il n'est pas toujours possible de résoudre les problèmes par une sectorisation plus poussée de l'espace aérien et en engageant des contrôleurs plus nombreux; à un certain stade, en effet, la charge supplémentaire de liaison, de coordination et de communications dépasse les avantages obtenus par ailleurs. Les tendances à long terme sont d'avoir plus d'informations concernant chaque avion, un moindre délai admissible pour s'en occuper parce que les avions sont plus rapprochés, et moins de temps à consacrer à chaque avion par les contrôleurs.

5.3.5 L'information ATC et les outils du contrôleur sont en pleine évolution, avec le passage du papier (bandes de progression de vol) aux affichages électroniques, au traitement de l'information assisté par ordinateur et à l'automatisation (exécution par ordinateur). Ce processus évolutif a atteint des stades très différents de pays à pays. Il a été conclu⁴ qu'une automatisation accrue de l'ATC est inévitable. Les questions qui se posent portent donc sur le point de savoir quand, où et comment introduire l'automatisation, et non s'il convient de l'introduire.

Exemples d'automatisation applicable à l'ATC: le service automatique d'information de région terminale (ATIS) (qui élimine la nécessité de lire constamment des données météo par R/T); les comptes rendus d'altitude mode C; l'affichage de séquences d'arrivée et de départ entre organismes de contrôle d'aérodrome et de contrôle d'approche/de départ, soit par TV en circuit fermé, soit par d'autres moyens électroniques (ce qui supprime la nécessité de communications vocales fréquentes); les liaisons de données sol-sol entre organismes et/ou centres ATC (ce qui élimine aussi la nécessité de communications vocales fréquentes).

Objectifs de l'automatisation

5.3.6 Bien employés, les automatismes peuvent être un atout considérable. Ils peuvent renforcer l'efficacité, améliorer la sécurité, aider à éviter les erreurs et accroître la fiabilité. Il s'agit de faire en sorte que ce potentiel se concrétise, en alliant les aides automatisées et les possibilités humaines et en adaptant mutuellement l'opérateur humain et la machine, de manière à tirer pleinement parti des points forts respectifs de

chacun. Selon les types de trafic (densité, types d'avions) et d'équipement au sol (moyens de communication et de surveillance), différents types d'outils peuvent être développés pour réaliser ces objectifs:

- 1) outils fournissant des informations supplémentaires sans induire de changements majeurs dans les méthodes de travail, par exemple réseau TV;
- 2) automatisation partielle ou complète de tâches existantes non expertes, par exemple transmission de données de contrôle par liaison de données ou emploi du radar secondaire (SSR) pour établir la corrélation entre un strip de progression de vol sur papier et une réponse radar, en affichant l'identité de l'avion près de la réponse;
- 3) outils fournissant de l'information qui introduit un changement radical dans les méthodes de travail, par exemple radar ou surveillance dépendante automatique (ADS);
- 4) automatisation de ce que l'on appelle des tâches expertes, en utilisant soit des systèmes experts, soit des outils capables de calculer et de négocier des trajectoires 4D non conflictuelles dans un système air-sol intégré, par exemple la planification des courants de trafic, la résolution de conflit ou le séquencement du trafic en région terminale.

5.3.7 L'influence des considérations de facteurs humains sur l'efficacité des outils va en augmentant du type 1 au type 4. De nombreux services ATC dans le monde sont déjà dotés d'outils des types 1 à 3 et ont une certaine expérience des questions de facteurs humains que ces outils introduisent, mais les questions que posent les outils du type 4 demandent à être considérées attentivement. Dans la plupart des systèmes automatisés, l'humain reste l'élément clé du système: la machine aidera l'opérateur, et non l'inverse. La collaboration entre l'humain et la machine est à étudier à un stade très précoce du développement de n'importe quel outil, sans quoi cet outil ne pourra pas être utilisé comme il le faudrait, voire pas du tout être utilisé, ce qui pourrait compromettre l'efficacité du système ou sa sécurité.⁵

Contraintes

5.3.8 Il faut que les fonctions humaines au sein du système ATC soient décrites clairement. Diverses contraintes devront être surmontées, notamment les suivantes:

- Il faut maintenir le niveau d'expertise humaine. Même des systèmes très fiables peuvent avoir des défaillances; en cas de défaillance, il faut que le système reste sûr, même s'il ne reste pas nécessairement efficace. Si le système automatisé cesse de fonctionner, le contrôleur devra toujours être en mesure d'acheminer le trafic sans l'assistance de la

machine, même s'il en résulte pour lui une charge très élevée, et cela au moins jusqu'à ce que tous les avions présents dans le secteur aient atterri ou aient quitté sa zone de responsabilité; au besoin, cela devra se faire sans que les relations normales pilote-contrôleur soient assurées.

S'il est possible de retourner des fonctions automatisées aux fonctions humaines en cas de défaillance, il faut qu'il soit également possible de rétablir les automatismes une fois la défaillance réparée. L'expertise humaine est particulièrement importante lorsque l'on automatise des tâches expertes, telles que la résolution de conflit. Or, elle ne peut être maintenue que par une pratique régulière, car elle se perd progressivement si l'on n'a jamais l'occasion de l'utiliser. Cela introduit ce qui a été appelé le «paradoxe de l'automatisation»: une raison de plus d'automatiser les tâches humaines est souvent de réduire le nombre d'opérateurs humains, ou de s'accommoder de sa réduction. Si toutefois (comme indiqué ci-dessus) on compte sur l'humain pour prendre en main la situation en cas de défaillance de l'équipement, il paraît raisonnable que le nombre d'opérateurs soit au moins le même que dans une situation sans automatisation. De même, on pourrait soutenir que le volume de trafic acheminé dans un environnement ATC automatisé ne devrait jamais être supérieur à ce qui pourrait être acheminé sans ce degré d'automatisation. De plus, si la qualité de l'équipement automatisé est telle qu'il n'y ait jamais de défaillance, la nécessité de former les opérateurs pour qu'ils soient capables de faire face à un événement aussi rare, ce qui est fait généralement sur simulateur, devient très grande et exigera des ressources humaines additionnelles.

- Il faut maintenir la représentation mentale du trafic que se fait le contrôleur. Cette représentation risque de devenir moins détaillée et plus vague si le contrôleur intervient moins activement dans les processus de contrôle et n'a pas besoin d'une compréhension aussi détaillée de la circulation aérienne pour contrôler celle-ci.
- Il faut que la charge du contrôleur reste comprise entre un seuil minimum et un maximum. S'il y a trop peu de travail, cela entraîne l'ennui, l'inattention et la perte d'habileté, ce qui peut être dangereux en périodes de faible densité de trafic. Au delà du seuil de surcharge, le contrôleur ne peut plus garantir la sécurité. L'automatisation peut, dans certaines circonstances, occasionner des tâches particulières, qui génèrent une charge de travail supplémentaire. Il n'existe pas encore de façon satisfaisante de quantifier la charge de travail dans un processus aussi complexe que le contrôle de la circulation aérienne. La charge peut être générée par différents paramètres qu'il n'est pas facile de combiner, notamment le

nombre d'avions et la complexité de la situation du trafic, qui n'est pas directement fonction de ce nombre.

- Différents types de charge ne sont pas équivalents. Le temps gagné en réduisant un certain type de travail ne peut pas toujours être consacré à un autre type. Par exemple, le fait de réduire les besoins d'insertion de données ne donne pas nécessairement plus de temps pour la prise de décision. Des tâches qui exigent des compétences et des habiletés différentes ne seront peut-être pas interchangeables. Des fonctions qui ont été automatisées peuvent nécessiter une vérification humaine.
- Il faut maintenir la satisfaction que procure le travail, ce qui fait intervenir l'effort, le défi et l'utilisation des compétences. L'automatisation pourrait bien réduire l'effort qu'exigent certaines tâches et le stress qui les accompagne, mais conduire à une perte de la satisfaction liée au travail en enlevant une partie de l'intérêt intrinsèque de ce travail et le sentiment de maîtriser certaines fonctions. Cela est particulièrement important en ce qui concerne la résolution de problème, la prise de décision, la prévision et la planification (c'est-à-dire avec les outils de type 4).
- Il faut que le contrôleur puisse comprendre le système automatisé et s'y fier. Il faut que le système soit fiable ou, pour le moins, que le contrôleur sache quand il risque de ne pas l'être — connaissance qui peut être un aspect de l'aptitude professionnelle du contrôleur; celui-ci devra, par exemple, reconnaître dans quelles circonstances une fausse alarme risque de se produire. Un outil qui n'est pas entièrement digne de confiance ne devrait jamais être introduit; si un tel outil est introduit, il risquera d'être sans doute ignoré ou mal employé.

Exemple: Dans plusieurs des systèmes ATC automatisés des années 70 et 80, une forme rudimentaire de détection de conflit fut introduite. Elle était souvent si rudimentaire qu'elle affichait simplement tous les avions évoluant dans une région auxquels était assigné le même niveau de vol. La méthode d'affichage pouvait comporter une étiquette clignotante ou une liste de tous ces avions sous forme de tableau dans une liste spéciale sur l'écran. Il va sans dire que cette information bien intentionnée était ignorée.

- Il faut écarter toute ambiguïté dans le partage des tâches et la division des responsabilités entre contrôleurs. Un partage des tâches efficace exige une planification rigoureuse et un aménagement judicieux des positions de travail. Il faut que chaque

contrôleur sache toujours quelles tâches il lui incombe d'effectuer manuellement, quelles tâches sont effectuées entièrement par d'autres contrôleurs, avec ou sans automatismes, et quelles tâches sont partagées avec d'autres contrôleurs. Si les fonctions de planification et d'exécution du contrôle sont physiquement séparées, il peut être impossible à chacun d'assumer les principales fonctions de l'autre en cas de défaillance du système.

- L'information étant transmise de l'homme au système et du système à l'homme, il faut que le processus de coordination homme-machine soit soigneusement défini. Il faut avoir l'assurance que le contrôleur et le système, ou le pilote dans le cas d'une liaison de données par exemple, donnent suite à la transmission d'information. Mais la coordination homme-machine ne consiste pas seulement en échanges d'information. Aucune interférence ne doit se produire entre les processus de décision automatisés et les actions du contrôleur. Cela est particulièrement difficile à réaliser lorsque des décisions peuvent être appliquées par une succession d'actions et non par une action unique à un moment fixé.

Exemple: En Europe, des restrictions ATFM ont souvent pour cause des contraintes auxquelles sont soumises des installations éloignées des aéroports de départ des vols (auxquels ces restrictions s'appliquent). Il se révèle difficile pour les contrôleurs aussi bien que pour les pilotes, aux aéroports relativement tranquilles, d'accepter des retards à cause d'un «trafic aérien dense» et il s'ensuit que les restrictions ne sont pas toujours respectées.

- S'il pourrait être assez facile pour le contrôleur d'employer un dispositif tel que des strips électroniques pour informer la machine des actions humaines, il peut être beaucoup plus difficile d'informer le système de futures intentions humaines. Un objectif est de communiquer à la machine les intentions humaines pour qu'elle puisse aider l'opérateur humain à les réaliser.

5.3.9 C'est une erreur que de commencer par développer des systèmes pour essayer ensuite de concevoir la façon dont les humains les utiliseront. C'est pourquoi la participation des contrôleurs est nécessaire tout au long de l'élaboration du système, depuis les spécifications initiales jusqu'à ce qu'il devienne opérationnel. L'interface homme-machine devrait intégrer différents outils automatisés tout en améliorant la présentation de l'information à l'homme et les communications entre l'homme et la machine. Il n'est pas nécessaire (et il peut même être dangereux) de présenter trop d'informations, comme c'est toujours possible dans des systèmes fortement

automatisés. L'objectif est de présenter des informations pertinentes et opportunes, au moment où elles sont nécessaires. Les différents dispositifs d'entrée de données peuvent se prêter à certains dialogues et à certaines interactions mieux qu'à d'autres.

Autre exemple: Une des insuffisances du TCAS que les contrôleurs ont eu tôt fait de découvrir est que l'ancienne logique TCAS ne tenait pas compte du fait que les avions pouvaient être en montée et/ou en descente vers des altitudes de sécurité assignées pouvant être espacées de seulement 1 000 pieds. Cela conduisait alors à des manoeuvres TCAS par lesquelles l'avion qui était censé se trouver 1 000 pieds plus haut que l'autre passait finalement au-dessous de lui. Dans les versions ultérieures de la logique TCAS, ce problème a été largement résolu.

5.3.10 Un développement, ayant ses origines dans les systèmes intelligents à base de connaissances et dans certains aspects de l'intelligence artificielle et des systèmes experts, a été l'introduction de formes d'assistance pouvant aider le contrôleur à prendre les décisions, à résoudre les problèmes, à faire des prévisions et à planifier les travaux futurs. Ces formes d'assistance sont basées sur des calculs faits à partir de données captées automatiquement; leur valeur — et en fait la possibilité de les mettre en oeuvre — dépend de la disponibilité de ces données et de la puissance de calcul nécessaire. Ces aides peuvent manipuler davantage de données, plus rapidement, plus fréquemment et de façon plus fiable que ne pourrait le faire un opérateur humain. Elles sont utiles, en permettant au contrôleur humain de faire davantage en moins de temps. En cas de défaillance, cependant, le contrôleur humain qui prendrait leur place utiliserait beaucoup moins d'informations, prendrait de moins bonnes décisions, serait plus lent ou omettrait certaines fonctions. Un des problèmes de l'automatisation est donc la mesure dans laquelle l'opérateur humain peut prendre la relève en cas de défaillance. Plus l'assistance des automatismes est utile quand elle fonctionne normalement, plus il devient difficile pour le contrôleur de compenser une défaillance de cette assistance.

5.3.11 Comme dans tout système qui est tributaire de l'intervention humaine en cas de défaillance, on attend du contrôleur qu'il soit prêt à prendre la relève et à maintenir la sécurité du service ATC, ce qui implique que l'information qui lui est fournie doit être constamment actualisée et que le contrôleur doit maintenir une compréhension complète de la situation du trafic. Si cette condition n'était pas remplie, il ne serait peut-être pas possible de retourner en toute sécurité à des formes de contrôle plus manuelles en cas de défaillance du système. L'homme ne pourra pas être aussi efficace dans le mode manuel rétabli sans bénéficier de l'assistance de l'ordinateur, mais il devra rester sûr.

5.3.12 Un des problèmes de l'automatisation de l'ATC a toujours été l'intégration de différents types d'informations de diverses origines. Les strips ne peuvent pas facilement être agencés avec les mêmes positions relatives que les plots radar; ils contiennent trop d'informations pour être condensés dans une étiquette sur un affichage radar, sans que se posent des problèmes insurmontables de chevauchement d'étiquettes, de fouillis et d'ambiguïté d'interprétation. C'est pourquoi on a souvent cherché, en introduisant l'automatisation dans l'ATC, de meilleures façons d'intégrer les deux sortes de données et de faire des recoupements entre elles.

5.3.13 Les strips de papier n'introduisent pas de données dans un ordinateur. Lorsque le contrôleur les emploie, il doit mettre à jour l'information manuellement, mais peut-être aussi actualiser l'information correspondante dans l'ordinateur, afin que tous les calculs basés sur cette information et présentés sous forme d'assistance informatisée soient exacts. Si le contrôleur a trop de travail, l'actualisation de l'information risque d'en souffrir parce qu'elle peut être différée, bien qu'il devienne alors de plus en plus difficile de rattraper le retard. Le double travail que représente l'actualisation de la même information sous deux formes différentes semble être du gaspillage. Cependant, effectuer la même tâche sous deux formes peut aider à éviter des erreurs typiques de l'une de ces formes seulement, ainsi qu'à renforcer la compréhension et la mémoire. Il faut veiller à ne pas engendrer de nouveaux problèmes en cherchant à éviter de faire du travail en double.

Exemple: Dans un système ATC automatisé européen (conçu à la fin des années 70), il existe à la fois des strips de progression de vol en papier et électroniques. La philosophie initiale était que les strips papier seraient progressivement éliminés en faveur des strips électroniques, mais ils ont été conservés pour diverses raisons, de sorte que les contrôleurs doivent actualiser les uns et les autres, ce qui accroît sensiblement la charge de travail. (La plupart des contrôleurs ont développé le style de travail pour utiliser les uns comme «source primaire» et n'actualiser les autres que lorsqu'ils sont sur le point d'être relevés.)

5.3.14 Diverses formes de strips automatisés sont à l'essai. On cherche à remplacer les strips papier et à aider le contrôleur à réduire au minimum le travail en double en facilitant l'introduction dans le système de ses actions et de ses décisions, ainsi qu'en intégrant sur les strips l'information radar et l'information sous forme tabulaire. Les strips électroniques sont un exemple de l'objectif de l'automatisation qui consiste à réduire les travaux de routine et à accroître le temps dont dispose chaque contrôleur pour le contrôle des avions. Des progrès sont réalisés, mais le problème se révèle plus complexe qu'on ne le pensait, car les strips papier remplissent une gamme de fonctions ATC plus complexe qu'on ne s'en rendait compte initialement.

Autres incidences de l'automatisation

5.3.15 Il est possible d'adopter différentes philosophies correspondant à différents rôles respectifs de l'humain et de la machine dans les tâches automatisées. Si une machine remplit un rôle consultatif, par exemple, elle peut calculer différentes solutions et les proposer au contrôleur dans un ordre de préférence dépendant de critères de performance. Il appartient au contrôleur de valider les solutions proposées et de choisir l'une d'elles ou, si aucune ne semble appropriée, de concevoir et d'appliquer une autre solution. Le contrôleur pourra aussi définir des contraintes supplémentaires dont la solution proposée devra tenir compte. Dans un processus de séquençement en région terminale, par exemple, il pourra imposer pour un certain avion une heure d'arrivée que toute solution calculée devra obligatoirement respecter. Dans certains cas, le contrôleur pourra déléguer à la machine l'application d'une solution. Dans un rôle consultatif, la machine ne peut jamais prendre une décision sans l'accord du contrôleur.

5.3.16 Si la machine est toujours adéquate, le contrôleur risque de développer une confiance excessive en elle et d'accepter automatiquement les solutions proposées, sans les vérifier. Par contre, si la machine semble insatisfaisante à n'importe quel égard, il ne l'emploiera peut-être pas du tout. Il faut que toute forme d'assistance automatisée fournie au contrôleur soit d'un haut niveau de fiabilité, mais cela risque d'induire chez l'humain un relâchement de la vigilance. Il existe un risque que l'expertise humaine se perde progressivement et que, en cas de défaillance de la machine, le contrôleur accepte une solution qui ne convient pas ou devienne incapable de formuler une solution de rechange satisfaisante.

5.3.17 Ce rôle consultatif peut être plus adapté aux fonctions de planification qui consistent dans une large mesure à manipuler des contraintes. Le contrôleur de planification pourrait définir des contraintes que l'outil n'a pas prises en compte et les transmettre à la machine. Si la machine est bien conçue, une véritable coopération homme-machine pourra s'établir, en conservant l'expertise humaine. Cette coopération homme-machine existe déjà, par exemple dans certains outils de séquençement en région terminale. **Les formes les plus opportunes de relations homme-machine dépendent du type de tâche qui est automatisé et en particulier des interactions entre fonctions de planification et d'exécution.** À titre d'exemples de fonctions de planification, on peut citer l'attribution des niveaux de vol dans un secteur en route, la coordination entre secteurs et le séquençement des aéronefs qui entrent dans une région terminale; par contre, la détection et la résolution de conflit, le suivi et la surveillance, sont des fonctions d'exécution. Il peut être plus facile de concevoir des outils satisfaisants pour les contrôleurs de planification que pour les contrôleurs chargés de fonctions d'exécution déterminées, telles que la prévention des collisions.

5.3.18 Dans un autre rôle, le système reconnaît des catégories de problèmes qu'il sera capable de résoudre entièrement. Dans un processus de détection ou de résolution de conflit, par exemple, il pourrait résoudre les conflits qui impliquent deux avions mais pas ceux qui en impliquent trois. Certaines tâches

peuvent être attribuées soit à l'homme soit à la machine, pourvu que la machine soit en mesure d'accepter un problème qui lui est attribué. Le processus d'attribution peut aider à éviter les extrêmes dans la charge du contrôleur. Un travail approfondi de mise au point est nécessaire pour la mise en oeuvre réussie de rôles de la machine qui puissent résoudre entièrement les problèmes.

5.3.19 L'automatisation de la transmission de données risque d'entraîner des problèmes de facteurs humains en privant le contrôleur de renseignements importants sur leur fiabilité et leur durabilité. Par exemple, parce que certaines informations transmises par la parole ne peuvent pas être exprimées sous forme numérique, le processus d'automatisation n'en tient pas compte; ainsi, même s'il y a un important contenu d'information *quantitatif*, on perd l'élément *qualitatif* (confiance, hésitation, charge de travail, urgence...) dont le contrôleur aurait besoin pour en faire le meilleur usage. Il faut établir la signification de cette information qualitative avant qu'elle soit éliminée et il faudra peut-être adopter des méthodes alternatives pour la fournir.

5.3.20 Chaque fois que des tâches sont effectuées automatiquement plutôt que manuellement, ce que le contrôleur comprend et retient au sujet du trafic qu'il contrôle peut changer. Reconnaître ce fait avant que l'automatisation soit introduite permet de prévoir une compensation si celle-ci amène des changements inacceptables dans la compréhension et la mémoire. L'exécution des tâches ATC courantes stimule la mémoire, ce qui n'est pas le cas lorsque ces tâches sont effectuées automatiquement pour le contrôleur. Ceci peut être acceptable pourvu qu'on en ait préalablement pris conscience et qu'il en ait été tenu compte dans la planification du système et des tâches.

Fonctions d'équipe

5.3.21 L'automatisation peut avoir des effets sur certaines interfaces humain-humain dans le contrôle de la circulation aérienne; certains changements dans les méthodes de vérification et de supervision peuvent en résulter. Un système ATC manuel se prête à l'inspection et à la vérification; un chef d'équipe ou un collègue peut voir tout ce que fait un contrôleur, juger de sa compétence, aider un contrôleur surchargé ou appeler l'attention sur des problèmes restés non décelés. Ces fonctions deviennent beaucoup plus difficiles lorsqu'une assistance automatisée est fournie pour la solution des problèmes, la prise de décision et la prévision, car elles seront moins immédiatement observables par autrui. Il devient également plus difficile de juger la performance du contrôleur individuel par des évaluations en cours d'emploi, utilisées pour les décisions sur l'évolution de carrière, les promotions, le recyclage, l'attribution des tâches, ou les instructions et procédures appropriées. L'introduction d'une assistance par ordinateur peut exiger la réévaluation de tous ces facteurs.

5.3.22 Les rôles et les fonctions d'équipe dans les systèmes automatisés sont différents de ceux qui peuvent être exercés dans les systèmes manuels. Dans les systèmes plus

automatisés, les contrôleurs sont plus autosuffisants et autonomes; ils accomplissent davantage de tâches en interaction avec la machine qu'en interaction avec des collègues ou avec des pilotes. Il y a moins de parole et davantage de frappe sur le clavier. Cela a des effets sur l'exécution et l'évolution de fonctions qui étaient traditionnellement des fonctions d'équipe, comme la supervision, l'assistance, l'évaluation et la formation en cours d'emploi.

5.3.23 La plupart des formes d'assistance automatisée sont destinées à aider à l'exécution de tâches individuelles plutôt que de tâches collectives qui dépendent d'interfaces humain-humain. S'il y a eu une vaste automatisation des tâches, il pourra être plus difficile pour des contrôleurs moins expérimentés d'apprendre et de profiter de leur travail aux côtés de collègues ayant une expérience et une compétence plus grandes. Les contrôleurs seront aussi moins en mesure de remarquer une erreur d'un collègue. Les effets de tels changements peuvent être substantiels et il faudra peut-être reconcevoir les positions de travail et revoir les méthodes de sélection et de formation pour rétablir un accord optimal entre l'homme et la machine.

5.3.24 Lorsque des travaux sont effectués par des membres d'une équipe étroitement coordonnée, un consensus général sur les mérites relatifs des performances individuelles peut être à la base non seulement du respect professionnel et de la confiance, mais aussi des promotions ou de l'attribution de nouvelles responsabilités. L'automatisation des tâches modifie certains éléments de base de ces décisions, de même que les éléments disponibles pour l'évaluation de la performance individuelle. Si le contrôle de la circulation aérienne consiste à accepter les décisions de l'ordinateur, cela ne confirme pas en soi le niveau de compétence du contrôleur considéré individuellement. Il faudra peut-être trouver d'autres moyens de vérifier le maintien de l'aptitude et des compétences professionnelles du contrôleur. Les simulations ATC peuvent répondre à ces besoins, comme les simulateurs de vol le font pour certains pilotes.

Note.— On trouvera dans l'Appendice au présent chapitre des lignes directrices sur l'élaboration de la formation en gestion des ressources en équipe (TRM).

Normalisation

5.3.25 Une question que soulève l'automatisation concerne la normalisation, en particulier dans les communications. Dans les messages entre contrôleurs et pilotes, le format, les termes et les séquences d'éléments sont normalisés; la normalisation est moins complète pour certaines autres communications, par exemple avec les véhicules au sol. Il arrive assez souvent que des pratiques et des procédures non normalisées, qui se sont ancrées chez les contrôleurs de certains organismes ATC, entraînent des problèmes si elles sont incompatibles avec les formes normalisées d'assistance informatique qui sont introduites à l'échelle du système, soit pour remplacer la parole humaine, soit pour présenter son contenu sous d'autres formes, telles que des mots visuels ou des messages audibles synthétisés.

5.3.26 La sécurité des communications verbales est maximale lorsque chacun respecte les expressions, formats et séquences de message et accusés de réception normalisés, d'emploi universel. Les exceptions, qui risquent d'entraîner erreurs et malentendus, sont à proscrire. Bien que la plupart des formes actuelles d'automatisation semblent être rigides et non flexibles, l'automatisation peut, en principe, admettre plus de souplesse dans les formes, le contenu et la langue des messages que les opérateurs humains ne peuvent en admettre, ce qui soulève à nouveau la question du degré de normalisation souhaitable dans la perspective de la sécurité.

Exemple: Dans les CPDLC, il est techniquement réalisable que toutes les stations utilisent leur propre langue dans les apports de données, et que des automatismes traduisent dans la langue du destinataire. Mais cela introduit de nouveaux problèmes de facteurs humains, en particulier lorsqu'il s'agit d'employer l'option «format libre» des CPDLC pour transmettre des messages non standard, ou lors du travail dans une salle d'opérations ou un poste de pilotage multinational. De tels problèmes pourraient mener à l'adoption d'une langue commune pour les CPDLC, en dépit des possibilités technologiques.

5.3.27 L'automatisation propose une façon de contrôler la circulation aérienne qui est censée être la meilleure. Or, les différents contrôleurs avaient généralement une certaine souplesse dans le choix de leurs techniques de contrôle. Des techniques différentes peuvent être largement équivalentes du point de vue de la sécurité et de l'efficacité, sans que l'une d'elles soit manifestement supérieure à toutes les autres. Un système automatisé peut décourager la souplesse humaine et imposer la standardisation. Avec les formes actuelles d'assistance automatisée, il est recommandé d'appliquer une standardisation rigide et de ne pas introduire de variantes ni de raccourcis, susceptibles de produire une nouvelle moisson d'erreurs humaines ou de malentendus. Cela est susceptible d'avoir un effet sur la satisfaction que le contrôleur retire de son travail.

Interface homme-machine et erreur humaine

5.3.28 L'interface homme-machine consiste principalement en liens humain-documentation et humain-matériel. Traditionnellement, la plupart des informations étaient transmises de la machine à l'homme au moyen de visualisations et de l'homme à la machine au moyen de dispositifs d'insertion de données et de commandes. L'automatisation modifie ce qui est transmis à travers l'interface homme-machine, et cela conduit soit à l'absence totale de transmission de certaines informations, soit à des modifications de la forme des informations transmises, telles que le passage de la parole humaine

à l'entrée sur clavier, ce qui à son tour modifie les types d'erreurs humaines qui peuvent se produire lors de la transmission d'un message. Les erreurs dans les communications vocales sont souvent causées par des confusions phonétiques (sons qui se ressemblent trop pour pouvoir être distingués avec certitude). Des erreurs visuelles ou des lectures erronées peuvent avoir pour cause la ressemblance entre certains caractères alphanumériques, la confusion entre deux lignes de données, la ressemblance entre certains blocs de données, des indications visuelles sur les touches qui donnent une impression trompeuse de leurs fonctions, etc.

5.3.29 Tous les types d'erreurs humaines ne se ressemblent pas, mais leur nature générale est souvent prévisible, parce que les décisions sur le choix de la méthode d'insertion des données ou sur la forme et le contenu de l'information affichée sont aussi des décisions en rapport avec l'erreur humaine. Il n'est certes pas possible de prédire qui commettra une certaine erreur et dans quelles circonstances, mais il est possible de prévoir, avant qu'un changement soit apporté dans le système, quelles erreurs humaines ne pourront plus se produire et quels types nouveaux d'erreur deviennent maintenant possibles et doivent donc être empêchés.

Exemple: Dans un système ATC automatisé européen conçu dans les années 80, en cas d'erreur de frappe lors de l'insertion des heures dans les données du plan de vol, celui-ci disparaissait dans une partie de la mémoire d'où l'on n'arrivait à l'extraire que le lendemain ou plus tard, ce qui causait des problèmes opérationnels. Évidemment, de telles erreurs ne se produisaient pas avant l'introduction des automatismes, quand les données du plan de vol étaient écrites manuellement sur des strips.

Une des plus importantes applications de la connaissance des facteurs humains à toute forme d'assistance automatisée est cette identification de nouveaux types d'erreur humaine qui risquent d'apparaître à la suite de changements — surtout ceux qui risquent d'être dangereux.

5.4 LA SÉLECTION ET LA FORMATION DES CONTRÔLEURS DE LA CIRCULATION AÉRIENNE

Sélection des candidats

5.4.1 Le contrôle de la circulation aérienne est une profession exigeante — sa sécurité et son efficacité dépendant de la sélection des éléments qui deviendront les plus capables d'exercer les fonctions ATC. Une bonne procédure de sélection élimine à un stade précoce les candidats qui ne

conviennent pas, ce qui économise des frais de formation. La sélection et la formation se rapportent surtout à l'élément humain, tout en étant influencées dans une certaine mesure par toutes les autres interfaces du modèle SHEL.

5.4.2 Pour que la procédure de sélection soit efficace, il faut que le nombre de candidats dépasse substantiellement celui des postes vacants. Une condition préalable de son succès est donc que le contrôle de la circulation aérienne soit considéré comme une profession désirable, attirant de nombreux candidats. Afin d'encourager suffisamment de candidats valables à postuler, une campagne nationale de publicité positive peut être nécessaire. Plus les critères de sélection seront rigoureux, plus grande sera la proportion de candidats rejetés et plus il faudra donc que le vivier initial de candidats qualifiés soit important. Avec des candidats qui conviennent, le processus de sélection est la première étape capitale de la production de contrôleurs de la circulation aérienne compétents. Une procédure de sélection impartiale, basée sur des principes mettant en avant les facteurs humains, est essentielle.

5.4.3 L'analyse des postes ATC dans un contexte déterminé indique les compétences, les habiletés et les connaissances qu'exige chacun d'eux, ainsi que ce qu'il y a de commun entre eux. S'il y a beaucoup en commun, la même procédure de sélection pourra être employée pour tous les postes ATC; sinon, différents postes pourront exiger des procédures de sélection différentes. Certaines exigences du système ou particularités de l'ATC à l'échelon local, notamment le volume et les flux de trafic, le relief, les aides de navigation et autres moyens techniques, les relations géographiques entre pays, ainsi que les facteurs climatiques et météorologiques, pourraient demander la prise en compte de certaines qualifications humaines pertinentes.

Tests

5.4.4 Des analyses fines des tâches à accomplir permettent d'identifier beaucoup des caractéristiques mesurables de la performance humaine qui contribuent au succès. Une fois définies les caractéristiques à rechercher, on administre à tous les candidats des tests qui permettent de mesurer ces caractéristiques. Il faut que les tests soient normalisés et que la notation de leurs résultats soit impartiale. Toutes les caractéristiques mesurées par des tests n'étant pas également importantes pour l'ATC, certains résultats obtenus auront donc plus d'importance que d'autres. Certains tests mesurent une aptitude humaine générale dont on sait qu'elle intéresse de nombreux aspects de l'ATC. D'autres pourront mesurer une aptitude plus particulière, nécessaire à certaines tâches ATC.

5.4.5 De nombreuses aptitudes humaines mesurables par des tests normalisés sont retenues comme critères de sélection des contrôleurs pour leur utilité prédictive. Ce sont notamment l'intelligence générale, le raisonnement spatial, le raisonnement abstrait, le raisonnement mathématique, l'aptitude au partage des tâches, la facilité d'élocution et la dextérité manuelle. Ces tests font tous partie de certaines procédures de sélection, mais aucun n'a acquis une acceptation universelle.

Aucun test n'est assez sûr à lui seul pour que l'on s'y fie entièrement dans la sélection des contrôleurs. Beaucoup des tests de personnalité les plus courants ont été expérimentés dans la sélection des contrôleurs, mais aucun n'est largement utilisé; leur rôle a généralement été limité; ils ont aidé à interpréter d'autres mesures ou ont indiqué qu'il convenait de recueillir plus d'éléments sur un candidat.

5.4.6 On peut attacher plus d'importance aux résultats de certains tests qu'à ceux de certains autres. On peut employer des procédures de validation des tests pour suggérer la pondération qu'il convient de leur attribuer, afin de maximiser la valeur prédictive de la batterie complète de tests. Les procédés de présentation et de notation des tests s'automatisent, ce qui est un avantage du point de vue administratif (et est aussi plus objectif), pourvu qu'une présentation et une notation automatiques impartiales soient réalisables. Il faut cependant que les candidats aient l'occasion de se pratiquer et de se familiariser avec les tests automatisés, afin que les résultats de leurs tests ne soient pas compromis par le fait que les interfaces homme-machine et le dialogue avec l'ordinateur ne leur sont pas familiers.

5.4.7 Le processus de sélection n'est pas un processus statique; il doit évoluer avec les changements dans les emplois, les fonctions et les équipements ATC. On peut y apporter les modifications appropriées lorsque des recherches convenablement menées et validées auront montré qu'il y a lieu de prendre en compte d'autres dimensions humaines, se prêtant à des tests.

Autres données

5.4.8 Outre les tests, d'autres procédés et d'autres données jouent un rôle important dans le processus de sélection. Des facteurs tels que l'âge, les antécédents médicaux, la vue, l'ouïe, la stabilité émotionnelle et le bagage d'éducation présentent tous de l'intérêt pour procéder à la sélection des contrôleurs. Même des caractères anthropométriques de base peuvent être des critères de sélection — il pourrait en effet être impossible, par exemple, d'installer des personnes exceptionnellement grandes ou petites à certaines positions de contrôle. Certaines aires de travail ATC, notamment dans les tours de contrôle, peuvent être inaccessibles pour des personnes handicapées. Il faut que les contrôleurs maintiennent leur aptitude physique; on ne pourra donc pas sélectionner des candidats dont les antécédents médicaux indiquent un pronostic qui risque d'être défavorable. Alcoolisme et pharmacodépendance sont généralement des conditions disqualifiantes.

5.4.9 Il pourrait sembler qu'une expérience antérieure en aviation, la pratique de tests analogues à ceux qui sont employés pour la sélection des contrôleurs ou une expérience ATC (par exemple comme contrôleur militaire ou aide-contrôleur) conférerait un avantage; en réalité, la pertinence et l'intérêt de ces acquis antérieurs sont souvent décevants et il existe des différences de pays à pays dans la valeur qui leur est attachée. Un des problèmes est que les personnes ayant le

maximum d'expérience sont généralement plus âgées; or, il y aura moins de chances que des candidats âgés de plus d'une trentaine d'années mènent à bien une formation ATC. Une expérience antérieure connexe peut être un meilleur facteur prédictif de la motivation à devenir contrôleur que de l'aptitude à le devenir; elle pourrait se révéler plus applicable lorsqu'il s'agit de faire face à des urgences que pour les tâches ATC courantes.

5.4.10 Une entrevue permet de s'assurer que les candidats s'expriment clairement, ce qui est une caractéristique essentielle, puisqu'une grande partie du travail ATC s'effectue verbalement. Une entrevue peut contribuer à révéler l'aptitude d'un candidat à établir des relations avec autrui, ce qui est une autre caractéristique essentielle, sachant que la majeure partie du travail ATC ne se fait pas isolément mais en groupe et en équipe. Il faut que l'entrevue soit normalisée, structurée et qu'il puisse être démontré qu'elle est conduite et notée équitablement pour tous les candidats.

Formation

5.4.11 L'objectif de la formation des contrôleurs de la circulation aérienne est de parvenir à ce qu'ils possèdent les connaissances, les habiletés et l'expérience nécessaires pour s'acquitter de leurs fonctions de façon sûre et efficace et pour appliquer les normes ATC nationales et internationales. Un contrôleur doit être apte à comprendre les informations pertinentes et à leur assigner un rang de priorité, à planifier à l'avance, à prendre en temps voulu des décisions appropriées, à les appliquer et à les faire appliquer.

5.4.12 La formation fait intervenir l'apprentissage, la compréhension et la mémoire. Elle relie ce que le contrôleur sait déjà aux indications que fournit le système sur le trafic actuel et prévu. Elle relie les informations que le système présente automatiquement au contrôleur à celles dont celui-ci devra se souvenir sans aide et fournit des indications sur la façon de renforcer la mémoire humaine et de la rendre plus fiable. La formation établit aussi la relation entre les principes d'apprentissage et de présentation de l'information ATC et les possibilités et limites humaines de traitement et de compréhension de l'information. L'objectif est d'utiliser au mieux les points forts et les possibilités de l'être humain et de surmonter ou contourner ses insuffisances et ses limites, surtout en ce qui concerne les connaissances, les compétences, le traitement de l'information, la compréhension, la mémoire et la charge de travail.

Contenu de la formation et enseignement

5.4.13 Deux aspects essentiels de la formation sont son contenu et le processus d'enseignement. En ce qui concerne le contenu, il est utile de diviser la formation en une série de cours ou de phases, qui commenceront par les principes et pratiques de base, pour progresser, chaque fois qu'une phase s'est achevée avec succès, vers des aspects plus complexes de

l'ATC. Cette méthode exige d'abord la maîtrise des principes et pratiques de base, de sorte que les étapes ultérieures s'édifient sur les connaissances déjà acquises. Des cours distincts associés à des évaluations impartiales constituent des étalons de l'avancement de la formation et une sorte d'assurance de sa qualité. Cela peut être particulièrement utile pour démontrer que des changements introduits, que ce soit dans son contenu ou dans les méthodes d'enseignement, par exemple l'introduction d'aides didactiques automatisées, ont été positifs.

5.4.14 Il arrive que l'on déduise des tâches envisagées ce que doit être le contenu de la formation et ce que le contrôleur doit apprendre, seulement pour découvrir que cela ne peut pas être enseigné ou que les contrôleurs ne peuvent pas l'apprendre. En introduisant des changements dans les systèmes, pour quelque raison que ce soit, il est donc capital de déterminer quelles connaissances nouvelles le contrôleur devra acquérir et de démontrer que ces connaissances peuvent être enseignées et apprises. Il faut que les nouvelles formes d'assistance automatisée puissent être enseignées; autrement, les avantages qu'on en attend ne se concrétiseront pas et de nouvelles formes d'erreur humaine risquent d'apparaître, parce que l'assistance automatisée n'aura pas été entièrement comprise.

5.4.15 Différentes méthodes d'enseignement peuvent être employées dans la formation ATC. L'instruction en salle de classe portant sur les principes et les théories selon les méthodes académiques classiques, courante par le passé, est en recul de nos jours, en partie parce qu'on favorise une participation plus active, en partie parce que la pertinence de la théorie est souvent contestée et en partie enfin à cause des contraintes financières. L'instruction fondée sur la simulation en temps réel, dont une partie peut être très rudimentaire, est fortement préconisée comme moyen pratique de former des groupes de stagiaires; il est courant que l'on s'en remette essentiellement à la formation basée sur la simulation. Dans la formation en cours d'emploi, un stagiaire qui a déjà reçu l'instruction sur les principes de l'ATC apprend ses aspects pratiques de collègues contrôleurs, directement dans les centres et les tours de contrôle. Il y aura bientôt davantage de logiciels autodidactiques qui permettront aux stagiaires de pratiquer sur ordinateur des procédures et des habiletés particulières.

5.4.16 Le rôle du moniteur responsable de la formation en cours d'emploi est un rôle exigeant. Tous les contrôleurs ne font pas de bons moniteurs et tous les contrôleurs ne souhaitent pas le devenir. Il faut que le contrôleur qui forme des stagiaires souhaite enseigner, qu'il soit très compétent, qu'il ait confiance dans son propre savoir-faire et, enfin, qu'il soit capable de gérer une situation de trafic par l'intermédiaire d'une autre personne et d'inculquer à celle-ci des savoir-faire tout en conservant la maîtrise générale de la situation. Il y a des principes et des techniques d'entraînement que tous ceux qui exercent une fonction de moniteur devraient connaître pour que l'entraînement soit efficace et que le niveau des services de la circulation aérienne soit maintenu. Assumer une fonction de moniteur est une tâche spécialisée, que l'on accomplit en plus du contrôle des mouvements aériens. C'est

pourquoi on verra qu'un contrôleur doit avoir acquis une certaine expérience opérationnelle avant de commencer à entraîner des novices.

5.4.17 Il existe des différences de pays à pays dans les politiques relatives à l'éventail de fonctions ATC qu'un contrôleur devrait être qualifié pour accomplir, ce que reflètent la forme et la durée de la formation. Une connaissance des pratiques et procédures ATC fondamentales est indispensable, même dans les systèmes évolués, car la sécurité peut en dépendre en cas de défaillance du système. Il peut être nécessaire d'assurer régulièrement un complément de formation pour maintenir l'aptitude professionnelle des contrôleurs aux fonctions manuelles qu'ils auront à assumer en cas de défaillance du système. On peut recourir aux recyclages et aux contrôles de compétence pour que le contrôleur conserve des connaissances et des compétences professionnelles rarement appliquées dans les systèmes plus automatisés, mais qui sont toujours susceptibles de se révéler nécessaires.

5.4.18 L'efficacité de l'apprentissage dépend des méthodes d'instruction, du contenu et de la présentation du matériel, des caractéristiques et de la motivation de l'élève, et de la façon dont l'instruction est dispensée, par une personne ou une machine. Cela dépend aussi du type d'instruction, théorique ou pratique, générale ou spécifique. Il convient d'établir en accord avec les principes connus d'apprentissage le contenu de l'instruction, l'ordre dans lequel les matières seront enseignées, le rythme d'enseignement, ainsi que les modalités de renforcement et de révision de ce qui a été enseigné. La connaissance des résultats et de la progression est indispensable à un apprentissage fructueux.

5.4.19 Le contrôleur compétent doit connaître et comprendre:

- la façon dont le contrôle de la circulation aérienne est effectué;
- la signification de toute l'information présentée;
- les tâches à accomplir;
- les règles, procédures et instructions applicables;
- les formes et les méthodes de communication au sein du système;
- comment et quand utiliser chacun des outils fournis à la position de travail;
- quelles considérations relatives aux facteurs humains s'appliquent à l'ATC;
- comment un contrôleur accepte la responsabilité d'un avion et la transfère au contrôleur qui prend la relève;
- comment le travail des différents contrôleurs s'harmonise, de telle façon qu'ils ne se gênent pas mais se soutiennent entre eux;

- quels changements ou quels signes pourraient indiquer des dégradations ou des défaillances du système;
- quelles sont les caractéristiques des performances des avions et les manœuvres à privilégier;
- tous autres facteurs pouvant influencer sur les vols et les itinéraires: conditions météorologiques, espaces aériens interdits, procédures antibruit, etc.

Aspects de la formation

5.4.20 Le contrôle de la circulation aérienne ne va pas de soi. Dans une position de travail ATC type, on ne trouve pas d'instructions ni d'éléments indiquant à quoi elle sert, ce que sont les installations et services, ce que signifient réellement les informations affichées, ce que sont les commandes et autres dispositifs d'introduction de données, ce qui constitue le succès ou l'échec, et ce qui est à faire après l'achèvement de chaque tâche. Même dans des systèmes très automatisés, l'ATC ne peut fonctionner sans la présence humaine — il est tributaire de l'intervention du contrôleur et elle restera dans l'avenir prévisible. D'où l'importance d'identifier tout ce que le contrôleur a besoin de connaître et d'assurer que ce soit connu, tout ce qu'il doit faire et d'assurer que ce soit fait, tout ce qu'il a besoin de dire et d'assurer que ce soit dit, clairement et correctement, au moment voulu. Ce sont là les objectifs essentiels de la formation.

5.4.21 La formation devrait suivre les procédures et pratiques recommandées en matière de facteurs humains. Elle devrait être assez souple pour être adaptable aux besoins des différents contrôleurs. Des connaissances élémentaires sur les facteurs humains devraient en faire partie intégrante, pour que les contrôleurs aient une idée de leurs propres possibilités et de leurs propres limites, notamment en ce qui concerne les erreurs humaines et les fautes qui risquent de se produire. Les contrôleurs devraient en savoir assez pour sélectionner les aides qui conviennent le mieux, à leur position de contrôle, pour améliorer leur performance et leur efficacité, spécialement dans le choix des options de présentation des informations.

5.4.22 La formation doit assurer aussi que le contrôleur soit en mesure de maîtriser la charge que lui impose le contrôle du trafic. Cela signifie qu'il doit connaître les actions et les procédures correctes en toutes circonstances et savoir les exécuter convenablement. Le contrôleur doit aussi apprendre à organiser le travail efficacement. La formation vise à lui enseigner comment planifier l'ATC et traiter avec succès toute situation imprévue. Les objectifs importants de la formation sont d'inculquer de bonnes compétences, connaissances et habitudes, et de les renforcer pour qu'elles soient durables et se maintiennent. Il faut les entretenir activement; si elles sont rarement employées, en effet, les compétences dégénèrent, les connaissances et les habitudes se perdent. Un surapprentissage peut être utile, sous la forme de compléments d'instruction et de pratique visant délibérément à renforcer ce qui a déjà été appris.

5.4.23 La formation ne devrait pas seulement encourager certaines actions mais devrait en décourager ou en éviter certaines autres. Une partie importante de la formation consiste à extirper les mauvaises habitudes ou à éviter qu'elles s'installent. Par exemple, le contrôleur devra donner priorité à une urgence et se décharger des autres tâches. Pourtant, il ne faut jamais que le contrôleur s'absorbe totalement dans un certain problème au point de ne pas s'apercevoir de ce qui se passe par ailleurs. Cela pourrait impliquer de rompre avec l'habitude de se concentrer sur une seule tâche jusqu'à ce quelle soit achevée et d'acquérir la nouvelle habitude de scruter fréquemment l'écran radar ou d'autres visualisations pour vérifier que tout va bien. La formation doit encourager ce balayage continu et cette vigilance constante.

5.4.24 Il est vital que le contrôleur soit capable et sûr de lui lorsqu'il achemine un trafic dense, de telle sorte que ces tâches ne deviennent pas excessivement lourdes et exigeantes. La formation doit être en rapport avec la capacité d'acheminement maximale du système pour lequel le contrôleur est formé. Une intervention positive du contrôleur pour prévenir une situation de surcharge est tout aussi importante que l'aptitude à maintenir la séparation. La formation devrait aussi préparer le contrôleur à des situations de faible charge de travail, où il y a peu de trafic mais où les positions de contrôle doivent néanmoins être occupées, le contrôleur devant toujours être vigilant et apte à déceler immédiatement tout événement inattendu.

5.4.25 La formation engendre la confiance en soi, à travers la performance accomplie. Il faut remédier à toute maladie ou manque de bien-être, quelle qu'en soit la cause, si ses conséquences risquent de rendre le contrôleur peu efficace, voire potentiellement dangereux. Une formation qui réussit à donner de bonnes connaissances et à créer la confiance dans leur application peut aider les contrôleurs à dominer des circonstances qui créeraient du stress chez ceux qui n'auraient pas reçu le même type de formation.

Formation et modifications dans les systèmes

5.4.26 Chaque fois que c'est possible, tout changement apporté dans les systèmes ATC devrait permettre que les compétences et les connaissances existantes des contrôleurs restent applicables. Tout changement majeur dans un système ATC, qui influe sur ce qu'un contrôleur doit faire ou a besoin de savoir, par exemple une nouvelle forme d'assistance automatisée, devrait normalement être associé à une redéfinition soignée de tous les changements corrélatifs dans les connaissances, les compétences et les procédures du contrôleur. Il convient d'offrir un recyclage approprié **avant** que le contrôleur soit confronté aux changements dans le contrôle de la circulation aérienne. Les avantages de tout changement apporté au système ATC qui touche le contrôleur ne seront pleinement acquis que si les changements correspondants sont introduits, par un recyclage approprié, dans ses connaissances et ses habiletés. Il devrait être normal que les contrôleurs reçoivent régulièrement un recyclage, au cours duquel les connaissances et les habiletés seront mises en pratique et vérifiées, des changements étant introduits au besoin.

5.4.27 Le contrôleur doit être capable de planifier le contrôle de la circulation aérienne, de mettre en oeuvre les plans, de prendre des décisions, de résoudre les problèmes et de formuler des prévisions. Pour accomplir les tâches de contrôle essentielles, il faut qu'il comprenne l'information présentée, sous quelque forme que ce soit, qu'il ait à l'esprit les formes d'assistance disponibles et sache quand faire appel à chacune d'elles. Il faut qu'il connaisse la ligne d'action à suivre en toute circonstance. Dans la perspective des facteurs humains, on s'intéresse aux processus de réflexion chez le contrôleur et aux effets qu'ont sur ces processus les changements apportés aux équipements. Au besoin, il faudra modifier certains équipements ou certaines procédures pour que les processus de réflexion ne changent pas trop ou pas trop rapidement. Lorsque ces processus de réflexion doivent changer, un recyclage approprié des contrôleurs est indispensable. Cela implique souvent une révision des liens entre humain et documentation.

5.4.28 Si les changements sont relativement mineurs, l'objectif du recyclage peut être un transfert de ce qui était déjà connu. Si les anciennes procédures de contrôle sont totalement inadaptées dans le nouveau contexte, un objectif du recyclage sera de surapprendre ce qui est nouveau et de faire disparaître toute similitude entre l'ancien et le nouveau, afin que le contrôleur ne transfère jamais dans le nouveau système, par habitude, des actions anciennes et inadaptées. Les États qui mettent en place de nouveaux systèmes pourront s'inspirer, en ce qui concerne le recyclage approprié, de l'expérience d'autres États qui ont déjà mis en place des systèmes analogues. Une autre conséquence d'un changement impliquant un recyclage de grande ampleur est qu'il faudra revoir le programme de formation pour les élèves ATC *ab initio*.

5.4.29 La formation initiale du nouveau contrôleur et le recyclage des contrôleurs qualifiés à la suite de l'introduction de modifications dans le système ne sont pas toujours identiques. La formation initiale s'édifie sur la base d'une connaissance des principes et des pratiques de l'ATC; le recyclage peut impliquer non seulement l'apprentissage de connaissances et de pratiques nouvelles se rapportant au nouveau système, mais aussi le désapprentissage et le rejet de connaissances familières et de pratiques non appropriées.

Instruction sur les facteurs humains

5.4.30 Les questions à aborder par l'instruction spécifique sur les facteurs humains pour les contrôleurs sont notamment les suivantes:

- apprentissage et compréhension de l'ensemble des règles, règlements, procédures, instructions, mesures de régulation et de planification et pratiques en rapport avec la conduite efficace de l'ATC;
- procédures de liaison et de coordination avec les collègues et les pilotes;
- reconnaissance et prévention de l'erreur humaine;

- gestion des menaces et des erreurs (TEM);
- adaptation de la machine au contrôleur, afin que toute erreur humaine soit décelée, évitée et corrigée;
- vérification de l'avancement de la formation de chaque stagiaire par des évaluations impartiales, acceptées par tous comme équitables;
- mise en évidence des faiblesses individuelles qui exigent un complément de formation ou d'expérience pratique, et fourniture de la formation complémentaire et de l'appui appropriés pour surmonter ces faiblesses et remédier aux défauts et aux sources d'erreur;
- acquisition de connaissances sur les attitudes et les pratiques professionnelles qui, dans le contrôle de la circulation aérienne, sont la marque de la compétence professionnelle;
- acceptation des normes professionnelles qui prévalent et motivation personnelle pour toujours atteindre ces normes et les dépasser.

5.4.31 Un aspect de la formation des contrôleurs qui a généralement reçu peu d'attention est leur entraînement au travail en équipe. La majeure partie de la formation vise les contrôleurs individuellement, que ce soit sur simulateur ou pendant la formation en cours d'emploi. Il est recommandé d'inclure les processus de travail en équipe dans les programmes de formation ATC. Les programmes de formation au travail en équipe dans l'ATC sont communément appelés formation en gestion des ressources en équipe (TRM).

Note.— On trouvera dans l'Appendice au présent chapitre des lignes directrices sur l'élaboration d'un programme de formation TRM.

5.5 L'ÉLÉMENT HUMAIN — ATTRIBUTS SPÉCIFIQUES

Reconnaissance de leur importance

5.5.1 Les aspects du système ATC sur lesquels on a traditionnellement insisté en matière de facteurs humains, et peut-être ceux qui ont toujours le plus d'influence, sont les tâches effectuées par chaque contrôleur (humain-documentation), l'équipement fourni (humain-matériel) et les effets que certains éléments du système — installations et outils disponibles, aires de travail, visualisations, dispositifs de saisie de données, communications, formes d'assistance informatique et spécifications de l'interface homme-machine — exercent sur la sécurité et l'efficacité de la performance (humain-environnement). Il y a cependant bien d'autres questions de facteurs humains à prendre en considération dans le contrôle de la circulation aérienne.

5.5.2 Certains attributs humains sont sans équivalent apparent chez les machines. Tout en étant fort pertinents, ils peuvent sembler ne pas l'être parce que des comparaisons homme-machine ne peuvent pas leur être appliquées, de sorte qu'on risque d'omettre d'en tenir compte dans l'attribution des responsabilités à l'opérateur humain ou à la machine. Les premières études sur les facteurs humains ont souvent négligé ces attributs humains, parce que leur importance n'était pas reconnue ou parce que l'on savait trop peu de choses à leur sujet pour que cela ait une importance pratique. Leur importance est maintenant reconnue et l'on en sait beaucoup plus long sur beaucoup d'entre eux. Il ne faut plus les négliger. Ils se classent en deux grandes catégories, selon leurs origines et les possibilités qu'on a de les modifier.

5.5.3 L'une de ces catégories d'attributs humains est en rapport avec les effets de l'ATC sur ceux qui y travaillent; il s'agit donc de questions sur lesquelles des changements apportés dans les procédures, l'environnement et les conditions du contrôle de la circulation aérienne peuvent exercer une influence. Il s'agit notamment de questions telles que le stress, l'ennui, le relâchement de la vigilance et l'erreur humaine, qu'il est possible d'interpréter comme des effets qu'ont sur le contrôleur certaines influences prédisposantes au sein du système ATC, et donc de modifier en apportant des modifications dans le système.

5.5.4 La seconde catégorie comprend des attributs humains fondamentaux et universels, relativement indépendants des aspects particuliers des environnements ATC et auxquels il faut donc adapter l'ATC. Cette catégorie comprend les besoins des personnes au travail, les différences individuelles, la compétence humaine dans certaines tâches telles que la surveillance, ainsi que les caractéristiques des processus humains de traitement de l'information, de pensée, de prise de décision et de mémorisation. L'ATC ne peut pas les modifier mais doit s'y adapter en utilisant leurs avantages et en circonvenant les contraintes qu'ils imposent. Dans la résolution des problèmes de facteurs humains, il est important de se rendre compte du fait que le rapport de causalité ne va pas constamment dans le même sens et qu'il peut y avoir des différences de nature dans les solutions apportées avec le plus de succès aux problèmes particuliers. Dans les deux catégories, le résultat pratique est une inadéquation entre le système et l'humain, à laquelle il faudra peut-être remédier en apportant des changements à l'un ou l'autre de ces types d'éléments ou aux deux. La solution préférable dépend de la catégorie.

La première catégorie

Stress

5.5.5 Le stress concerne essentiellement l'élément humain, bien qu'il puisse avoir rapport avec chacune des interfaces du modèle SHEL. L'incidence des maladies liées au stress chez les contrôleurs de la circulation aérienne, par comparaison avec des populations plus générales, varie selon le contexte et n'est peut-être pas identique dans tous les pays. On a longtemps soutenu que les contrôleurs subissaient un stress

excessif à cause de leur emploi, ce stress étant attribué à des aspects des tâches ATC tels que leurs lourdes exigences, les pressions temporelles, les responsabilités ou l'insuffisance des équipements. On l'a plus récemment attribué à des influences organisationnelles ou à des interfaces humain-humain, par exemple les conditions d'emploi, de mauvaises relations entre contrôleurs et gestionnaires, une appréciation inadéquate des compétences des contrôleurs, l'imputation d'un blâme en cas de défaillance, des heures de travail excessives, des lacunes dans la formation, des attentes de carrière déçues ou des critiques publiques de l'ATC mal informées et injustes.

5.5.6 Deux facteurs encore peuvent contribuer au stress. L'un d'eux est le travail par quarts, susceptible de perturber les rythmes de sommeil et d'affecter les relations familiales et sociales. L'autre est le mode de vie moderne, qui semble provoquer chez certaines personnes des symptômes de stress, même indépendamment de leur emploi. On devra parfois écarter des fonctions actives un contrôleur qui présente des symptômes de stress. C'est un remède qui peut être coûteux mais indispensable, car la sécurité et l'efficacité de l'ATC ne peuvent être mises en jeu et les problèmes de stress sont parfois difficiles à résoudre. Il est bien préférable de prévenir ces problèmes par une bonne conception des positions de contrôle, du matériel et des tâches, par des horaires et des régimes de travail raisonnables, par une attitude d'appui et de compréhension de la part des gestionnaires et par le souci de la santé et du bien-être de chacun. Vu la diversité des causes de stress, le succès à le prévenir ou à le réduire dans des circonstances données dépendra d'un diagnostic correct de ses origines.

5.5.7 Les cas suivants devraient être considérés. Si les exigences ATC d'un certain poste sont excessives pour pratiquement quiconque occupe ce poste, on devra les réduire en revoyant la conception des tâches et l'attribution des responsabilités. Si les exigences ATC d'un poste sont devenues excessives pour un certain contrôleur, mais non pour la plupart des contrôleurs, il convient de transférer l'intéressé à un poste moins exigeant. Si des conditions d'emploi telles que les heures de travail ou les cycles travail-repos, plutôt que le contrôle de la circulation aérienne lui-même, imposent aux contrôleurs un stress inévitable, le remède sera d'ajuster les heures de travail, les cycles travail-repos ou les autres conditions d'emploi qui provoquent le stress. Si le roulement des équipes, avec occasionnellement ou régulièrement du travail de nuit, est loin d'être optimal et entraîne des difficultés familiales ou des perturbations du sommeil, il faut apporter des changements dans ces domaines.

5.5.8 La prudence s'impose en ce qui concerne les effets attendus de l'atténuation du stress. Celle-ci peut s'imposer pour des raisons médicales ou humanitaires, et il peut y avoir des avantages en matière de coûts à abaisser le taux de roulement du personnel, et donc les frais de recrutement et de formation. Il peut y avoir des avantages en matière de sécurité ou de performance, quoique les états de stress ne soient pas toujours étroitement liés aux incidents et accidents et que les raisons d'atténuer le stress ne se limitent pas à la performance et à la sécurité. De nombreuses études poussées ont été

consacrées au stress dans l'environnement ATC, mais cela demeure une question controversée et actuelle, qui n'est pas encore entièrement résolue.⁷

5.5.9 Un autre type de stress que l'on rencontre chez les contrôleurs aériens est causé par le fait d'avoir été mêlé à des accidents mortels ou d'en avoir été témoin. Ce type de stress, souvent appelé «stress post-traumatique» ou stress d'incident critique, risque d'entraîner des troubles graves dans la vie normale et le mode de comportement des personnes en cause, et parfois les mène en définitive à abandonner la profession ATC. Une technique de gestion de ce type de stress est décrite dans la 2^e Partie du présent manuel.

Ennui

5.5.10 Par comparaison avec le stress, l'ennui dans l'ATC, qui est aussi une question concernant l'humain, a fait l'objet de beaucoup moins de travaux. Bien que l'ennui pose souvent des problèmes, on ne comprend pas toutes ses causes et ses conséquences. Une hypothèse plausible en ce qui concerne ses causes et ses effets n'est pas forcément juste. L'ennui peut se produire lorsqu'il y a peu d'activité; le remède est de donner davantage de travail. Il peut survenir lorsqu'il y a une activité substantielle, mais que tout le travail est devenu routinier, demande peu d'effort, est dénué d'intérêt et de défis; le remède peut être alors de maintenir une intervention directe et active dans la boucle de contrôle. L'ennui a tendance à s'accroître lorsque les compétences et l'expérience augmentent; le remède est de concevoir les tâches avec une hiérarchie de compétences nécessaires, car les occasions d'exercer des compétences de haut niveau aident à éviter l'ennui.

5.5.11 À moins qu'il n'y ait une répétition excessive du contenu, l'ennui ne survient guère pendant la formation, car il est possible de contrôler la charge en harmonisant le niveau d'exigence des tâches avec les habiletés du contrôleur. L'exécution de tâches très qualifiées n'est pas exempte d'ennui, si la performance qualifiée peut être accomplie sans grande attention; en cherchant à atténuer l'ennui dans de telles circonstances, on risque incidemment de dégrader une performance très qualifiée. La relation entre ennui et sécurité n'est pas toujours établie, même si le bon sens donne à penser qu'il faut l'établir.

Exemple: Une expérience qu'ont pu faire de nombreux contrôleurs est qu'une perte de séparation a failli se produire à un moment où il y avait seulement quelques avions dans leur espace aérien après une période de forte activité, alors qu'il n'y avait eu aucun problème pendant la période d'activité intense.

5.5.12 Les gens n'aiment pas s'ennuyer. Quand le temps s'étire en longueur, ils inventent des tâches, des procédures ou des diversions pour le faire passer plus rapidement, ce qui

n'est pas vraiment dans l'intérêt de l'efficacité du contrôle de la circulation aérienne. Un facteur qui intervient est la mesure dans laquelle l'homme est entraîné par le système, ce qui peut engendrer l'ennui, ou exerce un certain contrôle sur le système et peut faire preuve d'initiative, notamment en rapport avec les exigences des tâches et la charge de travail. De nombreuses formes d'assistance automatisée dans l'ATC peuvent avoir l'effet non voulu d'accroître l'ennui.

5.5.13 Les recommandations suivantes visent à éviter ou atténuer l'ennui:

- donner aux contrôleurs autant de liberté que possible pour contrôler et organiser leur propre charge de travail;
- essayer de maintenir un niveau d'effectif bien ajusté, pour qu'il y ait toujours suffisamment de travail qualifié à faire;
- concevoir les positions de contrôle, les équipements et les tâches de façon à favoriser une hiérarchie d'habiletés et à donner des occasions d'utiliser ces habiletés;
- permettre aux contrôleurs de choisir le niveau approprié d'assistance automatisée;
- essayer de faire en sorte que personne ne se trouve seul au travail, car en général l'ennui se manifeste moins et a des conséquences moins graves dans les groupes que chez les individus.

Confiance et relâchement de la vigilance

5.5.14 La confiance et le relâchement de la vigilance sont des questions qui concernent surtout l'élément humain. Dans un travail qui exige de la rapidité pour résoudre les problèmes et prendre les décisions, la confiance dans ses propres capacités est essentielle. Les indécis n'ont pas leur place dans l'ATC. Cependant, la confiance en soi peut conduire à l'excès de confiance et au relâchement de la vigilance. Si un travail ne met jamais à l'épreuve les limites personnelles, toute difficulté pourra paraître familière et tout problème prévisible — ce qui risque d'entraîner une hypovigilance. On peut réduire en partie ce problème par des niveaux d'activité assez élevés (sans être excessifs), en agissant au niveau de la planification des tâches, ainsi que par la formation et l'évaluation, en présentant sur le côté certains problèmes difficiles, comportant des défis.

Prévention des erreurs

5.5.15 Tout est mis en oeuvre — dans la conception des systèmes, des positions de travail, des interfaces homme-machine, des tâches et des postes, en prévoyant les exigences des tâches, en assurant l'adéquation entre les habiletés et connaissances et les postes de travail et en spécifiant les

conditions d'emploi — pour que le contrôleur porte constamment attention à son travail et commette aussi peu d'erreurs que possible. Le succès avec lequel cet objectif sera réalisé dépend d'un apport adéquat de connaissances sur les facteurs humains aux stades formatifs de la planification et de la conception du système. De cette façon, les sources potentielles d'erreur et d'inattention seront décelées assez tôt pour pouvoir être éliminées. La plupart des types d'erreur humaine qui sont possibles, et qui se produiront, sont prédéterminés par certains aspects de la conception du système (matériel, documentation, environnement) et c'est pour cela que leur nature générale est souvent prévisible. Cependant, les questions d'élément humain sont généralement les principales causes prédisposantes de chaque erreur particulière. Les êtres humains sont faillibles, et les contrôleurs aériens restent faillibles et sujets à l'erreur, aussi compétents et expérimentés qu'ils puissent devenir. S'il faut mettre tout en oeuvre pour éviter l'erreur humaine, il n'est pas raisonnable de lier la sécurité du système ATC à l'idée que toute erreur humaine peut être évitée. Certaines erreurs se produiront et il faut que le système reste sûr lorsqu'elles se produiront, en étant conçu de manière à être tolérant à l'erreur.

5.5.16 De nombreux types d'erreur sont prévisibles à partir des analyses de tâches et de postes, des caractéristiques des visualisations, des dispositifs de saisie, des moyens de communication et des interfaces homme-machine, ainsi que des exigences de l'ATC. Parfois les opérateurs humains peuvent déceler les erreurs au moment où ils les commettent et les corriger immédiatement. Parfois, dans un environnement en équipe, des collègues sont à même de déceler les erreurs d'un contrôleur et de les signaler. Parfois les machines peuvent être programmées pour déceler et prévenir les erreurs humaines en n'acceptant pas ou en n'effectuant pas des actions qui ne sont pas correctes ou pas valables ou en compensant automatiquement les conséquences de telles actions.

5.5.17 Dans la parole, les principales sources d'erreur sont les confusions phonétiques, les omissions, les fausses attentes ou la présentation de certains éléments dans un autre ordre que l'ordre normal. Dans les informations sous forme de tableau, on risque de confondre une ligne avec une autre ou un bloc de données avec un autre, ou de mal identifier des caractères ou des formes qui ne sont pas assez différenciés. Dans les relations affichage-commande, un étiquetage inexact, un désalignement entre l'affichage et la commande, ou encore un décalage temporel entre l'action et le retour d'information, sont parmi les sources d'erreurs. Les seules erreurs que le contrôleur puisse commettre sont celles que permet la conception de l'interface homme-machine.

5.5.18 Diverses classifications de l'erreur humaine dans l'ATC ont été établies. Celles qui sont basées sur les comptes rendus d'incidents de la circulation aérienne sont parmi les plus complètes; en effet, de nombreux comptes rendus contiennent des précisions sur des erreurs humaines qui se sont effectivement produites. Une autre approche a pour point de départ une classification des erreurs fondée sur des connaissances générales concernant les caractéristiques des processus humains d'information et de pensée; elle établit des distinctions sur cette base: erreurs dans la planification ou l'exécution,

erreurs attribuables à des lacunes dans les connaissances ou à l'application d'autres règles que celles qui sont auraiées dû être appliquées, ou à des défaillances de l'attention. Les catégories d'erreur qui risquent de se produire dans l'ATC sont établies d'après ces distinctions, qui peuvent ensuite orienter l'établissement de procédures appropriées pour éliminer ces erreurs ou pallier leurs conséquences graves.

Fatigue

5.5.19 Une importante question concernant l'élément humain est celle de la fatigue physique et mentale des contrôleurs; en effet, lorsque des personnes sont trop fatiguées, leur jugement risque d'être altéré. Dans l'ATC, cela risque de compromettre la sécurité et l'efficacité, ce qui est inacceptable, dans la perspective tant de la sécurité et de la performance que de l'hygiène du travail et de la santé. Il ne faut pas que les contrôleurs se fatiguent trop, du fait d'heures de travail excessives ou d'exigences déraisonnables des tâches; la prévention de la fatigue chez les contrôleurs devrait donc exercer une importante influence sur les décisions des gestionnaires. Les remèdes consistent à scinder les postes, adapter le niveau des effectifs, réduire la durée des quarts, améliorer les cycles travail-repos, donner des compléments de formation, fournir davantage d'assistance informatique et installer des équipements modernes.

5.5.20 En déterminant le niveau de l'effectif, il faut prévoir des pauses de repos suffisantes pendant le temps de travail de chaque équipe. Il est recommandé de ne pas dépasser normalement une période d'environ deux heures de travail continu sans interruption, surtout lorsque les exigences du trafic sont grandes. Le repos devrait être pris en dehors de l'environnement ATC — se renverser dans son fauteuil et essayer de se détendre dans l'environnement de travail n'est pas la même chose que prendre une vraie pause, car le contrôleur reste en service et peut être obligé de reprendre rapidement le travail à tout moment. Pendant la pause de repos, le contrôleur ne devrait avoir aucune responsabilité ATC. Même si les exigences du trafic ont été légères et si le contrôleur s'ennuie parce que sa charge est insuffisante, les pauses demeurent nécessaires. Une activité insuffisante n'est jamais un substitut satisfaisant à une véritable pause de détente.

5.5.21 Il est nécessaire de prévoir des pauses-repas à l'intérieur du temps de travail des équipes. La durée de travail maximale d'une équipe dépendra des exigences du trafic, des éventuelles périodes d'attente sans travail réel, ainsi que de divers facteurs logistiques. Il n'est pas prudent que le travail d'une équipe s'achève, surtout s'il s'agit d'une équipe de nuit, à un moment où le contrôleur fatigué devra conduire sa voiture pour rentrer chez lui en plein encombrement d'heure de pointe. Même avec des pauses de repos et des pauses-repas, il n'est pas recommandé normalement de prévoir des périodes de travail continu de plus de huit heures approximativement, à moins que le trafic aérien ne soit faible ou intermittent. Les contrôleurs qui effectuent un certain nombre réglementaire d'heures de travail préfèrent dans certains cas que les quarts durent plus longtemps, afin de disposer de plus longues

périodes continues sans venir au travail; des roulements qui leur donnent régulièrement plusieurs journées libres consécutives sont souvent très appréciés, mais il ne faut pas que cela se fasse au prix d'une fatigue grave, due à une durée excessive des quarts.

5.5.22 Les contrôleurs aériens doivent occasionnellement travailler en équipe de nuit. Les témoignages à ce sujet sont contradictoires, mais dans l'ensemble favorables à un roulement des quarts plutôt qu'à un travail de plusieurs nuits consécutives. La rotation devrait se faire en commençant à travailler de plus en plus tard — ce qui veut dire qu'après une journée de travail commençant le matin, on pourra prévoir le lendemain une journée commençant l'après-midi, mais non l'inverse. L'âge doit être pris en compte: certains contrôleurs âgés trouvent plus fatigant le travail par quarts, surtout s'ils doivent y revenir après une certaine période de travail de jour. Il peut être à conseiller de prévoir moins de travail de nuit pour des contrôleurs qui approchent de l'âge de la retraite. Aucune recommandation ne peut être applicable à tous les cas individuels, mais il est à conseiller d'affecter au besoin les contrôleurs âgés à des postes qui restent dans leurs possibilités. Leur expérience plus grande pourra compenser dans une certaine mesure la baisse de performance liée à l'âge, mais il peut être plus fatigant pour eux de fournir constamment de hauts niveaux d'effort soutenu.

La seconde catégorie

Besoins au travail

5.5.23 Un attribut humain important pour l'ATC est que l'être humain a des besoins spécifiques liés à son travail qui sont fondamentalement différents de ceux de machines. Comme on le sait, une machine peut tolérer une inactivité prolongée, qu'un être humain ne tolère pas. Une machine peut être employée indéfiniment à des tâches de routine, non qualifiées, peu exigeantes, répétitives, alors que celles-ci ne conviennent pas à l'opérateur humain. Une machine peut surveiller indéfiniment sans jamais se fatiguer, s'ennuyer, devenir distraite ou s'endormir; l'être humain n'est pas un surveillant aussi efficace pendant de longues périodes où il ne se passe pas grand-chose. Une machine semble indifférente aux autres machines, tandis que le contrôleur recherche la bonne opinion et le respect de ses collègues et des tiers.

5.5.24 Les contrôleurs humains ont des attentes professionnelles et de carrière; ils ont besoin de planifier leur avenir. Ils peuvent ressentir de la déception si leur carrière réelle ou leurs perspectives sont inférieures à leurs attentes, même si celles-ci peuvent paraître peu réalistes à autrui. Les postes ATC, maintenant et dans l'avenir, devraient tenir compte des aspirations humaines à la satisfaction professionnelle. Les contrôleurs eux-mêmes sont parmi les meilleurs défenseurs du contrôle de la circulation aérienne comme profession, pourvu que leur emploi semble satisfaisant et réponde à leurs besoins fondamentaux de travailleurs. Si l'on veut que le contrôle de la circulation aérienne se porte bien tout en s'automatisant, il

Exemple: En août 1993, un incident est survenu au-dessus d'une radiobalise près de Tromsø (Norvège) où une perte de séparation s'est produite entre un Twin Otter et un Boeing 737. Le Twin Otter était à 5 000 ft et le B737 avait été autorisé par l'ATC à descendre à 7 000 ft. En relisant cette autorisation, le pilote a dit qu'il descendait à 5 000 ft et cette erreur n'a pas été décelée par le contrôleur. Après quelques minutes, le B737 a signalé son passage au-dessus de la radiobalise à 5 000 ft. L'équipage du Twin Otter, qui venait de franchir cette balise à 5 000 ft également, est immédiatement descendu à 4 500 ft, tandis que le contrôleur ordonnait au B737 de monter à 6 000 ft. Il a été établi par la suite que la distance horizontale entre les avions était d'environ 4 NM au moment où la séparation verticale n'était pas établie.

L'enquête ultérieure a abouti aux constatations suivantes:

- il y avait une forte pénurie de personnel au moment de l'incident;
- le contrôleur avait fait en moyenne 40 heures de travail supplémentaire par mois pendant les trois mois qui avaient précédé l'incident;
- la semaine précédant l'incident, le contrôleur avait effectué sept quarts; deux étaient des quarts de temps supplémentaire et deux étaient des quarts de nuit;
- le contrôleur était à la fin d'une période de travail de onze jours sans aucun jour de repos;
- il n'y avait pas de relève pour les deux contrôleurs de la tour (effectuant respectivement le contrôle TWR et APP); ils devaient donc prendre leurs repas à leur position de travail pendant les périodes calmes;
- la cabine de la tour était trop petite; initialement conçue pour un contrôleur et un assistant, elle était souvent occupée par une équipe de trois contrôleurs, un assistant et deux stagiaires;
- le planning de vol et le briefing avant le vol avaient lieu dans la tour de contrôle;
- à Tromsø, les contrôleurs hésitaient à refuser le travail supplémentaire, car cela aurait accru la charge pour leurs collègues.

La commission d'enquête a adressé les recommandations suivantes à la CAA norvégienne:

- intensifier les efforts pour accroître en permanence la dotation en personnel à Tromsø TWR/APP;
- prendre des dispositions pour réduire le recours aux heures supplémentaires chez les contrôleurs;
- améliorer les conditions matérielles de travail du personnel de Tromsø TWR/APP;
- envisager d'établir un concept de zone «stérile» pour les salles de contrôle des services de la circulation aérienne;
- établir pour les contrôleurs des règles leur permettant d'évaluer leur propre état physique et mental avant de fournir le service de contrôle de la circulation aérienne.

Source: *The Controller*, juin 1995.

faudrait que les attitudes des contrôleurs envers ses formes automatisées soient aussi favorables qu'elles le sont envers ses formes manuelles.

Attitudes

5.5.25 Les performances peuvent être influencées par les conditions d'emploi, par l'éthique et les normes professionnelles, par la satisfaction d'être intégré dans une équipe professionnelle et par les attitudes des contrôleurs, tout cela étant des aspects de l'élément humain. Les contrôleurs adoptent des attitudes à l'égard:

- du système ATC lui-même;
- de leur profession;
- de ceux pour qui ils travaillent, dirigeants ou employeurs par exemple;
- de ceux qui peuvent influencer leurs conditions d'emploi;
- de leurs collègues;
- des pilotes;
- de ceux qui conçoivent les systèmes et les installations ATC;
- de ceux qui assurent le petit entretien et la maintenance du système;
- des équipements et des installations qu'ils utilisent.

Les attitudes à l'égard des équipements sont influencées par la mesure dans laquelle ceux-ci sont bien adaptés aux tâches à accomplir, exempts d'erreurs et modernes. L'installation d'un équipement moderne est souvent interprétée comme un symbole de l'intérêt porté à l'ATC et du statut qui lui est conféré.

5.5.26 Certaines autres influences touchent l'ensemble de la communauté du contrôle de la circulation aérienne. Il en résulte des attitudes envers et des relations avec:

- la communauté ATC internationale;
- les autorités internationales qui s'occupent des normes et des pratiques;
- les autres professions auxquelles les contrôleurs comparent la leur;
- la communauté aéronautique;
- les passagers;
- le grand public;

- ceux qui ont du pouvoir ou de l'influence;
- les médias.

5.5.27 Les attitudes des contrôleurs dépendront de leur perception de ces autres influences comme favorables ou non à l'ATC. Dans la mesure du possible, les dirigeants devraient chercher à promouvoir des attitudes favorables à l'égard des contrôleurs aériens et vice versa. Par exemple, blâmer l'ATC pour des retards ou pour une aggravation dont il n'est pas directement responsable n'arrange pas les choses.

Différences individuelles

5.5.28 Les grandes différences entre les individus sont un des aspects de l'élément humain et constituent une préoccupation primordiale dans les procédures de sélection. Il s'agit notamment de différences d'ordre médical, de différences dans le physique, les habiletés, les aptitudes et peut-être la personnalité. Il y aura sans doute moins de différences au sein d'un groupe de candidats retenus qu'au sein du groupe initial de postulants parmi lesquels ils ont été sélectionnés. Au cours du processus de formation, on cherchera ensuite à réduire davantage encore les différences qui subsistent entre les éléments sélectionnés. De cette façon, la sécurité et l'efficacité du service ATC ne dépendront pas dans une mesure importante de l'identité des contrôleurs en service à un moment donné, même si leur façon d'assurer cette sécurité et cette efficacité est différente de celle d'un autre groupe de contrôleurs du même organisme («culture de groupe»).

5.5.29 La sélection et la formation ont l'une et l'autre pour effet de réduire les différences individuelles. Cependant, il y aura toujours certaines différences, et elles peuvent être très bénéfiques. Elles peuvent servir de base à l'organisation des carrières ainsi qu'à l'affectation des contrôleurs à différents postes. Dans l'avenir, il sera possible de mieux adapter l'automatisation au contrôleur individuellement, en faisant le meilleur usage des points forts de chacun et en compensant les faiblesses individuelles, alors que la pratique actuelle ne fait pas cas des différences individuelles, fait fond sur les points forts de l'humain en général et contourne les faiblesses humaines générales. Cette nouvelle tendance peut devenir particulièrement importante si une pénurie de candidats oblige à sélectionner des postulants ayant à l'origine des potentiels et des antécédents plus variés.

Perspective générale des facteurs humains

5.5.30 Dans le contrôle de la circulation aérienne, il faut tenir compte des possibilités cognitives de base des êtres humains, de leur façon de penser, de prendre des décisions, de comprendre et de se souvenir. Il faut concevoir les postes et les tâches en tenant compte des limites de ces possibilités et concevoir la formation de manière à maximiser ces possibilités. Les êtres humains ont besoin de bien employer leurs capacités cognitives, d'en faire un usage intelligent, de façons qu'ils reconnaissent comme dignes d'intérêt et non dégradantes.

5.5.31 Il y a des écarts dans les conditions d'emploi des contrôleurs. Il faut revoir périodiquement ces conditions et faire des recommandations concernant le nombre total d'heures de travail, les roulements et les horaires des équipes, ainsi que la période maximale admissible de travail continu sans pause de détente. La conception des positions de travail ne doit pas entraîner de risques relevant de l'hygiène du travail, tels que des difficultés visuelles ou posturales pendant l'exécution des tâches ATC. Il faut toujours qu'existent des dispositions prévoyant des possibilités de retraite anticipée, qui devraient être applicables individuellement, pour raisons médicales.

5.5.32 Le contrôle de la circulation aérienne est une branche d'activité dynamique et en expansion. Il est difficile de prévoir son taux de croissance, qui dépendra de facteurs sur lesquels lui-même n'a pas de pouvoir d'action direct, comme la situation économique nationale et mondiale, l'approvisionnement en carburant et son coût, ainsi que la perception qu'ont les voyageurs de la sécurité de l'aviation. Néanmoins, toutes les prévisions envisagent un accroissement du trafic aérien, si considérable à long terme qu'il faudra remplacer, agrandir ou développer davantage la plupart des systèmes ATC existants, qui n'ont pas été conçus pour l'acheminement d'un tel volume de trafic.

5.5.33 Il faut évaluer les possibilités d'appliquer à l'ATC des innovations techniques telles que l'information transmise par satellite, les liaisons de données, le codage couleur, l'intelligence artificielle et la saisie directe de données vocales, pour déterminer dans quelle mesure ces innovations peuvent être utiles et quelles sont leurs formes optimales en relation avec l'ATC. Il faudra mettre en évidence toutes les conséquences de tels changements au niveau des facteurs humains et résoudre les problèmes connexes, non seulement d'affichage, de commandes, d'intégration, d'interfaces, de communications, de compréhension et de mémoire, mais aussi de rôles au sein des équipes, d'attitudes, de normes et d'éthique.

LISTE DE RÉFÉRENCES

Ouvrages de référence sur les facteurs humains

- Ackermann, D. & Tauber, M.J. (ed) (1990) *Mental Models and Human-Computer Interaction*. Amsterdam: Elsevier.
- Adams, J.A. (1989) *Human Factors Engineering*. New York: Macmillan.
- Baecker, R.M. & Buxton, W.A.S. (ed) (1987) *Readings in Human-Computer Interaction: A Multi-disciplinary Approach* Los Altos, CA: Morgan Kaufman.
- Bainbridge, L. (1987) *Ironies of Automation*. In: Rasmussen, J., Duncan, K. & Leplat, J. (ed) *New Technology and Human Error*. Chichester, England: Wiley. 271-283.
- Bainbridge, L. & Ruiz Quintanilla, S.A. (ed) (1989) *Developing Skills with Information Technology*. Chichester, England: Wiley.
- Boff, K.R. & Lincoln, J.E. (ed) (1988) *Engineering Data Compendium: Human Perception and Performance*, trois volumes et *User's Guide*. Ohio: Harry G. Armstrong Aerospace Medical Research Laboratory.
- Booth, P. (1989) *An Introduction to Human-Computer Interaction*. Hove, England: Erlbaum.
- Bradley, G. (1989) *Computers and the Psychosocial Work Environment*. London: Taylor and Francis.
- Burgess, J.H. (1986) *Designing for Humans: The Human Factor in Engineering*. Princeton, NJ: Petrocelli.
- Burgess, J.H. (1989) *Human Factors in Industrial Design: The Designer's Companion*. Blue Ridge Summit, Pennsylvania: TAB.
- Card, S.K., Moran, T.P. & Newell, A. (1983) *The Psychology of Human-Computer Interaction*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Cooper, C.L. & Payne, R. (ed) (1988) *Causes, Coping and Consequences of Stress at Work*. Chichester, England: Wiley.
- Costa, G., Cesana, G.C., Kogi, K. & Wedderburn, A. (ed) (1990) *Shiftwork: Health, Sleep and Performance*. Frankfurt, Germany: Verlag Peter Lang.
- Davies, D.R., Matthews, G. & Wong, C.S.K. (1991) Ageing and Work, In: Cooper, C.L. and Robertson, I.T. (ed) *International Review of Industrial and Organizational Psychology*. 6, 149-212. Chichester, England: Wiley.
- Damos, D. (ed) (1991) *Multiple Task performance* London: Taylor & Francis.
- Diaper, D. (ed) (1989) *Task Analysis for Human-Computer Interaction*. Chichester, England: Ellis Horwood.
- Durrett, H.J. (ed) (1987) *Color and the Computer*. Orlando, FL: Academic Press.
- Eason, K. (1988) *Information Technology and Organisational Change* London; Taylor & Francis.
- Ernsting, J. & King, P. (ed) (1988) *Aviation Medicine*, London: Butterworths.
- Farmer, E. (ed) (1991) *Human Resource Management in Aviation*. Aldershot, England: Avebury Technical.
- Farmer, E. (ed) (1991) *Stress and Error in Aviation*. Aldershot, England: Avebury Technical.
- Frankenhaeuser, M. & Johansson, G. (1986) Stress at Work: Psychobiological and Psychosocial Aspects. *Applied Psychology: An International Review*. 35, 287-299.
- Fraser, T.M. (1989) *The Worker at Work: A Textbook Concerned with Men and Women in the Workplace*. London: Taylor and Francis.
- Grandjean, E. (1988) *Fitting the Task to the Man*. London: Taylor and Francis.
- Hancock, P.A. & Warm, J.S. (1989) *A Dynamic Model of Stress and Sustained Attention*. *Human Factors*, 31, 519-537.
- Hockey, G.R.J. (ed) (1983) *Stress and Fatigue in Human Performance*. Chichester, England: Wiley.
- Holding, D.H. (ed) (1989) *Human Skills*. Chichester, England: Wiley.
- Hopkin, V.D. (1982) *Psychology and Aviation*. In: Canter S. & Canter, D. (ed) *Psychology in Practice*. Chichester, England: Wiley. 233-248.
- Hunt, R.W.G. (1991) *Measuring Colour*. Hemel Hempstead, England: Ellis Horwood. (Simon and Schuster International).

- Ivergard, T. (1989) *Handbook of Control Room Design and Ergonomics*. London: Taylor and Francis.
- Jensen, R.S. (ed) (1989) *Aviation Psychology*. Aldershot, England: Gower.
- Landau K. & Rohmert, W. (ed) (1989) *Recent Developments in Job Analysis*. London: Taylor and Francis.
- Loeb, M. (1986) *Noise and Human Efficiency*. Chichester, England: Wiley.
- Long, J. & Whitefield, A. (ed) (1989) *Cognitive Ergonomics and Human-Computer Interaction*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Megaw, E.D. (1991) Ergonomics: Trends and Influences. In: Cooper, C.L. & Robertson, I.T. (ed). *International Review of Industrial and Organizational Psychology*, 6, 109-148.
- Monk, T. & Folkard, S. (1992) *Making Shiftwork Tolerable: A Practical Guide*. London: Taylor and Francis.
- Muir, B.M. (1987) Trust between humans and machines, and the design of decision aids. *International Journal of Man-Machine Studies*, 27, 527-539.
- Norman, D.A. (1988) *The Psychology of Everyday Things*. New York: Basic Books.
- Norman, D.A. & Draper, S.W. (ed) (1986) *User Centered System Design*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Noro K. & Imada, A.S. (1991) *Participatory Ergonomics*. London: Taylor & Francis.
- Perrow, C. (1984) *Normal Accidents: Living with High-risk Technologies*. New York: Basic Books.
- Pheasant, S. (1986) *Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and Design*. London: Taylor and Francis.
- Rasmussen, J., Duncan, K. & Leplat, J. (ed) (1987) *New Technology and Human Error*. Chichester, Royaume-Uni: Wiley.
- Reason, J.T. (1990) *Human Error*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Reason, J.T. (1997) *Managing the Risks of Organizational Accidents*. Ashgate Publishing Ltd., Aldershot, Hants., Royaume-Uni.
- Reilly, R. (ed) (1987) *Communication Failure in Dialogue and Discourse: Detection and Repair Processes*. Amsterdam: North-Holland.
- Rodahl, K. (1989) *The Physiology of Work*. London: Taylor and Francis.
- Salvendy, G. (ed) (1987) *Handbook of Human Factors*. New York: Wiley.
- Sauter, S.L., Hurrell, J.L. & Cooper, C.L. (ed) (1989) *Job Control and Worker Health*. Chichester, England: Wiley.
- Sayers, B.A. (ed) (1988) *Human Factors and Decision Making: Their Influence on Safety and Reliability*. London: Elsevier Applied Science.
- Sen, R.N. (1984) Applications of Ergonomics to Industrially Developing Countries. *Ergonomics*, 27, 1021-1032.
- Senders, J.W. & Moray, N.P. (1991) *Human Errors: Their Causes, Prediction and Reduction*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Sher, S. (ed) (1988) *Input Devices*. Boston, MA: Academic Press.
- Shneiderman, B. (1987) *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Shorrock, B. (1988) *System Design and HCI — A Practical Handbook*. Wilmslow: Sigma Press.
- Singleton, W.T. (1989) *The Mind at Work: Psychological Ergonomics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Singleton, W.T. & Hovden, J. (ed) (1987) *Risk and Decisions*. Chichester, England: Wiley.
- Spector, P.E., Brannick, M.T. & Coovert, M.D. (1989) *Job Analysis*. In: Cooper, C.L. & Robertson, I.T. (ed) *International Review of Industrial and Organizational Psychology*, 4, 281-328.
- Suchman, L.A. (1987) *Plans and Situated Actions: The Problem of Human-Machine Communication*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sutcliffe, A. (1988) *Human-Computer Interaction*. Basingstoke, England: Macmillan Education.
- Travis, D. (1991) *Effective Color Displays: Theory and Practice*. London: Academic Press.
- US Department of Defense (1989) *Human Engineering Design Criteria for Military Systems, Equipment and Facilities: Military Standard MIL-STD-1472D*. Philadelphia: Naval Publications and Forms Center.
- Weir, G. & Alty, J. (ed) (1990) *Human Computer Interaction and Complex Systems*. London: Academic Press.
- Wiener, E.L. & Nagel, D.C. (ed) (1988) *Human Factors in Aviation*. San Diego: Academic Press.
- Williams, T.A. (1988) *Computers, Work and Health: A Socio-Technical Approach*. London: Taylor and Francis.
- Wilson, J.R. & Corlett, E.N. (ed) (1990) *Evaluation of Human Work: A Practical Ergonomics Methodology*. London: Taylor and Francis.
- Wise, J.A. & Debons, A. (ed) (1987) *Information Systems: Failure Analysis*. Berlin: Springer-Verlag.
- Wisner, A. (1985) Ergonomics in Industrially Developing Countries. *Ergonomics*, 28, 1213-1224.
- Wisner, A. (1989) Variety of Physical Characteristics in Industrially Developing Countries — Ergonomic Consequences. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 4, 117-138.
- Woodson, W.E. (1987) *Human Factors Reference Guide for Electronics and Computer Professionals*. New York: McGraw-Hill.

Ouvrages de référence sur le contrôle de la circulation aérienne

- Benoit, A. (ed) (1986) *Efficient Conduct of Individual Flights and Air Traffic, or Optimum Utilization of Modern Technology for the Overall Benefit of Civil and Military Airspace Users*. Paris: NATO AGARD Conference Proceedings No. 410.
- Brenlove, M.S. (1987) *The Air Traffic System*. Ames, Iowa: Iowa State University Press.
- Buck, R.O. (1984) *Aviation: International Air Traffic Control*. New York: Macmillan Publishing.
- Duke, G. (1986) *Air Traffic Control*. Shepperton, England: Ian Allan.
- Federal Aviation Administration (1988) *National Airspace System Plan*. Washington DC: Federal Aviation Administration, US Government Printing Office.
- Field, A. (1985) *International Air Traffic Control — Management of the World's Airspace*. Oxford, England: Pergamon.

- Graves, D. (1989) *United Kingdom Air Traffic Control*. Shrewsbury, England: Airlife Publishing.
- National Research Council (1997), *Flight to the Future — Human Factors in Air Traffic Control*, National Academy Press, Washington, DC, USA.
- National Research Council (1998), *The Future of Air Traffic Control — Human Operators and Automation*. National Academy Press, Washington, DC, USA.

Ouvrages généraux sur les facteurs humains dans le contrôle de la circulation aérienne

- American Institute of Aeronautics and Astronautics (1991) *Challenges in Aviation Human Factors: The National Plan*, Washington DC, AIAA.
- Fitts, P.M. (ed) (1951) *Human Engineering for an Effective Air-Navigation and Traffic-Control System*. Washington DC: National Research Council.
- Hopkin, V.D. (1988) *Air Traffic Control*. Dans: Wiener, E.L. & Nagel, D.C. (ed) *Human Factors in Aviation*. San Diego: Academic Press. 639-663.
- Hopkin, V.C. (1995). *Human Factors in Air Traffic Control*. Taylor & Francis, London, Royaume-Uni.
- Isaac, A. & Ruitenbergh, B. (1999). *Air Traffic Control: Human Performance Factors*. Ashgate Publishing Ltd., Aldershot, Hants, Royaume-Uni.
- Lenorovitz, D.R. & Phillips, M.D. (1987) *Human Factors Requirements Engineering for Air Traffic Control Systems*. In: Salvendy, G. (ed) *Handbook of Human Factors*. New York: Wiley. 1771-1789.
- Pozesky, M.T. (Ed) (1989) *Special Issue on Air Traffic Control*. Proceedings of the IEEE, 77, 11, 1603-1775.
- Hancock, P.A. (1991) *The Aims of Human Factors and their Application to Issues in Automation and Air Traffic Control*. Dans: Wise, J.A., Hopkin, V.D. & Smith, M.L. (ed) *Automation and Systems Issues in Air Traffic Control*. Berlin: Springer-Verlag, 187-199.
- Hopkin, V.D. (1985) *Fitting Machines to People in Air Traffic Control Automation*. In: Proceedings of Seminar on Informatics in Air Traffic Control, Capri, Italie, 147-163.
- Hopkin, V.D. (1989) Implications of Automation on Air Traffic Control. In: R.S. Jensen (ed) *Aviation Psychology*. Aldershot, England: Gower Technical. 96-108.
- Hopkin, V.D. (1989) Man-Machine Interface Problems in Designing Air traffic Control Systems. *Special Issue on Air Traffic Control*. Proceedings of the IEEE. 77, 11, 1634-1642.
- Hopkin, V.D. (1990) Operational Evaluation. Dans: Life M.A., Narborough-Hall, C.S. and Hamilton, W.I. (ed) *Simulation and the User Interface*. London: Taylor and Francis. 73-84.
- Hopkin, V.D. (1991) *The Impact of Automation on Air Traffic Control Systems*. Dans: Wise, J.A., Hopkin, V.D. & Smith, M.L. (ed) *Automation and Systems Issues in Air Traffic Control*. Berlin: Springer-Verlag, 3-19.
- Kaplan, M. (1991) *Issues in Cultural Ergonomics*. In: Wise, J.A., Hopkin, V.D. & Smith, M.L. (ed) *Automation and Systems Issues in Air Traffic Control*. Berlin: Springer-Verlag, 381-393.
- Lenorovitz, D.R. & Phillips, M.D. (1987) *Human Factors Requirements Engineering for Air Traffic Control Systems*. In: Salvendy, G. (ed) *Handbook of Human Factors*. New York: Wiley, 1771-1789.
- Manning, C.A., Kegg, P.S. & Collins, W.E. (1989) *Selection and Screening Programmes for Air Traffic Control Specialists*. In: Jensen, R.S. (ed) *Aviation Psychology — A Contribution to the Technical Symposium* Aldershot, England: Gower Technical Press Ltd. 321-341.
- Melton, C.E. (1982) *Physiological Stress in Air Traffic Controllers: A Review*. Washington, DC: FAA Office of Aviation Medicine. Report FAA-AM-82-17.
- OACI (2000). *Lignes directrices sur les facteurs humains et les systèmes de gestion du trafic aérien (ATM)*. Doc 9758, OACI, Montréal, Canada.
- Sells, S.B., Dailey, J.T. & Pickrel, E.W. (ed) (1984) *Selection of Air Traffic Controllers*. Washington DC: Federal Aviation Administration, Office of Aviation Medicine, FAA-AM-84-2.
- Stager, P. (1991) *Error Models for Operating Irregularities: Implications for Automation*. In: Wise, J.A., Hopkin, V.D. & Smith, M.L. (ed) *Automation and Systems Issues in Air Traffic Control*. Berlin: Springer-Verlag, 321-338.
- Tattersall, A., Farmer, E. & Belyavin, A. (1991) *Stress and Workload Management in Air Traffic Control*. In: Wise, J.A., Hopkin, V.D. & Smith, M.L. (ed) *Automation and Systems Issues in Air Traffic Control*. Berlin: Springer-Verlag, 255-266.
- Whitfield, D. & Jackson, A. (1982) *The Air Traffic Controller's "Picture" as an Example of a Mental Model*. In: Johannsen, G. & Rijnsdorp, J.E. (ed) *Analysis Design and Evaluation of Man-Machine Systems*. Dusseldorf, Germany: International Federation of Automatic Control, 45-52.

Wing, H. & Manning, C.A. (ed) (1991) *Selection of Air Traffic Controllers: Complexity, Requirements, and Public Interest*. Washington DC: Federal Aviation Administration, Office of Aviation Medicine. DOT/FAA/AM-91/9.

Wise, J.A., Hopkin, V.D. & Smith, M.L. (ed) (1991) *Automation and Systems Issues in Air Traffic Control*. NATO Advanced Science Institutes Series F: Computer and Systems Sciences, V. 73. Berlin: Springer-Verlag.

Appendice au Chapitre 5

LIGNES DIRECTRICES POUR L'ÉLABORATION DE LA FORMATION EN GESTION DES RESSOURCES EN ÉQUIPE (TRM)

INTRODUCTION

1. Après l'introduction réussie de programmes de formation en gestion des ressources dans le poste de pilotage (CRM) pour les navigants au cours des deux dernières décennies du XX^e siècle, la faisabilité de transplanter ce genre de formation dans d'autres domaines de l'aviation (par exemple, maintenance, services de la circulation aérienne) fut envisagée. Le présent appendice va explorer l'élaboration de programmes avancés de formation en performance humaine pour les services de la circulation aérienne (ATS).

2. En premier lieu, des indications seront données sur l'historique des programmes de formation en performance humaine dans les services ATS. Les principaux éléments du Chapitre 2 de la 2^e Partie du Manuel seront présentés dans une forme condensée. Ensuite, la gestion des ressources en équipe (TRM) sera introduite à titre de condition préalable pour la gestion des menaces et des erreurs (TEM), et des lignes directrices seront données pour l'introduction de la formation TRM et TEM dans un organisme ATS. Des références de sources de renseignements connexes seront indiquées à la fin de l'appendice.

3. Pour bien situer le présent appendice, il faut mentionner que la formation avancée décrite ici s'adresse à du personnel ATS déjà qualifié, alors que la formation de base décrite dans le Chapitre 1^{er} de la 2^e Partie du Manuel concerne le niveau de préqualification (c'est-à-dire dans la formation initiale). Malgré cette distinction, les établissements de formation en ATS sont encouragés à introduire, lorsque c'est possible, des éléments de la section avancée dans leurs programmes de formation initiale, afin que le personnel nouvellement qualifié soit mieux préparé à l'environnement dans lequel il sera appelé à travailler.

HISTORIQUE

4. Vers le milieu des années 1990, différents prestataires d'ATS mirent en route plusieurs initiatives visant à élaborer un programme du genre CRM de nature à pouvoir être utilisé dans l'environnement ATS. L'appellation de ces programmes, qui a été admise pour les distinguer de la CRM pour les compagnies aériennes, est formation en gestion des ressources en équipe (TRM, de l'anglais *Team Resource Management*).

5. Dans l'élaboration et la mise en oeuvre de ce genre de formation, il fut vite constaté, de la même façon qu'il avait été constaté par les compagnies aériennes qu'un programme CRM convenant à une compagnie ne pouvait pas être simplement utilisé par une autre, que des programmes de formation CRM existants ne pouvaient pas être simplement transférés à l'environnement ATS. Les philosophies et principes des programmes CRM étaient jugés généralement valables pour l'environnement ATS, mais la forme et le contenu des programmes allaient nécessiter une adaptation afin qu'ils deviennent valables et acceptables dans la communauté ATS.

6. Tout en reconnaissant la valeur et l'intérêt du travail de développement consacré à la TRM dans d'autres organismes ATS (par exemple en Australie et au Canada), le présent appendice repose surtout sur la version de TRM élaborée par l'Organisation européenne pour la sécurité de la navigation aérienne (EUROCONTROL) dans le cadre du Programme européen de gestion de la circulation aérienne (EATMP). Cependant, le présent appendice expose une perspective dans laquelle la TRM permettra au personnel opérationnel de gérer les menaces et les erreurs. Cette perspective est semblable à celle dans laquelle la CRM est analysée dans la première partie du présent chapitre.

GESTION DES RESSOURCES DANS LE POSTE DE PILOTAGE (CRM) — APERÇU SOMMAIRE

7. Au bénéfice de ceux qui n'auraient pas lu le Chapitre 2 de la 2^e Partie, les principaux points sont présentés ici dans une forme condensée. Les numéros qui figurent à la fin des paragraphes sont ceux des paragraphes correspondants du Chapitre 2 de la 2^e Partie.

- La CRM est une stratégie largement appliquée dans le monde de l'aviation en tant que formation visant à contrecarrer les conséquences de l'erreur humaine. Traditionnellement, la CRM a été définie comme étant le recours à toutes les ressources dont dispose l'équipage pour gérer l'erreur humaine. Dès le début, il importe de situer la CRM dans le cadre de la formation en facteurs humains: la CRM n'est qu'une des applications pratiques de la formation en facteurs humains, visant à soutenir les réactions de l'équipage

- aux menaces et aux erreurs qui se manifestent dans le contexte de l'exploitation. La formation CRM a pour objet de contribuer à la prévention des incidents et des accidents. (2.1.9 – 2.1.10)
- La CRM a traversé plusieurs «générations», chacune ayant ses propres caractéristiques. L'élargissement du champ d'application de la formation CRM eut cependant une conséquence non souhaitée: la focalisation initiale, c'est-à-dire la gestion de l'erreur humaine, fut diluée. (2.1.12 – 2.1.21)
 - Il semble que dans le processus appliqué pour enseigner aux gens *comment* travailler ensemble, l'industrie a peut-être perdu de vue *pourquoi* il est important de travailler ensemble. La raison supérieure de la CRM — soutenir la réaction des équipages aux menaces et aux erreurs qui se manifestent dans le contexte de l'exploitation — a apparemment été perdue. Ce qu'il faudrait privilégier, c'est une justification plus nettement définie, accompagnée d'un soutien organisationnel proactif. (2.1.27 – 2.1.32)
 - La cinquième génération de CRM est fondée sur la prémisse que l'erreur humaine est omniprésente et inévitable, et qu'elle est aussi une précieuse source d'information. Si l'erreur est inévitable, la CRM peut être considérée comme une série de contre-mesures avec trois lignes de défense. La première vise à éviter l'erreur. La deuxième capture les erreurs naissantes dès qu'elles sont commises. La troisième atténue les conséquences des erreurs qui sont commises et ne sont pas capturées. La même série de contre-mesures de CRM s'applique à chaque situation; la différence réside dans le moment de la détection. (2.1.33)
 - Pour faire accepter l'approche de gestion des erreurs, les organismes doivent faire savoir qu'ils admettent officiellement qu'il y aura des erreurs, et ils devraient adopter une approche non punitive à l'égard des erreurs. (Cela ne veut pas dire qu'un organisme devrait accepter des violations délibérées de ses règles ou procédures.) En plus d'«accepter» les erreurs, les organismes doivent prendre des mesures pour identifier la nature et les sources des erreurs dans leurs activités. (2.1.34)
 - La cinquième génération de CRM vise à présenter les erreurs comme normales et élaborer des stratégies pour gérer les erreurs. Elle devrait avoir pour base une instruction formelle dans les limitations de la performance humaine. Cela inclut la communication de la nature des erreurs ainsi que des constats empiriques démontrant les effets nuisibles de facteurs stressants tels que la fatigue, une surcharge de travail et des urgences. Bien entendu, ces sujets nécessitent une instruction formelle, indiquant que la CRM devrait continuer d'avoir sa propre place dans la formation initiale et la formation de rappel. (2.1.35)
 - En même temps que la gestion des erreurs devient la focalisation primaire de la formation CRM, il convient d'introduire pour les instructeurs et les évaluateurs une formation en reconnaissance et renforcement de la gestion des erreurs. Cette formation devrait souligner qu'une gestion efficace des erreurs caractérise la performance efficace des équipages et que des erreurs bien gérées sont des indicateurs d'une performance efficace. (2.1.37)
 - La CRM n'est pas et ne sera jamais le mécanisme qui élimine l'erreur et garantit la sécurité dans une activité de haut risque telle que l'aviation. L'erreur est un résultat inévitable des limitations naturelles de la performance humaine et de la fonction des systèmes complexes. La CRM n'est qu'un des éléments de l'attirail d'outils que les organismes peuvent utiliser pour gérer l'erreur humaine. (2.1.40)
 - L'objet fondamental de la formation CRM est d'améliorer la sécurité des vols grâce à l'utilisation efficace de stratégies de gestion des erreurs dans des domaines d'influence individuels aussi bien que systémiques. Ainsi, il est tout à fait raisonnable de refocaliser la CRM en tant que formation en gestion des menaces et des erreurs (TEM). (2.1.44)

GESTION DES RESSOURCES EN ÉQUIPE (TRM) ET GESTION DES MENACES ET DES ERREURS (TEM)

8. L'élaboration de programmes de formation TRM pour l'ATM coïncidait avec l'élargissement de la portée de la formation CRM, dans ce que l'on appelle aujourd'hui la troisième génération de CRM. Tout comme rétrospectivement il avait été conclu que l'élargissement de la portée de la CRM avait dilué la focalisation sur l'objet initial de la formation (c'est-à-dire la gestion des erreurs), les programmes de formation TRM semblent s'être axés sur le travail d'équipe à titre d'objectif plutôt que de moyen de gérer les erreurs. Il est donc nécessaire de refocaliser la formation TRM en tant que moyen habilitant de la gestion des menaces et des erreurs (TEM). La Figure 5-App-1 illustre la relation entre les aptitudes TRM et la TEM.

9. Pour une meilleure compréhension des principes TEM, il est hautement recommandé de lire la section 2.3 du Chapitre 2 de la 2^e Partie, relative à la formation en Gestion des menaces et des erreurs (TEM).

GESTION DES MENACES ET DES ERREURS (TEM) DANS LE CONTRÔLE DE LA CIRCULATION AÉRIENNE (ATC)

10. Une des prémisses de la TEM est que l'optique des erreurs telle qu'elle est représentée dans les conceptions

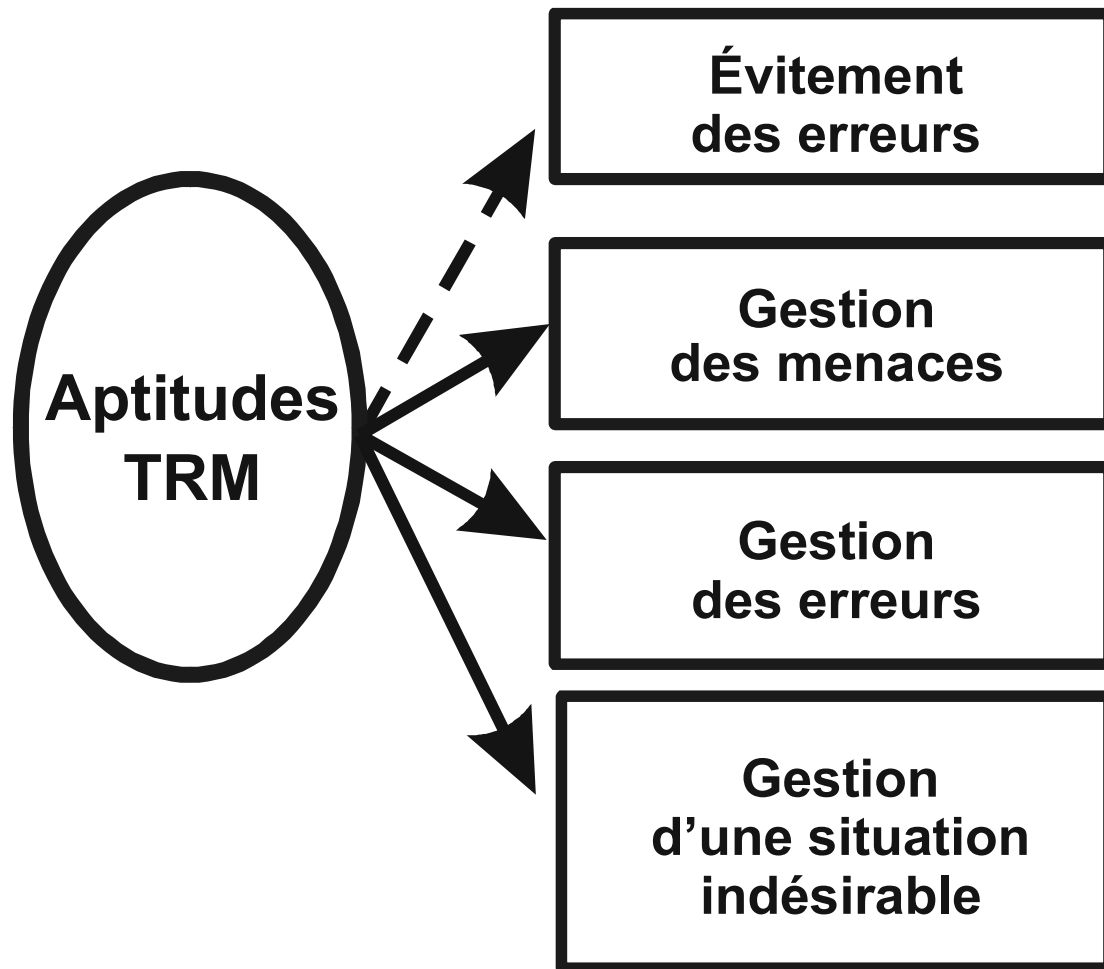


Figure 5-App-1. La TEM — Un outil de formation opérationnelle

traditionnelles de l'erreur humaine ne correspond pas bien aux réalités des contextes opérationnels. Les personnels opérationnels des industries ultra-sécuritaires, dont l'aviation est un parfait exemple, ne prennent pas leurs décisions en choisissant entre un bon aboutissement et un mauvais aboutissement. Les personnels opérationnels prennent les décisions qui paraissent les meilleures à la lumière de leur formation, de leur expérience et de leur compréhension de la situation. Ils jaugent le contexte opérationnel dans lequel ils sont immergés, sur la base de stimulus et de perceptions fournis par le contexte de la situation. C'est après seulement, lorsque le résultat de l'évaluation est connu (l'aboutissement) qu'il est possible de faire valoir — avec le recul — qu'une évaluation différente aurait probablement abouti à un meilleur résultat.

11. Dans le cas où l'aboutissement a été indésirable, l'évaluation qui a conduit à cet aboutissement est habituellement classée comme «erreur». Cela ne peut se faire que quand l'aboutissement est connu (ce qui n'était pas le cas lorsque l'évaluation a été faite) et lorsque des informations

additionnelles sur le contexte de la situation sont disponibles (ce qui n'était pas le cas pour ceux qui s'efforçaient d'interpréter les conditions opérationnelles ambiantes) et font penser à une intervention différente de celle qui a eu lieu.

12. La question qui demande une réponse devient alors celle-ci: «Pourquoi les informations additionnelles maintenant disponibles n'étaient-elles pas à la disposition des acteurs au moment de l'action?» Parmi les diverses réponses, il y en a une qui concerne la TEM: «Parce qu'ils n'avaient peut-être pas été formés à être attentifs à des précurseurs de l'erreur.» C'est-à-dire qu'ils n'étaient pas activement occupés à identifier des menaces. Les menaces sont une partie tellement intégrante du contexte opérationnel qu'elles sont couramment mises de côté. Ayant été longuement exposés à un environnement riche en menaces, les personnels opérationnels ont appris à s'accommoder des menaces comme étant des éléments normaux des contextes opérationnels. Cependant, malgré la «normalisation» des menaces, les menaces mal gérées continuent d'exercer tout leur potentiel de danger pour la sécurité.

13. Dans le cadre de la TEM, une menace n'est pas en elle-même un problème, mais elle peut en devenir un si elle n'est pas convenablement gérée. Comme on le voit dans la Figure 5-App-2, toutes les menaces ne conduisent pas nécessairement à une erreur et toutes les erreurs ne conduisent pas à une situation indésirable, mais le potentiel est présent et il faut le reconnaître. Par exemple, des visiteurs dans une salle opérationnelle ATC sont une «menace»: leur présence n'est pas en elle-même une situation dangereuse, mais si les visiteurs se mettent à parler aux équipes ATC ou à les distraire d'une façon ou d'une autre, cela risque d'amener le contrôleur à commettre une erreur. Le fait de reconnaître cette situation comme une menace permettra au contrôleur de la gérer en conséquence, ce qui minimisera ou empêchera toute distraction et ainsi n'aboutira pas à réduire les marges de sécurité dans le contexte opérationnel.

GESTION DES RESSOURCES EN ÉQUIPE (TRM)

14. La TRM est une stratégie ATS qui est appliquée dans la formation à titre de contre-mesure de l'erreur humaine. Elle consiste à «faire l'usage optimal de toutes les ressources disponibles — personnels, équipements et informations — pour rehausser la sécurité et l'efficacité des services de la circulation aérienne».

15. Les principaux avantages de la TRM sont considérés comme étant les suivants:

- aptitudes rehaussées de gestion des menaces et des erreurs;
- continuité et stabilité rehaussées dans le travail d'équipe;
- efficacité rehaussée dans l'exécution des tâches;
- sentiment rehaussé de travailler dans une équipe plus grande et plus efficace;
- meilleure satisfaction dans l'emploi;
- utilisation améliorée des ressources en personnel.

Au minimum, la formation TRM devrait recouvrir les éléments représentés dans la Figure 5-App-3.

INTRODUCTION DE LA TRM

Préparation du terrain

16. On ne saurait surestimer l'importance de l'appui des gestionnaires dans le succès d'initiatives de formation en équipe comme la TRM. Il importe de ne pas considérer la TRM comme un «supplément» esthétique et coûteux de la

formation existante, mais de la percevoir plutôt comme partie intégrante de la structure et de la culture de formation à l'intérieur de l'organisme. Il existe un certain nombre de méthodes pratiques et relativement peu coûteuses par lesquelles la TRM peut être intégrée dans une entreprise. Il s'agit notamment de souligner, dans toutes les réunions, l'importance d'un bon travail d'équipe et de mobiliser tous les membres du personnel existant en les formant comme «entraîneurs» et champions de la formation en équipe. Dans le contexte de l'ATC, les superviseurs, les chefs d'équipe et ceux qui sont chargés d'encadrer des stagiaires devraient être de bons candidats pour ces rôles.

17. D'autres méthodes consistent à utiliser et adapter des programmes existants pour s'attaquer à des problèmes là où les aptitudes de travail en équipe se sont révélées inadéquates, et à affronter les cas de mauvaise performance d'équipe avec le même niveau de préoccupation qui s'appliquerait à d'autres exemples de performance sous-optimale de nature à compromettre la sécurité et l'efficacité.

18. Alors que la sécurité conserve une importance primordiale, les gestionnaires doivent aussi prendre en compte les avantages et coûts relatifs de toute innovation. Comme dans bien des cas de questions liées à la sécurité, il est difficile d'attribuer une valeur monétaire aux avantages à retirer de la mise en oeuvre de la TRM, sauf peut-être en la comparant avec le coût potentiel, en termes humains et monétaires, d'un incident ou accident résultant d'un mauvais travail d'équipe.

19. En plus de sensibiliser les gestionnaires aux avantages d'un bon travail d'équipe, il importe de convaincre le personnel opérationnel que la TRM a quelque chose à leur offrir dans leur travail quotidien. Les contrôleurs, par exemple, savent qu'il est important de bien communiquer dans une tâche qui, pour son exécution sécuritaire, dépend essentiellement de la qualité et de l'exactitude des informations qui sont transmises et de la façon dont les membres de l'équipe communiquent. Ce qui est peut-être moins bien compris, c'est la nécessité d'être capable d'accepter des suggestions de collègues, de donner et de recevoir des critiques constructives et de percevoir l'ensemble de la tâche comme un exercice en performance d'équipe aussi bien qu'en habileté individuelle.

20. Une bonne part du succès du processus de mise en oeuvre dépend de la façon dont les informations et concepts TRM sont transmis. La crédibilité d'un cours, quel qu'il soit, dépendra de la pertinence des informations fournies aux participants dans leur travail quotidien. Cependant, lorsqu'on s'efforce d'expliquer au personnel opérationnel ce qu'est la TRM, il importe aussi de leur expliquer ce qu'elle n'est pas.

21. La TRM ne peut se substituer à une formation adéquate, ni servir à contrecarrer de mauvaises procédures et une mauvaise documentation. Elle ne peut pas compenser des structures de gestion inefficaces ni des rôles organisationnels mal définis. La TRM n'est pas destinée à remplacer une formation technique mais devrait la compléter. Il importe de montrer que la TRM est un moyen d'augmenter l'habileté et le professionnalisme en rehaussant les aptitudes de gestion des

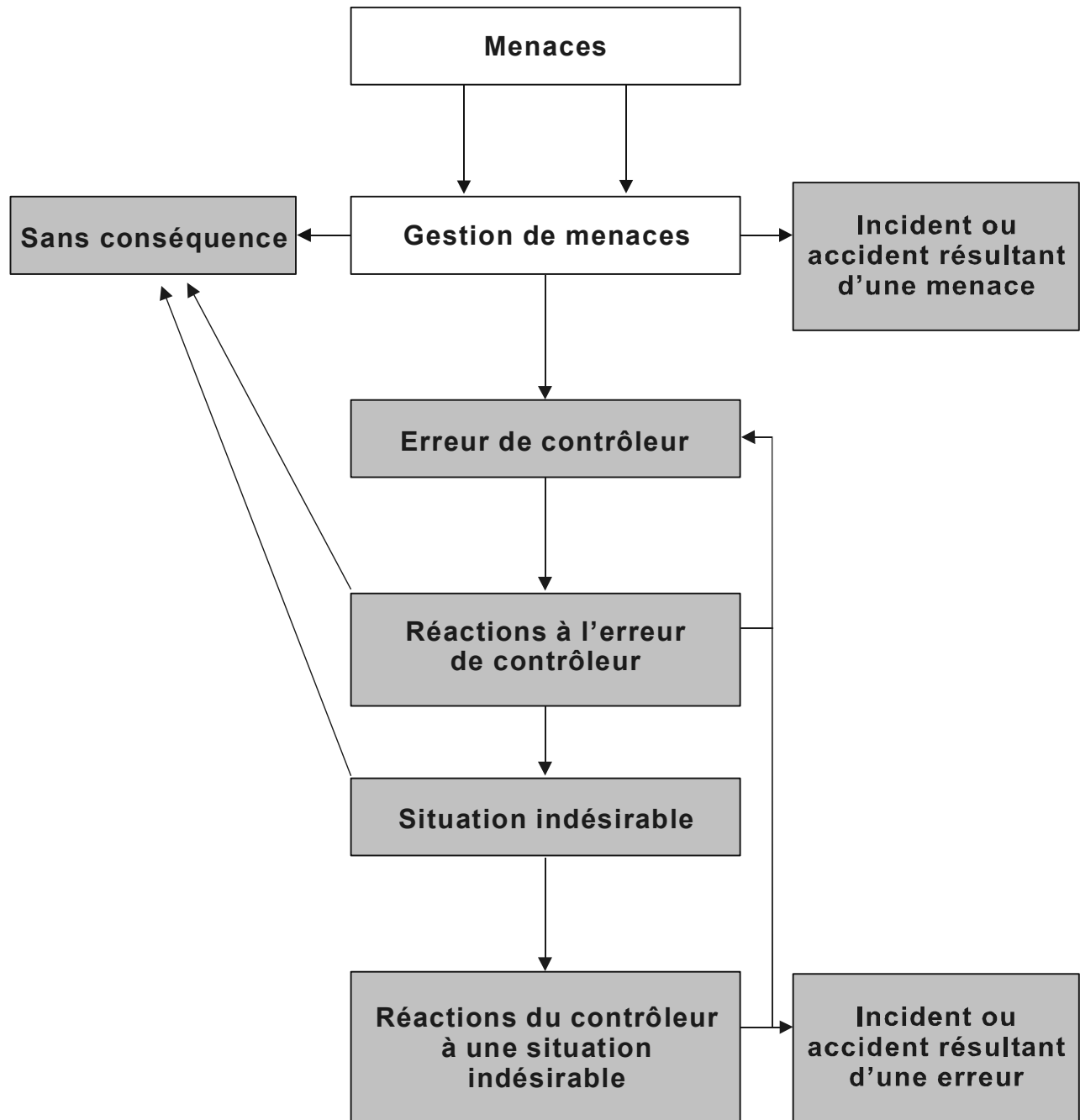


Figure 5-App-2. Le modèle de gestion des menaces et des erreurs (TEM)

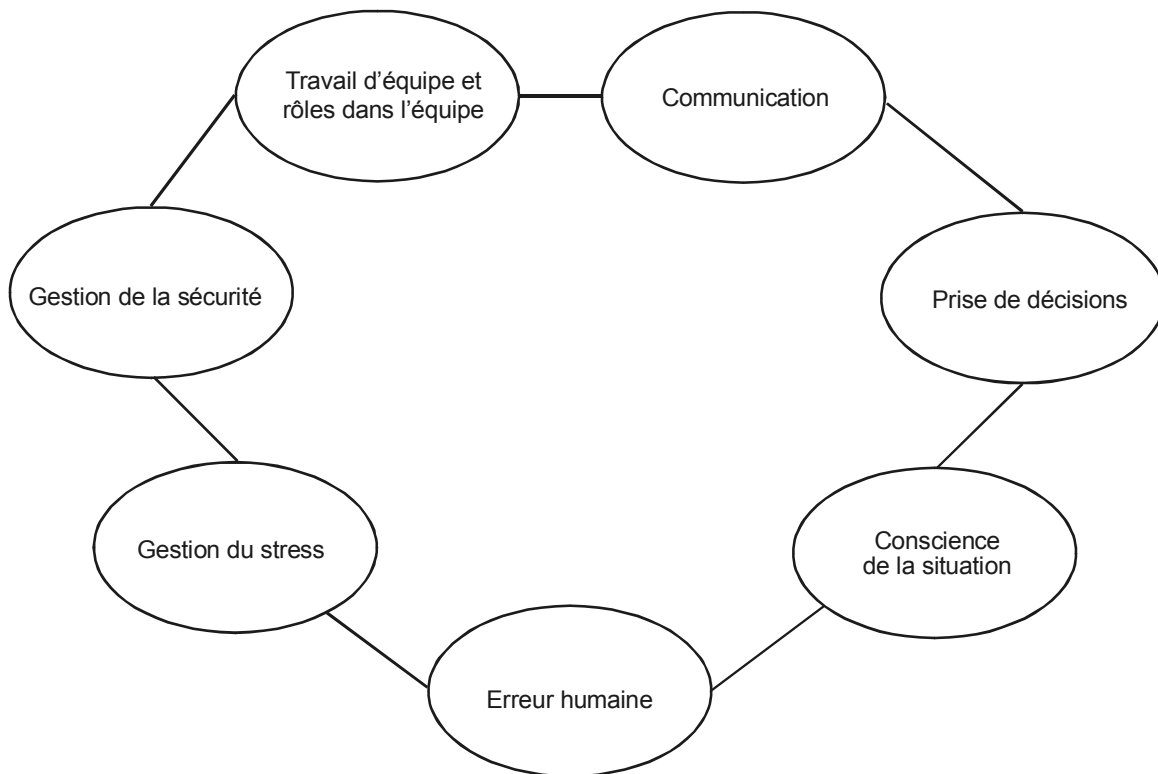


Figure 5-App-3. Éléments de la formation TRM

menaces et des erreurs. Une meilleure sensibilisation à l'exécution plus efficace du travail, couplée à un sentiment rehaussé de travailler dans une équipe plus grande et plus efficace, apportera aussi une plus grande satisfaction dans l'emploi, qui à son tour améliorera encore le professionnalisme et l'efficacité. Cela sera bénéfique pour les personnels eux-mêmes et les organismes dans lesquels ils travaillent.

Introduction de la TRM — Ligne directrice 1

Les avantages pratiques d'une performance d'équipe améliorée, tant pour les gestionnaires que pour le personnel opérationnel, devraient être communiqués le plus tôt possible. Cela rehaussera la volonté de développer et renforcer la TRM comme outil pour la TEM dans l'organisme tout entier.

Objectif de la TRM

22. Afin de rehausser les aptitudes de gestion des menaces et des erreurs (TEM) dans les équipes ATS, il convient d'introduire un cours TRM pour former le personnel opérationnel dans des stratégies de comportement. La formation TRM vise à réaliser le fonctionnement efficace du personnel

opérationnel grâce à l'utilisation précoce et compétente de toutes les ressources disponibles pour la sécurité et l'acheminement efficace du trafic aérien. Les objectifs clés de la formation TRM consistent à affiner les attitudes et comportements des membres de l'équipe en vue d'améliorer les aptitudes de travail en équipe et la performance en équipe dans les services de la circulation aérienne.

23. Les personnels opérationnels sont instruits dans les compétences techniques et procédurales, et leurs aptitudes à affronter les impératifs du travail sont habituellement testées avec soin dans une procédure de sélection spécialement conçue à cet effet. Dans le cadre de cette procédure, on évalue les personnels opérationnels afin de déterminer s'ils possèdent les aptitudes et les attitudes nécessaires pour l'emploi dont il s'agit. La TRM fait usage de ces aptitudes et attitudes pour aider les personnels opérationnels à comprendre et connaître:

- le travail d'équipe et la façon dont il agit sur le fonctionnement de l'équipe;
- comment les comportements et attitudes peuvent avoir une influence dans les accidents et incidents.

Une fois que les personnels opérationnels ont développé les attitudes et comportements nécessaires, ils devraient alors avoir la possibilité de les pratiquer dans un programme complémentaire de formation en milieu opérationnel.

Introduction de la TRM — Ligne directrice 2

L'objectif principal de la TRM pour les personnels opérationnels devrait être de développer les attitudes et comportements qui contribueront à rehausser les compétences et la performance en travail d'équipe, afin de réduire les défaillances de travail d'équipe comme facteur contribuant dans des incidents et accidents liés à l'ATS.

n'est pas le moins important, il y a des relations de travail d'équipe avec d'autres organismes ATC (TWR, APP et/ou ACC) et d'autres secteurs, à l'intérieur du même pays ou même dans un autre pays.

26. Bien entendu, le travail d'équipe en ATS doit prendre en compte des aspects transculturels. Cela inclut non seulement les aspects culturels entre organismes ATS de différents pays et différentes nationalités, mais aussi entre différents organismes et différentes équipes à l'intérieur d'une même nation. À cet égard, la TRM aide à comprendre et traiter les aspects transculturels dans un environnement ATS international.

Le travail d'équipe en ATS

24. Dans l'ATS, il est évident que les personnels opérationnels travaillent dans des structures d'équipe, mais il est souvent difficile de définir exactement combien de personnes constituent une équipe ou qui est considéré comme étant un membre d'une équipe, ou quel genre de travail conjoint et coopératif est considéré comme travail d'équipe. La Figure 5-App-4 illustre les relations possibles de travail d'équipe qu'un contrôleur opérationnel pourrait individuellement identifier à partir de son propre point de vue.

25. Dans le sens des aiguilles d'une montre à partir du haut, la figure montre la relation de travail d'équipe entre un contrôleur et les pilotes des avions qui relèvent de sa responsabilité. Il y a ensuite la relation d'équipe avec les autres contrôleurs et/ou les adjoints de données de vol dans la même aire de travail. Le contrôleur travaille étroitement aussi avec le personnel de soutien ATM, le chef d'équipe et/ou superviseur et le personnel ATFM (qui peut se trouver à l'intérieur ou à l'extérieur du même service). Enfin, et ceci

Introduction de la TRM — Ligne directrice 3

La phase initiale de la TRM devrait être concentrée sur le travail d'équipe entre personnes dans un même environnement physique. On pourra envisager ensuite d'étendre la TRM à d'autres relations de travail d'équipe.

Contenu du programme de formation TRM

27. Le contenu exact du programme de formation TRM pourra différer d'un cours à un autre. Il dépendra de la population ciblée pour la formation et aussi des impératifs et circonstances spécifiques de l'organisme pour lequel on élabore la formation. Il est toutefois suggéré qu'au minimum la formation TRM traite des aspects représentés dans la Figure 5-App-5.

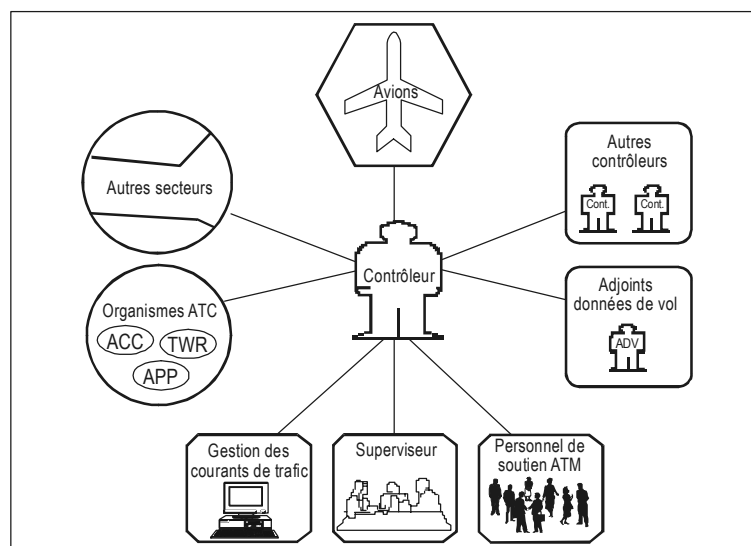


Figure 5-App-4. Relations de travail d'équipe



Figure 5-App-5. Aspects de la formation TRM

28. Le degré auquel les différents aspects seront approfondis dépendra du niveau de connaissance du sujet chez la population ciblée. L'équipe d'élaboration de la TRM devrait étudier attentivement ce qu'il y a lieu d'inclure et déterminer avec soin le degré approprié d'analyse de chacun des sujets inclus dans le cours.

Introduction de la TRM — Ligne directrice 4

Le programme de formation TRM devrait aborder au moins les sujets suivants: travail d'équipe et rôles dans l'équipe, communication, prise de décisions, erreur humaine, conscience de la situation, gestion du stress et gestion de la sécurité.

Phases de la formation TRM

29. Comme dans le cas de la formation CRM en compagnie aérienne, il y a trois phases distinctes dans la formation TRM:

1. une phase d'introduction ou de prise de conscience;
2. une phase d'exercices pratiques pour faire ressortir les concepts enseignés dans la phase de prise de conscience;
3. une phase de formation de rappel.

30. La phase d'introduction ou de prise de conscience fait intervenir une instruction en salle de classe et des exercices collectifs pour expliquer les concepts de base de la TRM. En termes généraux, cette instruction recouvre notamment les aspects suivants: travail d'équipe et rôles dans l'équipe, communication, prise de décisions, erreur humaine, conscience de la situation, gestion du stress et gestion de la sécurité.

31. Idéalement, une ou plusieurs séances de formation sur simulateur devraient faire immédiatement suite à ces aspects théoriques et pourraient inclure un environnement radar ou d'autres environnements opérationnels simulés. Cette formation est analogue à l'Entraînement type vol de ligne (LOFT) utilisé dans les compagnies aériennes et comprend des exercices spécialement conçus pour faire ressortir et démontrer certains aspects théoriques traités en salle de classe.

32. Enfin, il devrait y avoir une formation périodique de rappel ou de consolidation au cours de la carrière opérationnelle des participants. Cela devrait se faire à des intervalles ne dépassant pas cinq années et devrait comprendre des briefings et/ou exercices basés sur des incidents récents liés au travail d'équipe et à des expériences positives.

Introduction de la TRM — Ligne directrice 5

La formation TRM devrait comprendre trois phases: une phase d'introduction ou de prise de conscience, une phase pratique et une phase de rappel/consolidation.

Population ciblée

33. En plus des contrôleurs, il y a des personnels opérationnels d'autres disciplines à l'intérieur de l'ATS qui peuvent influencer de différentes façons sur le fonctionnement sûr et efficace du système. Ces personnels opérationnels bénéficieraient probablement tous de la TRM, mais il faut reconnaître que la formation devrait être donnée en premier lieu à ceux qui peuvent avoir une influence majeure sur la sécurité du système ATM. Une introduction par étapes permettra d'acquérir une expérience de la formation TRM à l'intérieur de l'organisme.

Introduction de la TRM — Ligne directrice 6

La formation TRM devrait être initialement donnée aux contrôleurs opérationnels, aux chefs d'équipe et/ou superviseurs et pourrait être ensuite étendue à d'autres personnels opérationnels dans l'ATS.

Formateurs

34. La sélection des formateurs est un facteur crucial dans l'acceptation de la TRM en tant que concept. Bien que des experts en performance humaine puissent participer à la conception de tel ou tel cours, l'expérience montre qu'il y aura un haut degré d'acceptation si l'instruction donnée est opérationnellement pertinente. Il est donc suggéré que seuls des personnels opérationnels ATS soient employés comme formateurs.

35. Il importe aussi de choisir avec soin les formateurs. Un formateur TRM devrait être quelqu'un qui a de bonnes qualités de communication, qui est à la fois persuasif et au courant des problèmes rencontrés dans l'environnement opérationnel. Un formateur devrait aussi avoir l'esprit ouvert à de nouveaux concepts et être convaincu de l'importance et de la pertinence de la formation TRM.

36. Après avoir choisi des formateurs appropriés, il sera nécessaire de leur donner une formation en concepts TRM. Cette formation, qui devrait inclure un apport d'experts en performance humaine, expliquera en détail les concepts et méthodes TRM et démontrera l'importance de ce genre de

formation. Il est recommandé de former un nombre suffisant de formateurs.

Introduction de la TRM — Ligne directrice 7

Les formateurs en TRM devraient être choisis avec soin et bien formés, et idéalement ils devraient appartenir au personnel opérationnel.

Pertinence pratique de la TRM

37. Pour que la TRM soit bien acceptée par le groupe ciblé, il est indispensable que les principes TRM soient perçus comme pertinents à l'égard des pratiques quotidiennes dans le travail du groupe. Si les participants aux cours TRM ne peuvent pas voir le lien entre ce qui est enseigné et leur propre expérience, il ne sera guère possible que leurs attitudes, et ensuite leur comportement, changent de la manière souhaitée. Il y a un certain nombre de façons dont le contenu des cours TRM pourra être conçu afin que ce qui sera enseigné soit pertinent et efficace. Elles sont examinées ci-après.

38. Des exemples véritables, convenablement désidentifiés, seront extrêmement utiles. La plupart des organismes auront connu des incidents liés à l'ATS, ou tout au moins auront accès à des informations sur des incidents qui illustrent l'importance d'un bon travail d'équipe. Idéalement, une collection d'incidents appropriés devrait être constituée, à partir de laquelle les concepteurs de cours pourront choisir des exemples appropriés pour illustrer le bon et le mauvais travail d'équipe.

39. Il est important d'employer des scénarios véritables pour illustrer des éléments de la formation, mais il est également crucial d'actualiser les cours avec de nouveaux exemples. Cela vaut particulièrement pour la conception et la composition des cours de rappel, qui pourraient perdre beaucoup de leur intérêt si on n'y incluait que des exemples familiers. Une façon de collecter de nouveaux éléments consiste à encourager les participants aux cours à fournir des exemples tirés de leur propre expérience. Cela présuppose que le cours sera donné dans un environnement où les participants se trouvent suffisamment à l'aise pour révéler des informations sur des situations où ils étaient eux-mêmes des participants. Si les cours sont donnés dans une atmosphère ouverte, non menaçante, il devrait être possible de générer un bon niveau de confiance.

40. L'objet principal du cours est d'enseigner aux participants comment utiliser de bons principes et de bonnes pratiques afin d'améliorer leur propre travail en équipe. Dans l'enseignement des principes TRM, il importe que le formateur reconnaisse les situations moins qu'idéales dans lesquelles travaillent peut-être certains personnels opérationnels. Une partie du processus à employer pour rendre les cours réalistes et pertinents consistera à tenir compte des problèmes qui se

posent dans le travail quotidien. Certains participants aux cours travaillent peut-être dans une grande équipe, d'autres en petits groupes ou individuellement. La formation TRM devrait donc être conçue avec assez de souplesse pour pouvoir s'adapter aux besoins différents des participants et aussi reconnaître et traduire la réalité des conditions dans lesquelles ils travaillent.

41. Une formation efficace nécessite de bons matériels de formation mais dépend aussi d'un environnement approprié dans lequel les participants aux cours puissent pratiquer ce qu'ils auront appris. La TRM comporte l'apprentissage et l'utilisation de compétences pratiques et c'est par leur utilisation dans un cadre réaliste que ces compétences pourront le mieux être apprises et conservées. Des scénarios de formation devraient idéalement être établis dans un simulateur ATC afin que les participants aux cours puissent pratiquer et développer leurs compétences TRM. Ces scénarios pourront comprendre des situations de fonctionnement normal et des situations d'exception ou d'urgence dans lesquelles un fonctionnement efficace de l'équipe est d'une importance cruciale.

Introduction de la TRM — Ligne directrice 8

Les scénarios utilisés dans la formation devraient être réalistes, intéressants pour les participants aux cours, et devraient être régulièrement actualisés. Il conviendrait de prévoir un environnement de simulation où les participants puissent pratiquer et renforcer les compétences TRM dans des situations d'urgence aussi bien que dans des situations normales.

Outils de formation TRM

42. Au début d'un cours, il devrait être précisé aux participants que la formation TRM vise à faire acquérir des compétences TEM. De plus, il est recommandé que la participation à certains exercices soit sur une base volontaire.

43. Un avantage important de la TRM est que les participants reçoivent un retour d'information sur la façon dont ils coopèrent en équipe dans l'exécution de tâches et la solution de problèmes. Le retour d'information devrait donc recouvrir non seulement les résultats du travail d'équipe mais aussi les moyens de le réaliser.

44. Les meilleurs résultats pourront être obtenus, dans l'acquisition de compétences TRM, par la présentation en vidéo de reconstructions ou d'enregistrements d'incidents et d'accidents et aussi, en combinaison avec des exercices sur simulateur, par la pratique et l'apprentissage de nouvelles stratégies de comportement. Il n'est pas conseillé de recourir à des jeux de rôles, car on a constaté que leur efficacité est minimale dans un environnement de professionnels.

Introduction de la TRM — Ligne directrice 9

Les outils et méthodes de formation TRM pourront comprendre toutes combinaisons de conférences, d'exemples, de discussions, de vidéos, de notes de cours, de listes de vérification et d'exercices sur simulateur. L'utilisation de jeux de rôles n'est pas recommandée.

Extension de la TRM

45. Après avoir commencé par les contrôleurs, les chefs d'équipe et les superviseurs, la formation TRM pourra être étendue à d'autres groupes de personnel ATS. Le retour d'information des participants servira à améliorer les concepts et la formation TRM. L'élargissement de la population ciblée, par l'inclusion d'échanges d'informations entre personnel ATS formé en TRM et navigants formés en CRM, rehaussera l'application de la TEM.

Introduction de la TRM — Ligne directrice 10

À mesure que la formation TRM avance, il y a lieu d'envisager un élargissement de la population ciblée et un affinement du concept TEM dans le futur système ATM.

Évaluation des résultats de la formation TRM

46. Un des aspects les plus litigieux de l'introduction de la formation CRM pour les navigants réside dans le désir des compagnies d'évaluer l'efficacité des programmes de formation. Il y a un désir similaire dans le cas de la formation TRM des contrôleurs de la circulation aérienne. Ce désir vient en partie d'impératifs scientifiques, mais il y a aussi une composante économique dans laquelle on cherche à justifier les dépenses consacrées à la formation par la compagnie ou l'organisme. Dans bien des cas, le caractère litigieux est dû au fait que l'évaluation des programmes consiste en une évaluation subjective des compétences CRM/TRM des participants.

47. On pourrait arguer que l'évaluation des compétences des participants dans un environnement de formation ne

renseigne pas beaucoup sur la valeur du programme de formation dans l'environnement de travail quotidien. De plus, il pourrait être préférable d'examiner l'aboutissement de l'utilisation d'un outil plutôt que d'examiner l'habileté avec laquelle l'outil est manié. Par conséquent, comme la CRM et la TRM sont destinées à être des outils de gestion des menaces et des erreurs (TEM), la valeur véritable de la formation ne peut se déterminer que dans l'environnement opérationnel.

48. Avec le concours du Human Factors Research Project de l'Université du Texas, des compagnies aériennes ont mis au point un outil qui fournit des données fiables sur les opérations normales: l'audit de sécurité en service de ligne (LOSA). Le LOSA permet aux exploitants d'évaluer le niveau de résistance aux menaces systémiques, les risques opérationnels et les erreurs des personnels de première ligne, ce qui aboutit à une approche basée sur des principes et des données afin de classer et mettre en oeuvre des mesures pour rehausser la sécurité.

Note.— Des renseignements sur le LOSA sont donnés dans le manuel OACI intitulé Audit de sécurité en service de ligne (LOSA) (Doc 9803).

49. Il importe de bien comprendre que le LOSA est un outil à l'usage des compagnies aériennes. Le LOSA ne peut pas s'appliquer dans un environnement ATC ni dans d'autres environnements opérationnels en aviation. Cependant, le concept de surveillance des opérations normales en vue d'obtenir des données pour des améliorations de la sécurité est jugé valable et pourrait être utilisé dans ces autres environnements à condition d'élaborer des outils à cet effet.

50. En 2004, l'OACI a formé un Groupe d'étude chargé d'élaborer un outil utilisable dans l'environnement ATC, sous l'appellation «Enquêtes de sécurité sur les opérations normales (NOSS)».

RÉFÉRENCES

Guidelines for developing and implementing Team Resource Management, Eurocontrol (1996). HUM.ET1.ST10.1000-GUI-01. Bruxelles, Belgique.
(disponible sur Internet: www.eurocontrol.int/eatmp/)

Team Resource Management test and evaluation. Eurocontrol (1999). HUM.ET1.ST10.2000-REP-01. Bruxelles, Belgique.
(disponible sur Internet: www.eurocontrol.int/eatmp/)

CHAPITRE 6

LES FACTEURS HUMAINS DANS LA MAINTENANCE ET L'INSPECTION DES AÉRONEFS

6.1 INTRODUCTION

6.1.1 L'entretien — ou maintenance — des aéronefs est une composante essentielle du système aéronautique; dans le monde entier, c'est une activité de soutien de l'industrie de l'aviation. Avec l'accroissement du trafic et les impératifs rigoureux des horaires commerciaux qui imposent des exigences accrues d'utilisation des avions, les pressions exercées sur les activités de maintenance pour qu'elles soient accomplies à temps vont aussi continuer de s'intensifier. Cela ouvrira de nouvelles fenêtres d'opportunité à l'erreur humaine, et des ruptures du filet de sécurité du système s'ensuivront. Il est incontestable que l'erreur humaine dans la maintenance aéronautique a été parmi les facteurs causaux de nombreux accidents d'aviation. De même, il ne fait aucun doute que si l'aviation ne tire pas les leçons de ces faits, des ruptures de la sécurité liées à la maintenance continueront de se produire. Dans la perspective des facteurs humains, d'importants problèmes ont été découverts au cours des investigations techniques sur ces faits.

6.1.2 Les objectifs du présent chapitre sont de fournir, sur la base de ces problèmes, des indications pratiques relatives aux facteurs humains à ceux qui s'occupent de maintenance et d'inspection des aéronefs, ainsi que d'initier le non-spécialiste aux questions de facteurs humains qui interviennent dans la maintenance et l'inspection. Il s'agit de montrer comment les possibilités et les limites humaines peuvent influencer sur l'exécution des tâches et sur la sécurité, dans les contextes de la maintenance et de l'inspection. Ce chapitre indique aussi des sources de connaissances et d'information sur les facteurs humains.

6.1.3 Dans tout ce chapitre, on se référera constamment au modèle SHEL et au modèle de Reason afin de démontrer l'intervention des facteurs humains dans la sécurité et l'efficacité de l'aviation. Pour illustrer les questions abordées, des accidents d'aviation dans lesquels le rôle de certaines erreurs de maintenance a été mis en évidence seront évoqués. Ce chapitre insiste sur l'importance de l'échange d'informations et préconise le partage d'expérience entre exploitants à propos des activités de maintenance, en soulignant les gains de sécurité que procurent ces échanges. Il rappelle que l'obligation de respecter les procédures de maintenance établies s'impose à tous les intervenants et explique les aspects négatifs du non-respect de ces procédures, en donnant des exemples tirés de la vie réelle. Des méthodes nouvelles et améliorées de formation du personnel d'entretien des aéronefs

sont rapidement passées en revue, avec les avantages qu'elles peuvent offrir.

6.1.4 Ce chapitre traite aussi des gains de sécurité et d'efficacité que procurent des installations et un milieu de travail appropriés. On y aborde également la définition des fonctions, les systèmes de récompense ainsi que la sélection et la formation du personnel, en mettant l'accent sur ces gains. Évidemment, une définition des fonctions qui est satisfaisante dans le cadre d'une certaine organisation ne l'est pas nécessairement pour une autre. C'est pourquoi ce chapitre souligne qu'il faut prendre en considération séparément la culture de chaque organisation si, et quand, des équipes de travail sont constituées. Il présente aussi au lecteur certaines aides existantes de technologie avancée à l'exécution des tâches, et d'autres qui seront sans doute accessibles dans un proche avenir. La nécessité d'introduire de nouvelles technologies avancées est examinée dans la perspective des avantages à en retirer — non seulement sur le plan financier mais surtout pour une sécurité accrue. Tout en reconnaissant les avantages de certaines aides avancées, ce chapitre insiste sur la nécessité de tenir compte, en introduisant l'automatisation ou les technologies nouvelles, des limites des opérateurs qui les utiliseront. L'automatisation devrait être conçue de manière à aider les humains à accomplir leurs tâches normales dans de meilleures conditions d'efficacité et de *sécurité*.

6.1.5 Ce chapitre:

- traite des facteurs humains dans la maintenance et l'inspection des aéronefs;
- étudie l'erreur humaine dans la maintenance et l'inspection;
- présente les questions qui ont des incidences sur la maintenance;
- examine les questions d'équipes et d'organisation qui interviennent dans les activités de maintenance;
- traite de l'automatisation et des systèmes de technologie avancée utilisables dans la maintenance des aéronefs;
- envisage les enjeux pour l'avenir à travers des considérations et des stratégies de prévention des erreurs;
- donne une liste de références.

6.2 LES FACTEURS HUMAINS DANS LA MAINTENANCE ET L'INSPECTION DES AÉRONEFS

Problèmes de maintenance contemporains

6.2.1 Il est incontestable que l'erreur humaine dans la maintenance et l'inspection des aéronefs a été un facteur causal de nombreux accidents récents survenus à des avions de ligne. Partout où des êtres humains interviennent dans une activité, l'erreur humaine est une séquelle assurée. D'après une certaine source,¹ on constate que le nombre d'accidents et d'incidents survenus à des avions de transport public dans lesquels interviennent des *problèmes de maintenance* s'est considérablement accru. Cette source définit le *problème de maintenance* comme un problème qui n'est pas nécessairement une erreur de maintenance (il peut s'agir d'une erreur de conception) mais qui préoccupe les agents de maintenance en tant que gestionnaires de première ligne des problèmes techniques dans les opérations quotidiennes. D'après la même source, 17 accidents et incidents liés à des problèmes d'entretien se sont produits au cours de la première moitié de la décennie 1980 rien que pour les avions appartenant à des exploitants occidentaux, et à l'exclusion de toutes les défaillances techniques «courantes» (moteurs, train d'atterrissage, circuits, structure, séparation d'éléments, accidents sur rampes, etc.). Tous ces accidents et incidents ont eu des conséquences graves (pertes de vies humaines, dommages sérieux, incidences significatives sur la navigabilité, etc.). Au cours de la seconde moitié de la décennie 1980, la même source cite 28 accidents liés à des problèmes d'entretien, soit une augmentation de 65 % par rapport à la première moitié, alors que le trafic (départs de vols réguliers et non réguliers) s'est accru de 22 % pendant la même période. Au cours des trois premières années de la décennie 1990, il s'est produit 25 accidents liés à de tels problèmes (contre 7 pendant les trois premières années de la décennie 1980).

6.2.2 Que les événements liés à des problèmes de maintenance soient un phénomène «nouveau» en aviation ou qu'ils aient toujours existé mais n'aient été que récemment confirmés par les statistiques, cela peut se débattre. En fait, la conscience de l'importance de la maintenance pour la sécurité de l'aviation est peut-être la conséquence logique de l'acceptation progressive d'approches systémiques plus larges de la sécurité. En tout état de cause, l'accroissement du taux d'accidents et d'incidents dans lesquels interviennent ces problèmes paraît être au moins statistiquement significatif. Depuis dix ans la moyenne annuelle s'est accrue de plus de 100 %, alors que le nombre de vols augmentait de moins de 55 %.

6.2.3 Les travaux consacrés aux facteurs humains ont été axés surtout sur la performance du personnel de conduite et, dans une moindre mesure, des contrôleurs de la circulation aérienne. Jusqu'à une époque récente, la littérature a porté peu d'attention aux questions de facteurs humains pouvant influencer les personnels qui inspectent et réparent les aéronefs. C'était là une omission grave, car il est très clair que l'erreur humaine dans la maintenance des aéronefs a effectivement des

effets aussi dramatiques sur la sécurité des vols que les erreurs de pilotes ou de contrôleurs aériens.

6.2.4 Le travail de maintenance et d'inspection des aéronefs peut être fort complexe et varié, dans un environnement où les occasions d'erreur abondent. Le personnel de maintenance — au moins dans les systèmes aéronautiques les plus développés — travaille fréquemment sous de fortes pressions de délais à tenir. Le personnel de la base d'entretien et des stations d'entretien aux escales a conscience de l'importance qui s'attache au respect des heures de départ prévues. Pour surmonter les problèmes économiques qui assaillent l'aviation, les exploitants ont intensifié l'utilisation des avions. De plus, les techniciens d'entretien d'aéronef assurent souvent la maintenance d'une flotte vieillissante. Il n'est pas rare que la flotte des compagnies, y compris celle de grands exploitants, comprenne des avions de 20 à 25 ans d'âge, et nombreux sont les exploitants qui entendent maintenir ces avions en service dans l'avenir prévisible. Des trousseaux de conversion des moteurs rendront viables, du point de vue économique et environnemental, d'anciens avions à fuselage étroit, mais ces avions nécessitent une forte intensité d'entretien. Les cellules d'avions vieillissants demandent une inspection minutieuse pour déceler les signes de fatigue, de corrosion et de dégradation générale. Cela alourdit la charge du personnel d'entretien. Cela crée aussi des situations de travail stressantes, en particulier pour les responsables de l'inspection, car il faut davantage d'entretien et les conséquences peuvent être graves si les signes de vieillissement, souvent subtils, restent non décelés.

6.2.5 Tandis qu'il faut continuer à entretenir les parcs aériens vieillissants, des avions de nouvelle technologie entrent dans les flottes de nombreuses compagnies aériennes du monde, ce qui accroît les exigences d'entretien. Diverses technologies avancées sont intégrées à ces nouveaux avions: éléments de structure en matériaux composites, cockpit tout-écrans, systèmes de bord fortement automatisés et équipement intégré de diagnostic et d'essai. La nécessité d'assurer simultanément l'entretien du parc aérien ancien et nouveau exige que les techniciens possèdent des connaissances plus étendues et soient plus experts dans leur travail que précédemment. La maintenance simultanée de ces flottes composites des transporteurs aériens exigera du personnel d'un niveau de qualification élevé, possédant un bagage d'instruction approprié.

6.2.6 À l'heure actuelle, on prend de plus en plus conscience de l'importance des questions de facteurs humains dans la maintenance et l'inspection des aéronefs. La sécurité et l'efficacité des opérations des compagnies aériennes deviennent aussi plus directement liées à la performance des personnes qui inspectent les flottes et en assurent l'entretien courant. Un des objectifs du présent chapitre est de mettre en lumière les questions de facteurs humains d'importance significative pour la sécurité de l'aviation.

L'erreur humaine

6.2.7 C'est l'erreur humaine, plus que les défaillances techniques, qui a le plus fort potentiel de compromettre la

sécurité de l'aviation contemporaine. Un grand avionneur a récemment analysé 220 accidents documentés et constaté que les trois facteurs causaux venant en tête de liste étaient:²

- le non-respect des procédures par les équipages de conduite (70/220)
- les erreurs de maintenance et d'inspection (34/220)
- les défauts de conception (33/220)

La citation qui suit illustre ce constat:

«Les avions civils étant conçus pour voler en toute sécurité pendant un temps non limité pourvu que les défauts soient décelés et réparés, la sécurité devient une affaire de détection et de réparation plutôt que de défaillance d'éléments de structure de l'avion. Dans un système idéal, tous les défauts qui pourraient nuire à la sécurité de vol auront été anticipés, localisés positivement avant de devenir dangereux, et éliminés par une réparation efficace. Nous avons ainsi, en un certain sens, transformé le système de sécurité qui était un système axé sur des défauts matériels dans les aéronefs en un système axé sur les erreurs dans des systèmes complexes dont l'élément central est humain.»³

6.2.8 Le rôle grandissant de l'erreur humaine ne concerne pas uniquement l'aviation. Hollnagel⁴ a recensé la littérature consacrée aux facteurs humains, en vue de déterminer l'étendue de ce problème. Dans les années 1960, époque où il a commencé à retenir sérieusement l'attention, la contribution de l'erreur humaine aux accidents était estimée à quelque 20 %. Dans les années 1990, elle atteignait 80 %. Les raisons possibles de ce spectaculaire accroissement sont multiples, mais trois d'entre elles ont rapport avec le génie aéronautique.

- La fiabilité des composants mécaniques et électroniques s'est nettement accrue ces trente dernières années. Les gens sont restés les mêmes.
- Les avions sont devenus plus automatisés et plus complexes. La génération actuelle des Boeing 747-400 et des Airbus A340 possède des systèmes de gestion de vol en double et en triple. Cela réduit peut-être la charge de l'équipage de conduite mais impose de plus lourdes exigences aux techniciens d'entretien, dont beaucoup ont reçu leur formation de base sur des systèmes à commandes mécaniques, et non à commandes automatisées. Cela fait penser à l'existence d'inadéquations aux interfaces Humain-Matériel (L-H) et Humain-Documentation (L-S) du modèle SHEL.
- La complexité grandissante du système aéronautique crée les conditions potentielles d'accidents organisationnels, dans lesquels des défaillances latentes, au niveau technique ou procédural, se combinent à des erreurs ou à des infractions du personnel pour

pénétrer ou circonvenir les moyens de défense, comme le montre le modèle de Reason. En résumé, la complexité du système a pour effet de déplacer les erreurs et de les reporter sur autrui.

6.3 L'ERREUR HUMAINE DANS LA MAINTENANCE ET L'INSPECTION DES AÉRONEFS: PERSPECTIVE ORGANISATIONNELLE

6.3.1 L'erreur humaine dans la maintenance se manifeste généralement sous la forme d'une anomalie non voulue (dégradation matérielle ou défaillance) qui se produit à bord et qui est attribuable à des actions, ou à des omissions, du technicien d'entretien. Le mot «attribuable» est employé parce que l'erreur humaine en maintenance peut prendre deux formes de base. Dans le premier cas, l'erreur entraîne une certaine anomalie de l'aéronef qui ne s'y trouvait pas au moment où la tâche de maintenance a été entreprise. N'importe quelle tâche de maintenance effectuée sur un aéronef est une occasion d'erreur humaine pouvant entraîner une anomalie indésirable. On peut citer à titre d'exemples l'installation défectueuse d'éléments remplaçables en escale ou l'omission d'enlever un capot protecteur d'un circuit hydraulique avant le remontage ou encore l'endommagement d'une amenée d'air sur laquelle le technicien avait pris appui pour accéder à l'endroit où il devait travailler (*entre autres défaillances, ces exemples illustrent aussi des inadéquations à l'interface L-H du modèle SHEL*). Le second type d'erreur aboutit à ce qu'une condition indésirable ou dangereuse reste non décelée lors de l'exécution de l'entretien (régulièrement prévu ou non) destiné à déceler une éventuelle dégradation. Il s'agirait par exemple d'une crique dans un élément de structure qui passe inaperçue à l'inspection visuelle, ou encore d'un compartiment d'avionique défectueux resté installé à bord parce que le problème a été mal diagnostiqué et que l'on a remplacé un compartiment autre que celui qu'il fallait.⁵ Ces erreurs peuvent avoir été causées par des défaillances latentes — lacunes de la formation, attribution inadéquate de moyens et d'outils d'entretien, délais trop serrés, etc. Elles peuvent provenir aussi d'une mauvaise ergonomie des outils (*défaut à l'interface L-H*), d'une documentation ou de manuels incomplets (*défaut à l'interface L-S*), etc.

6.3.2 Des erreurs humaines dans la maintenance ont été un facteur qui a contribué à plusieurs accidents dont on a beaucoup parlé. L'accident survenu en 1979 à Chicago à un DC-10 d'American Airlines⁶ a eu pour origine une procédure de remplacement d'un réacteur où le pylône et le réacteur ont été enlevés et installés en bloc, et non séparément. Cette procédure non approuvée (*défaillance latente, sans doute liée à des inadéquations L-H et L-S*) a provoqué la rupture d'un élément de structure, constatée lorsqu'un des réacteurs logés dans l'aile et son pylône se sont détachés de l'avion au décollage, endommageant les circuits hydrauliques, ce qui a provoqué la rétraction des bords de bord d'attaque externes de l'aile gauche, entraînant une perte de contrôle. En 1985, un Boeing 747 de Japan Airlines⁷ a subi une rapide décom-

pression en vol lorsqu'une cloison de pressurisation arrière mal réparée a cédé (*défaillance latente, sans doute liée à des inadéquations L-H et L-S*). La surpressurisation de l'empennage que cela a provoqué et l'expansion de l'onde de choc due à la rupture explosive de la cloison de pressurisation sphérique ont entraîné une panne du système de commande et la destruction de l'appareil, faisant de nombreuses victimes. En avril 1988, un Boeing 737 d'Aloha Airlines⁸ a subi une rupture de la partie supérieure du fuselage, mais a pu finalement se poser. L'accident, qui n'a fait qu'une seule victime, a été attribué à des carences dans les pratiques de maintenance (*défaillances latentes*), ayant permis que la détérioration d'un élément de structure passe inaperçue.

6.3.3 Une analyse détaillée de 93 accidents graves survenus entre 1959 et 1983 a révélé que la maintenance et l'inspection avaient été des facteurs dans 12 % de ces accidents,⁹ mettant en évidence comme suit les causes importantes d'accidents et leur occurrence en pourcentages:

<i>Cause d'accident</i>	(%)
le pilote s'est écarté des procédures normalisées	33
contre-vérification insuffisante par le copilote	26
erreurs de conception	13
carences de l'entretien et de l'inspection	12
absence de guidage d'approche	10
le commandant n'a pas tenu compte d'indications de l'équipage	10
erreur/défaillance du contrôle de la circulation aérienne	09
réaction inadaptée de l'équipage en présence de conditions anormales	09
renseignements météorologiques insuffisants ou inexacts	08
éléments dangereux sur la piste	07
décision d'atterrir prise à tort	06
carences dans les communications du contrôle de la circulation aérienne/de l'équipage de conduite	06

6.3.4 Dans certains accidents où l'erreur a été attribuée à la maintenance et à l'inspection, l'erreur elle-même a été un facteur causal primordial de l'accident, tandis que dans d'autres cas l'anomalie d'entretien n'a été que l'un des maillons d'une chaîne d'événements ayant conduit à l'accident.

6.3.5 La *Civil Aviation Authority* du Royaume-Uni (UK CAA)¹⁰ a publié une liste d'anomalies d'entretien qui se répètent fréquemment. D'après cette liste, les problèmes majeurs d'entretien sont, par ordre de fréquence:

- installation défectueuse d'éléments
- utilisation de pièces inadaptées
- anomalies du câblage électrique (notamment croisement de connexions)

- objets laissés à bord (outils, etc.)
- lubrification insuffisante
- capots, panneaux de visite et carénages non fixés
- broches de blocage du train au sol pas enlevées avant le départ.

6.3.6 Sur la base d'une analyse de 122 incidents documentés survenus dans une compagnie aérienne entre 1989 et 1991, dans lesquels des erreurs liées au facteur humain avaient sans doute eu des conséquences d'ordre technique, les principales catégories d'erreurs d'entretien étaient les suivantes:¹¹

<i>Catégories d'erreurs d'entretien</i>	<i>Pourcentage</i>
omission	56
installation défectueuse	30
pièces inadaptées	08
autres	06

6.3.7 Les omissions les plus fréquentes concernent les fixations non effectuées ou laissées incomplètes. C'est un cas qu'illustre l'exemple suivant:

Un avion a présenté pendant deux semaines un problème de vibrations du moteur droit. Les spécialistes qui l'examinent, pensant qu'il s'agit d'un problème de circuit pneumatique, changent les clapets de régulation de pression. Pour plus de sécurité, on envoie aussi un technicien d'entretien contrôler les lectures moteur sur un vol Amsterdam-Kos, entièrement rempli de touristes. Le départ se déroule sans accroc, à part une brève montée de l'indicateur de vibrations du moteur droit à environ 130 noeuds. En croisière, l'indicateur de vibrations oscille entre 1,2 et 1,3 mais reste dans la plage normale. On a cependant l'impression de vibrations étranges et inhabituelles. Au bout de 90 minutes de vol, l'indicateur monte à 1,5, juste au-dessous de la plage ambrée. Quinze minutes plus tard, il entre dans la plage ambrée. Le pilote revient à la commande manuelle et descend au FL 290, en fermant lentement la manette. L'indicateur de vibrations du moteur droit bondit brusquement à 5,2 et un tremblement sourd ébranle l'appareil. Les lectures reviennent ensuite dans la plage normale et les vibrations disparaissent. Le commandant décide cependant de déclarer une situation d'urgence et d'atterrir à Athènes où il sait pouvoir obtenir le soutien technique qui ne serait pas disponible à Kos. Avec le moteur maintenant sur poussée résiduelle, les lectures reviennent dans la plage normale et le commandant décide donc de ne pas s'en occuper et de ne pas arrêter le moteur. À l'atterrissage, l'équipage remarque des particules métalliques autour du moteur et une décoloration sur les pales, apparemment produite par de l'huile.

Le rapport de vérification du moteur reçu quelques jours plus tard indique que:

«... la raison pour laquelle il y avait du jeu est que les écrous avaient été serrés à la main seulement sur les boulons des disques BP (basse pression) 1 et 2, sans être serrés à fond; le mouvement désaxé qui en résultait, produisant un décalage par rapport à la courbure normale, provoquait de forts frottements et un déséquilibre. Les écrous s'étaient successivement desserrés, permettant aux boulons de se dégager jusqu'à ce qu'il ne reste plus que les quatre derniers.»

6.3.8 Le moteur avait été envoyé en révision avant que l'exploitant ne prenne livraison de l'avion. Les disques BP 1 et BP 2 sont maintenus ensemble par 36 écrous et boulons. Apparemment, le technicien d'entretien les avait serrés à la main avant de décider d'aller manger. À son retour, il avait oublié de les serrer à fond comme il en avait l'intention. Tous les boulons étaient sortis, sauf quatre, et ceux qui restaient ne tenaient plus que sur un quart de pouce. Seule la poussée résiduelle avait maintenu les disques ensemble. Si l'équipage avait décidé d'arrêter le moteur, les conséquences auraient probablement été catastrophiques.¹²

6.3.9 L'installation défectueuse d'éléments et les carences de l'inspection et du contrôle de qualité sont les erreurs de maintenance les plus fréquentes. Les exemples abondent. En voici quelques cas:

- Le 5 mai 1983, le vol 855 d'Eastern Airlines, un Lockheed L-1011, quitte l'aéroport international de Miami pour Nassau (Bahamas). Peu après le décollage, le voyant de basse pression d'huile pour le réacteur n° 2 s'allume. L'équipage arrête le réacteur par précaution et le commandant décide de retourner à Miami. Peu après, les deux réacteurs restants tombent en panne, après indication d'une pression d'huile nulle pour tous les deux. On cherche à remettre en marche les trois réacteurs. À 22 milles de Miami, en descendant à 4 000 ft, l'équipage parvient à remettre en marche le réacteur n° 2 et atterrit sur un seul réacteur, tandis que le réacteur n° 2 dégage beaucoup de fumée. On constate que les trois détecteurs de limaille principaux ont été installés sans joints circulaires.¹³
- Le 10 juin 1990, un BAC 1-11 (vol British Airways 5390) quitte l'aéroport international de Birmingham pour Malaga (Espagne), emmenant 81 passagers, 4 agents de bord et 2 pilotes. Le copilote est aux commandes lors du décollage; une fois l'avion établi dans la montée, le commandant de bord prend la relève en se conformant aux procédures d'exploitation normales de l'exploitant. À ce moment, les deux pilotes détachent leur harnais et le commandant desserre sa ceinture de sécurité. Au moment où l'avion franchit l'altitude-pression de 17 300 pieds, on entend une forte détonation et le fuselage s'emplit d'une brume de condensation indiquant qu'une décompression rapide s'est produite. Un pare-brise du poste de pilotage s'est arraché et le commandant de bord a été partiellement aspiré par l'ouverture

béante. La porte du poste de pilotage a été projetée sur la console de navigation-radio. Le copilote reprend immédiatement le contrôle de l'appareil et entame une descente rapide au FL 110. L'équipage essaie de ramener le commandant à l'intérieur mais l'effet du souffle l'en empêche. On le retient par les chevilles jusqu'à l'atterrissage. L'enquête révèle que la cause de l'accident est la fixation d'un pare-brise de remplacement avec des boulons inadaptes.¹⁴

- Le 11 septembre 1991, le vol 2574 de Continental Express, un Embraer 120, quitte l'aéroport international de Laredo (Texas) pour l'aéroport intercontinental de Houston. Il subit en vol une rupture soudaine d'un élément de structure et s'écrase, ce qui entraîne la mort des 13 personnes qui se trouvaient à bord. L'enquête révèle que l'accident s'est produit parce que les vis de fixation en haut du bord d'attaque gauche du stabilisateur horizontal ont été enlevées et non revissées, de sorte que l'ensemble bord d'attaque-dégivreur pneumatique n'était plus fixé au stabilisateur horizontal que par les vis de fixation inférieures.¹⁵

6.3.10 Si l'on considère ces cas dans une perspective organisationnelle, plusieurs questions qu'ils soulèvent demandent qu'il soit fait diligence pour y répondre. Pour s'atteler aux problèmes mis en évidence par les conclusions des enquêtes, il faut identifier les questions de facteurs humains qui ont joué un rôle, qu'elles se situent au niveau individuel ou organisationnel.

6.3.11 Dans le cas de l'avion L-1011 d'Eastern Airlines, le National Transport Safety Board (NTSB) a conclu que:

«les détecteurs de limaille principaux ont été installés sans joints circulaires parce que les mécaniciens n'ont pas suivi les procédures indiquées sur les fiches de travail, et parce qu'ils n'ont pas accompli leur tâche avec le soin professionnel qu'il faut attendre d'un mécanicien cellule et moteurs.»¹⁶

6.3.12 Nonobstant les conclusions du NTSB, les faits établis et les conclusions semblent s'être limités à la notion de relations de cause à effet. On n'a pas insisté sur des facteurs tels que les causes multiples, l'interdépendance et l'interaction des systèmes, qui sont pertinents en ce qui concerne la sécurité des systèmes de haute technologie, aussi fortement qu'il l'aurait fallu pour s'attaquer à leurs racines aux défaillances tant latentes qu'actives. C'est l'interaction de défaillances multiples, dont on ne s'attend pas qu'elles surviennent simultanément, plutôt que des actions individuelles isolées, qui explique pourquoi un certain accident ou incident s'est produit.

6.3.13 L'installation d'un détecteur de limaille n'était pas une tâche nouvelle pour les techniciens d'entretien d'Eastern Airlines. La compagnie a estimé que chacun des techniciens qui s'en étaient occupés avait plus de cent fois remplacé cet élément correctement. Ces techniciens étaient en

possession d'une fiche de travail imposant expressément l'installation des joints circulaires sur le détecteur de limaille. Or, ils ont omis de placer les joints, ce qui a gravement compromis la sécurité du vol. L'enquête a révélé qu'il existait des procédures informelles, non décrites sur la fiche de travail mais connues et adoptées par la plupart des techniciens des services de maintenance et d'inspection. D'après les dossiers, il y avait eu précédemment des problèmes d'installation des détecteurs de limaille principaux et les techniciens ne remplaçaient pas systématiquement les joints circulaires sur ces détecteurs. Ce fait était connu, pour le moins, d'un contre-maître général, et celui-ci n'avait pas pris de mesures positives pour assurer le respect de la procédure établie. Une des constatations du NTSB est que les techniciens d'entretien «avaient la responsabilité d'installer des joints circulaires»; or, une autre conclusion du rapport du NTSB indique que «les mécaniciens avaient toujours reçu des détecteurs de limaille principaux munis de joints circulaires installés et n'avaient jamais effectivement rempli cette partie des exigences de la fiche de travail 7204.»¹⁷ Une défaillance latente de l'organisation et des inadéquations L-S sont manifestes dans ce cas.

6.3.14 La psychologie des organisations apporte des éléments qui confirment que les organisations peuvent prévenir les accidents aussi bien que les causer. Vues dans cette perspective, les limites de la technologie, de la formation ou des réglementations, lorsqu'il s'agit de compenser des carences organisationnelles, deviennent évidentes. Trop souvent en aviation, les pratiques de promotion de la sécurité et de prévention des accidents ne tiennent pas compte du fait que l'erreur humaine se produit dans le contexte d'organisations qui soit stimulent l'erreur, soit lui résistent.¹⁸

6.3.15 L'enquête a identifié comme cause immédiate de l'accident du BAC 1-11 la fixation du pare-brise de remplacement au moyen de boulons qui ne convenaient pas.

- 1) Une tâche critique pour la sécurité, qui n'avait pas été identifiée comme «point vital» (*défaillance latente*), a été exécutée par une seule personne, qui assumait aussi toute la responsabilité de la qualité obtenue, et l'installation n'a pas été testée avant le décollage de l'avion pour un vol de transport de passagers (*défaillance latente*).
- 2) En ce qui concerne le chef d'entretien de quart (CEQ), sa capacité à assurer la qualité lors du remplacement du pare-brise a été compromise par son manque de soin, ses piètres pratiques professionnelles, le non-respect des normes de la compagnie et la non-utilisation de l'équipement approprié (*inadéquation L-H*), ce qui a été jugé symptomatique d'une longue inobservation de sa part des procédures publiées.
- 3) La direction locale de British Airways, Échantillons de produits et Audits de qualité, n'avait pas décelé le laisser-aller du CEQ, car elle ne surveillait pas directement les pratiques de travail des CEQ (*défaillance latente*).¹⁹

6.3.16 Le pare-brise a été remplacé environ 27 heures avant l'accident. D'après les statistiques de l'exploitant, douze pare-brise n° 1, de gauche ou de droite, avaient été remplacés sur ses BAC 1-11 depuis un an, et à peu près autant l'année précédente. Le CEQ responsable du remplacement du pare-brise de l'avion accidenté avait procédé à environ six remplacements de pare-brise sur des BAC 1-11 depuis qu'il était à l'emploi de l'exploitant.

6.3.17 Même si la direction locale de la compagnie était citée pour n'avoir pas décelé le laisser-aller du CEQ, les faits établis et les conclusions relevaient encore de la notion de l'évidence des rapports de cause à effet. En considérant ces accidents comme causés par l'erreur humaine, il est évident que nous avons tendance à penser en termes individuels, et non collectifs. Le résultat, c'est que les solutions sont orientées vers l'individu, l'opérateur de première ligne, ce qui masque les défaillances latentes des organisations, alors que celles-ci sont dans la plupart des cas à la racine de ces accidents. Plus souvent qu'autrement, les défaillances latentes restent intouchées, intactes, attendant de se combiner à l'erreur ou à la défaillance active d'un opérateur de première ligne qui ne se doute de rien — la dernière d'un enchaînement d'erreurs — pour causer un accident qui entraîne pertes de vies humaines et destructions matérielles. On a longtemps omis de considérer le fait que les erreurs ne se produisent pas dans le vide et que les erreurs humaines ont lieu dans le contexte d'organisations qui les suscitent ou qui leur résistent, pour désigner un individu comme entièrement responsable de ce qui s'est passé. C'est pourquoi il est impératif de scruter les défaillances au niveau des systèmes et/ou des organisations, pour découvrir les conditions systémiques qui induisent des erreurs.²⁰

6.3.18 L'enquête sur l'accident survenu au vol 2574 de Continental Express a révélé que les vis de fixation de la partie supérieure du bord d'attaque gauche du stabilisateur horizontal avaient été enlevées et pas revissées, de sorte que l'ensemble bord d'attaque-dégivreur n'était fixé au stabilisateur horizontal que par les vis de fixation inférieures. Il a été rendu compte comme suit de la cause probable:

«Le National Transportation Safety Board détermine que la cause probable de cet accident a été le non-respect par le personnel d'entretien et d'inspection de Continental Express des procédures appropriées de maintenance et d'assurance qualité pour les dégivreurs du stabilisateur horizontal de l'avion, ce qui a entraîné la perte soudaine en vol du bord d'attaque du stabilisateur horizontal gauche, partiellement fixé, et le décrochage immédiat en piqué, entraînant la rupture. Des faits qui ont contribué à causer l'accident sont l'omission par la direction de Continental Express de veiller au respect des procédures de maintenance approuvées, omission qui n'a pas été décelée par les services de surveillance de la FAA, lesquels ont omis de vérifier la conformité aux procédures approuvées.»²¹

6.3.19 Bien que le rapport cite des défaillances latentes comme facteurs ayant contribué à l'accident, cet énoncé insiste sur la défaillance active du personnel de maintenance, qu'il

mentionne comme la cause probable. Dans ce cas, et dans des cas antérieurs, il n'est pas difficile de voir qu'une «erreur mécanique» remplace «l'erreur du pilote» comme cause probable; tout en déplaçant le blâme, on désigne toujours un certain corps professionnel comme seule entité responsable de la sécurité du système et on omet toujours de s'intéresser comme il le faudrait aux erreurs au niveau des systèmes et/ou des organisations dans leur dimension réelle de terrains fertiles pour l'erreur humaine. Depuis cinquante ans, la désignation de l'erreur du pilote comme cause probable d'un événement n'a pas permis de prévenir des accidents qui avaient certains facteurs causaux semblables. La raison en est simple: *l'erreur humaine se produit dans le contexte d'organisations*. Aucun accident n'est jamais le résultat d'un fait unique, si évidents que paraissent être ses facteurs causaux. Il existe presque toujours un enchaînement de défaillances latentes — privant la dernière erreur des moyens de défense qui pourraient empêcher qu'elle aboutisse à un accident. Il est donc impératif de s'intéresser aux facteurs causaux des accidents dans le contexte des organisations, pour éviter qu'ils se reproduisent encore et toujours. La sécurité de l'aviation n'a commencé à mettre à profit les leçons des enquêtes sur les accidents qu'après avoir commencé à s'intéresser au contexte organisationnel de l'exploitation. Ces leçons sont applicables aux erreurs commises à la base de maintenance comme à celles qui le sont dans le poste de pilotage ou la salle ATC. Comme c'est le cas dans le cockpit ou dans l'environnement ATC, les accidents résultant d'une maintenance ou d'une inspection défectueuses renvoient plus à l'organisation qu'à la personne qui se trouve en bout de ligne (le modèle de Reason simplifie cette notion).

6.3.20 En accord avec cette ligne de pensée, une opinion dissidente dans le même compte rendu suggère que la cause probable citée aurait dû être exposée comme suit:²²

«Le National Transportation Safety Board détermine que les causes probables de cet accident ont été 1) le fait que la direction de Continental Express n'ait pas instauré une culture d'entreprise qui encourage et assure le respect des procédures approuvées de maintenance et d'assurance de qualité; et 2) au niveau du personnel de maintenance et d'inspection de Continental Express, l'enchaînement d'omissions de suivre les procédures approuvées pour remplacer les dégivreurs du stabilisateur horizontal. Un fait qui a contribué à l'accident est la surveillance insuffisante par la FAA des programmes de maintenance et d'assurance de qualité de Continental Express.»

6.3.21 La justification de cette opinion dissidente réside dans le fait que le rapport d'enquête sur l'accident identifiait «des pratiques et procédures inférieures à la normale et des omissions» de la part de nombreuses personnes, dont chacune aurait pu éviter l'accident. Il s'agit des techniciens d'entretien d'aéronef, inspecteurs d'assurance de qualité et chefs de quart, qui ont tous montré «un manque général de respect» des procédures approuvées. Les écarts par rapport aux procédures approuvées sont notamment l'omission de solliciter et de donner les comptes rendus appropriés de relève de quart, l'omission d'utiliser les fiches de travail approuvées et de

remplir les formulaires requis de relève de quart d'entretien/ d'inspection, ainsi qu'une brèche dans l'intégrité de la fonction de contrôle qualité, puisqu'un inspecteur faisait fonction d'aide mécanicien aux premiers stades des travaux de réparation exécutés sur l'avion accidenté.

6.3.22 L'enquête a mis en évidence aussi deux opérations d'entretien antérieures effectuées sur l'avion accidenté, qui dans chaque cas s'écartaient des procédures approuvées et impliquaient des employés autres que ceux qui avaient remplacé le dégivreur. Dans le premier cas, on avait remplacé une gouverne de profondeur sans utiliser les outils spécifiés par le constructeur pour l'équilibrage. Dans le second cas, on avait omis de suivre les procédures spécifiées et de respecter les exigences de compte rendu à la suite du serrage excessif d'un moteur. Même si ces faits n'étaient aucunement liés à l'accident, le rapport indique qu'ils «laissent supposer un manque d'attention aux conditions d'exécution de l'entretien et du contrôle de qualité établies selon le manuel général d'entretien.»

6.3.23 Un examen approfondi des aspects organisationnels des activités de maintenance au cours de la nuit qui avait précédé l'accident a révélé un mélange de chassés-croisés dans la supervision, les communications et le contrôle. La multitude d'omissions et de carences de nombreux employés de la compagnie aérienne mise en évidence par l'enquête n'est pas compatible avec l'idée que l'accident provenait de facteurs isolés (et non systémiques). Sur la base du dossier, la série de carences qui ont conduit directement à l'accident ne peut être considérée comme le résultat d'aberrations de la part d'individus, mais reflète la façon d'agir coutumière et admise qui existait avant l'accident. *La direction hiérarchique d'une compagnie aérienne est responsable, selon la réglementation, non seulement de présenter un plan d'entretien adéquat (et nous concluons que le manuel général d'entretien était, à la plupart des égards, un plan adéquat), mais aussi d'en appliquer les dispositions. En permettant, implicitement ou explicitement que de tels écarts se produisent continuellement, la haute direction a créé un environnement de travail dans lequel un enchaînement de carences, comme celui qui s'est produit la nuit précédant l'accident, devient probable.*²³

L'erreur humaine dans le contexte de la maintenance

6.3.24 Certaines caractéristiques particulières façonnent l'erreur humaine dans le contexte de la maintenance autrement que dans d'autres contextes opérationnels, tels le poste de pilotage ou la salle ATC. Qu'il appuie sur un bouton qui n'est pas le bon ou tire une manette qui n'est pas la bonne, ou qu'il émette une instruction intempestive, et le pilote ou le contrôleur verra les effets de son erreur avant que l'avion achève son vol. Si un accident ou un incident survient, le pilote est toujours «sur les lieux» à ce moment. S'il s'agit d'un contrôleur de la circulation aérienne, l'ATC est presque toujours sur les lieux ou relié en temps réel. Or cette caractéristique importante, qui peut sembler naturelle pour une erreur

de l'équipage de conduite ou de l'ATC, ne s'applique pas toujours à l'erreur de maintenance.

6.3.25 Par opposition au caractère «en temps réel» de l'erreur commise dans l'ATC ou le cockpit, les erreurs de maintenance ne sont, le plus souvent, pas identifiées au moment où elles sont commises. Dans bien des cas, le technicien de maintenance qui commet une erreur n'en aura peut-être jamais conscience, car la détection interviendra peut-être plusieurs jours, mois ou années plus tard. Dans le cas de l'avarie du DC-10 (provenant des disques du moteur) survenue à Sioux City en 1989,²⁴ le défaut d'inspection soupçonné s'était produit dix-sept mois avant l'accident.

6.3.26 Lorsqu'une erreur humaine dans l'entretien est décelée, généralement à travers un dysfonctionnement du système, nous ne connaissons souvent que l'anomalie qui en résulte à bord. Ce que l'on sait rarement, c'est **pourquoi** l'erreur s'est produite. Au niveau de l'entretien des aéronefs, il n'existe pas d'équivalent de l'enregistreur de conversations dans le poste de pilotage, de l'enregistreur de données de vol ou des enregistrements ATC pour conserver les détails du travail de maintenance accompli. En outre, les programmes d'auto-compte rendu dans la maintenance n'ont pas atteint le même niveau de sophistication que dans l'environnement de vol (programmes ASRS ou CHIRPS, par exemple). Ainsi, dans la plupart des cas, on ne dispose tout simplement pas des données qui permettraient de discuter l'erreur de maintenance en termes de type particulier d'erreur humaine. Les erreurs sont donc discutées en termes d'anomalie à bord. Considérons le scénario suivant: un technicien d'entretien ayant son point d'attache à New York oublie d'installer une pince anti-vibrations sur une conduite hydraulique montée sur le moteur. Trois mois plus tard, cette conduite cède en vol pour cause de fatigue, entraînant la perte d'un circuit hydraulique. À l'atterrissage à Londres, des techniciens d'entretien inspectent le moteur et constatent que la pince anti-vibrations n'a pas été installée. Savent-ils **pourquoi**? Fort probablement pas, car l'erreur s'est produite trois mois plus tôt à New York. C'est ainsi qu'une erreur humaine sera signalée comme «pince manquante».

6.3.27 Le fait de ne pas disposer de données causales relatives à ce qui s'est passé «sur les lieux de l'erreur» représente un problème pour une industrie qui a été conditionnée pendant des décennies à suivre une approche de la prévention et de l'enquête fortement biaisée vers la recherche d'un certain facteur causal spécifique. En considérant l'analyse des facteurs causaux d'accidents et de leurs pourcentages présentée plus haut, on voit que «l'erreur du pilote» (nom peu approprié donné couramment à l'erreur humaine commise par les pilotes) a été subdivisée en défaillances spécifiques dans les performances: écart du pilote, réaction inadéquate de l'équipage, manque de coordination, défaut de communication avec le contrôle de la circulation aérienne, etc. Or, dans la même analyse, on ne trouve qu'une seule ligne pour la maintenance et l'inspection: *carences de la maintenance et de l'inspection*. Nonobstant toutes les autres erreurs possibles dans l'entretien d'un aéronef complexe, tout accident lié à la maintenance relève de cette unique ligne. Sauf pour les

accidents majeurs qui sont reconstitués de façon approfondie, on voit rarement l'identification des facteurs causaux du type d'erreur liée à l'entretien aller au-delà de ce niveau.²⁵

6.3.28 Les accidents liés à des erreurs de maintenance et d'inspection qui sont survenus au BAC 1-11 et à l'Embraer 120 sont des exceptions, en ce sens qu'ils se sont produits peu après que les erreurs actives eurent été commises. Cela a permis aux enquêteurs de centrer leurs efforts sur le site et d'étudier de près les activités des personnes concernées, ainsi que celles des organisations. Le classique «déplacement dans le temps et l'espace» n'a pas été un facteur ayant ralenti, voire entravé, la conduite en temps opportun des investigations sur ces événements. L'occasion d'identifier les erreurs relevant de l'organisation, l'erreur humaine individuelle ou les pratiques des organisations induisant l'erreur se présentait, offrant la chance de s'attaquer à leur source aux pratiques qui permettent l'accident.

6.3.29 Il ressort des statistiques que les erreurs organisationnelles ou systémiques au sein des organismes de maintenance des aéronefs ne sont pas limitées à un certain organisme ou à une certaine région. Dans les trois accidents analysés ici, le comportement des organismes et celui des individus au sein de l'organisme avant que les incidents ne surviennent a été semblable. Par exemple:

- le personnel d'entretien et d'inspection ne s'est pas conformé aux méthodes et aux procédures établies (*défaillance active*);
- les responsables chargés d'assurer le respect des procédures et des méthodes établies ont omis d'assurer une supervision portant non pas sur les défaillances ponctuelles, mais sur les défaillances ayant des effets à plus long terme (*défaillances actives et défaillances latentes*);
- la haute direction de la maintenance a omis de prendre des mesures positives pour exiger que les procédures prescrites soient respectées par leurs organisations respectives (*défaillances latentes*);
- des travaux d'entretien ont été exécutés par du personnel qui n'en était pas chargé mais qui, dans de bonnes intentions, a commencé le travail de sa propre initiative (*défaillance active suscitée par les deux précédentes défaillances latentes*);
- le manque de communications appropriées et/ou positives était évident, prolongeant la chaîne d'erreurs qui a conduit aux accidents (*défaillance latente*).

6.3.30 Un des éléments fondamentaux du système aéronautique est le **décideur** (direction de haut niveau, organes centraux ou organes de réglementation des compagnies aériennes), responsable de fixer des objectifs et de gérer les ressources disponibles pour réaliser et équilibrer les deux enjeux distincts de l'aviation: d'une part la sécurité et d'autre

part la ponctualité et la rentabilité du transport aérien de passagers et de fret. En utilisant le modèle de Reason et le modèle SHEL, il n'est pas difficile de voir où et pourquoi des erreurs sont commises.

6.4 QUESTIONS DE FACTEURS HUMAINS INFLUANT SUR LA MAINTENANCE DES AÉRONEFS

Échange d'informations et communication

6.4.1 La communication est peut-être la plus importante question de facteurs humains intervenant dans la maintenance des aéronefs. Sans communication entre responsables de la maintenance, avionneurs, dispatchers, pilotes, grand public, autorités et autres intéressés, il serait difficile que les normes de sécurité soient respectées. Dans le domaine de la maintenance, il y a un énorme volume d'informations à créer, transférer, assimiler, utiliser et enregistrer pour maintenir le parc aérien en état de navigabilité. Un exemple souvent cité est la pile de papiers, censée dépasser la hauteur de l'Everest, que la Boeing Aircraft Company produit chaque année à l'intention des exploitants de ses avions. Les compagnies aériennes ont des entrepôts littéralement bourrés de papiers retraçant l'histoire de l'entretien de leurs appareils.

6.4.2 Il est extrêmement important que les informations relatives à la maintenance soient compréhensibles pour ceux à qui elles s'adressent, qui sont avant tout les inspecteurs et les techniciens chargés d'assurer l'entretien régulier des avions et de diagnostiquer et réparer leurs dysfonctionnements. Il y aurait intérêt à tester avant leur diffusion les nouveaux manuels, bulletins de service, fiches de travail et autres informations qu'ils auront à utiliser, pour avoir l'assurance qu'ils ne risquent pas d'être mal compris ou mal interprétés. Parfois, l'information destinée à la maintenance est transmise à travers un choix de mots qui n'est pas optimal. On peut citer l'anecdote du bulletin de service dans lequel une certaine procédure d'entretien était «*proscrite*» (c'est-à-dire interdite); ayant lu cela et compris qu'elle était «*prescrite*» (c'est-à-dire établie, recommandée), un technicien entreprit d'accomplir l'action défendue. Les problèmes de ce genre deviennent plus fréquents maintenant que la construction des avions des transporteurs aériens s'est mondialisée. Parfois, la langue technique du constructeur ne se traduit pas facilement dans celle du client; les instructions d'entretien sont alors difficiles à comprendre. Étant donné que beaucoup de documentation intéressante la maintenance est rédigée en anglais, il faut insister fortement pour l'emploi d'un anglais «simplifié». Des mots qui ont un sens déterminé pour un certain lecteur devraient avoir le même sens pour tout autre lecteur. Par exemple, une «porte» devrait toujours être une porte. Il ne faudrait pas l'appeler «trappe» ou «panneau».

6.4.3 La communication avec le constructeur de l'avion, de même que la communication entre compagnies, peut être d'importance critique. Si un exploitant découvre un problème d'entretien de ses appareils qui risque d'entraîner une dégra-

dation de la sécurité, il faut qu'il puisse faire part du problème au constructeur, ainsi qu'aux exploitants d'aéronefs du même type. Il n'est pas toujours facile de le faire. Les mesures de compression des coûts et les pressions concurrentielles que connaît l'aviation empêchent d'accorder le poids qui convient à la communication entre compagnies aériennes. Les autorités de l'aviation civile peuvent jouer un rôle important en encourageant les exploitants qui relèvent d'elles à communiquer fréquemment entre eux et à communiquer avec les constructeurs des avions qu'ils exploitent. Si un incident lié à l'entretien, survenu dans une compagnie, est porté à la connaissance des autres transporteurs, cela peut éviter un accident. Dans les archives, il ne manque pas de cas d'accidents qui auraient pu être évités si certains renseignements en la possession de compagnies aériennes au sujet d'incidents survenus auparavant avaient été diffusés dans le milieu de l'aviation. L'enquête sur l'accident survenu à Chicago en 1979 à un DC-10 d'American Airlines a révélé qu'une autre compagnie aérienne, qui utilisait la même procédure non approuvée pour le remplacement de réacteurs, ayant constaté que cette procédure occasionnait des criques dans la zone de fixation du pylône, était revenue à l'utilisation de la procédure approuvée. On pense que si cette compagnie avait partagé son expérience avec les autres exploitants d'avions semblables, l'accident de Chicago aurait pu être évité. Pour qu'une telle coopération puisse réussir et persister, il faut toutefois que l'information diffusée dans ce contexte soit utilisée strictement aux seules fins de la prévention des accidents. L'emploi ou l'abus de cette information en vue d'obtenir un avantage commercial sur la compagnie ayant signalé l'incident ne pourrait conduire qu'à bloquer en définitive les contacts entre exploitants axés sur la sécurité.

6.4.4 Le manque de communication au sein de l'organisation de maintenance d'une compagnie aérienne peut aussi avoir des incidences très négatives sur les opérations de celle-ci. Les accidents cités en 6.2 illustrent ce problème. Dans chacun de ces cas, le manque de communication appropriée concernant les mesures prises ou à prendre était chronique, ce qui a ajouté des erreurs à la série d'erreurs, et donc entraîné des accidents. Chaque enquête a révélé que plusieurs défaillances latentes étaient évidentes et qu'il existait des défauts graves aux interfaces Humain-Humain (L-L) et Humain-Documentation (L-S).

6.4.5 Dans le cas de l'accident de l'EMB-120, le superviseur du deuxième quart, qui était responsable de l'avion, n'a pas demandé de compte rendu verbal de fin de quart (transfert de quart) aux deux techniciens qu'il avait chargés d'enlever les dégivreurs des deux stabilisateurs horizontaux. De plus, il avait omis de remettre une formule de transfert au superviseur du troisième quart commençant et de remplir la formule de maintenance/inspection à établir pour le transfert de quart. Il avait négligé aussi de remettre les fiches d'entretien aux techniciens pour que ceux-ci puissent indiquer les travaux commencés par eux mais pas achevés à la fin de leur quart. L'accident aurait sans doute pu être évité si le superviseur avait demandé un compte rendu verbal de transfert de quart aux deux techniciens chargés d'enlever les dégivreurs, s'il avait communiqué l'information au superviseur du troisième

quart, s'il avait rempli la formule d'entretien pour le transfert de quart et s'il s'était assuré que les techniciens ayant travaillé sur les dégivreurs avaient rempli les fiches d'entretien pour que le superviseur du troisième quart puisse en prendre connaissance (*défaillance latente et inadéquation L-L*).

6.4.6 Les deux techniciens ont été confiés au superviseur du deuxième quart par un autre superviseur, chargé d'une vérification «C» sur un autre appareil. Ce superviseur a reçu de l'un des techniciens un compte rendu verbal de transfert de quart **après** avoir déjà présenté au superviseur du troisième quart commençant un compte rendu verbal l'informant qu'aucun travail n'avait été effectué sur le stabilisateur gauche. Il a omis de remplir une formule d'entretien pour le transfert de quart et a omis aussi d'informer le superviseur du troisième quart commençant. Il a omis de donner des instructions au technicien pour que celui-ci rende compte au superviseur qui était effectivement responsable de la tâche confiée ou au superviseur du troisième quart commençant. Au lieu de cela, il a donné pour instructions au technicien d'indiquer à un technicien du troisième quart quels travaux avaient été effectués. Si ce superviseur avait donné pour consigne au technicien de communiquer ses informations de transfert de quart au superviseur du deuxième quart (responsable de l'aéronef) ou au superviseur du troisième quart commençant, et s'il lui avait dit de remplir les fiches d'entretien, l'accident ne se serait vraisemblablement pas produit (*série de défaillances latentes et inadéquations L-L à tous niveaux*).

6.4.7 Un inspecteur de contrôle qualité du deuxième quart a aidé les deux techniciens à enlever les vis supérieures sur les deux stabilisateurs horizontaux, a signé sa sortie sur la fiche de transfert de l'inspecteur, puis est rentré chez lui. Un inspecteur de contrôle qualité du troisième quart commençant, arrivé tôt au travail, a regardé la fiche de transfert de l'inspecteur du deuxième quart et ne s'est souvenu d'aucune indication. Malheureusement, l'inspecteur arrivant a examiné la fiche de transfert de quart avant que l'inspecteur du deuxième quart y ait écrit «aidé le mécanicien à déposer les dégivreurs». De plus, l'inspecteur du deuxième quart a omis de faire un compte rendu verbal de transfert de quart à l'inspecteur du troisième quart commençant. On pense que si l'inspecteur de contrôle qualité du deuxième quart avait fait un compte rendu verbal de transfert de quart à l'inspecteur du troisième quart commençant et avait signalé le travail entamé, en l'occurrence l'enlèvement des vis sur le bord d'attaque supérieur des deux stabilisateurs, l'accident ne serait très certainement pas survenu. De plus, en qualité d'inspecteur, il devait être une «deuxième paire d'yeux» supervisant le travail d'un technicien. En aidant à enlever les vis, il avait en fait cessé d'agir comme inspecteur.

6.4.8 Un des techniciens, qui assumait la responsabilité du travail exécuté sur l'avion pendant le deuxième quart, a omis de faire un compte rendu verbal de transfert de quart, comme le voulait le manuel de maintenance de la compagnie aérienne, au superviseur du deuxième quart (responsable de l'avion) qui l'avait chargé de déposer les dégivreurs. De plus, il a omis de demander les fiches d'entretien au superviseur du

deuxième quart et de les remplir avant de s'en aller à la fin de son quart (*à nouveau, une série de défaillances latentes et inadéquation L-L*). On pense en outre que si le technicien avait fait un compte rendu verbal de transfert de quart soit au superviseur du deuxième quart, responsable de l'avion, soit au superviseur du troisième quart commençant, qui travaillait directement dans le hangar, et s'il avait demandé les fiches d'entretien au superviseur du deuxième quart, l'accident ne se serait très vraisemblablement pas produit.

6.4.9 L'enquête sur l'accident²⁶ a révélé qu'il existait de graves carences organisationnelles dans le système de maintenance de l'organisation. Les paragraphes qui précèdent soulignent chacun une carence d'une personne, mais pas de la même personne; il s'agit d'un groupe de personnes, c'est-à-dire d'une organisation. L'enquête a révélé en outre que la façon d'agir de ces personnes ou de ce groupe de personnes n'était pas un cas isolé. Deux interventions d'entretien antérieures effectuées sur l'avion accidenté s'écartaient des procédures approuvées et impliquaient d'autres agents que ceux qui s'étaient occupés du remplacement des dégivreurs. Même si ces interventions étaient sans aucun rapport avec l'accident, l'enquête a indiqué qu'elles «révélaient un manque d'attention pour les consignes établies, voulant que l'entretien et le contrôle de qualité soient exécutés en accord avec le manuel général de maintenance». Le comportement des techniciens d'entretien révélé par l'enquête ne peut s'expliquer que comme une manifestation de l'existence d'une culture d'entreprise qui admettait des pratiques non approuvées et n'avait pas de normes condamnant un tel comportement au sein de l'organisation.²⁷ Une attitude qui ne prend pas au sérieux les procédures de maintenance, les politiques de l'organisation ou les normes établies par la réglementation implique autre chose que des questions de performance humaine individuelle, car un tel laxisme n'apparaît pas du jour au lendemain.

6.4.10 La communication était aussi en jeu dans l'accident dû à l'arrachement d'un pare-brise.²⁸ Un magasinier, qui occupait ce poste depuis quelque 16 ans, a bien indiqué au chef d'entretien de quart la spécification correcte des boulons à utiliser pour fixer ce pare-brise, mais *il n'a pas insisté sur ce point (inadéquation L-L)*. Autant ne pas communiquer du tout que de communiquer faiblement ou de façon non convaincante! Cet accident illustre aussi un problème que rencontrent régulièrement les techniciens d'entretien, à savoir les pressions pour respecter une heure précise à la porte d'embarquement. Vu les coûts d'exploitation élevés, les exploitants ne peuvent se permettre le luxe de disposer d'avions de réserve pour le cas où l'entretien ne pourrait être achevé en temps voulu. Le planning d'exploitation des avions traduit un délicat équilibre entre la réalisation d'un nombre maximal d'heures de vol rentables et l'exécution de l'entretien nécessaire. D'importantes tâches de maintenance doivent être exécutées rapidement pour que l'avion puisse respecter l'heure prévue à la porte d'embarquement. Les passagers n'aiment pas les retards pour cause d'entretien; s'il s'en produit trop souvent sur une ligne, celle-ci risque de perdre de la clientèle au profit de la concurrence. Les techniciens d'entretien sont très conscients de cette pression et

s'efforcent d'accomplir leur travail à *temps*. Il est évident que cela a parfois pour effet de compromettre l'entretien, surtout lorsque les choses ne se passent pas comme prévu, ce qui arrive souvent. C'est le rôle de la direction de veiller à ce que ses organismes de maintenance disposent du personnel et des moyens adéquats pour éviter le genre de travail qui entraîne une dégradation de la navigabilité. Ce problème, qui n'est pas à strictement parler une question de communication, souligne l'importance d'échanges ouverts et bidirectionnels au sein des organismes de maintenance. Il est nécessaire que la direction des compagnies aériennes élabore des procédures et en assure l'application pour empêcher la mise en service d'avions qui ne sont pas en état de navigabilité. Une des meilleures façons de faciliter cette activité est de maintenir un dialogue constant avec le personnel de maintenance, en l'encourageant à rendre compte des situations ou des pratiques dangereuses.

Formation

6.4.11 Les méthodes de formation des techniciens d'entretien d'aéronef varient à travers le monde. Dans beaucoup d'États, le futur technicien s'inscrit normalement à un programme de relativement courte durée (deux ans) dans un centre de formation qui prépare aux examens de l'Administration de l'aviation civile pour la délivrance de la licence ou du certificat de technicien cellule et moteurs. Il est également possible, dans de nombreux États, d'obtenir une certification par un programme de type apprentissage, permettant d'apprendre le métier en quelques années, par des méthodes de formation en cours d'emploi.

6.4.12 Dans la pratique, et comme tendance générale dans l'industrie, la plupart des diplômés des établissements de formation cellule et moteurs ne sont pas bien préparés à leur rôle de maintenance pour les compagnies aériennes. Comme élèves, ils passent une grande partie de leur temps de formation à apprendre la réparation bois-enduit-tissu et la réparation des moteurs alternatifs. Ces compétences sont utiles pour l'entretien des appareils d'aviation générale, fort nombreux, mais elles ne sont pas souvent nécessaires pour la maintenance de la flotte d'avions complexes des transporteurs aériens, avec leurs turboréacteurs. Les compagnies sont donc obligées de dispenser elles-mêmes à leurs personnels de maintenance une bonne partie de leur instruction. Dans certains pays, les candidats techniciens d'entretien ne reçoivent pas d'instruction préalable dans des centres de formation. Ce sont alors les compagnies aériennes qui doivent assurer pratiquement **toute** la formation.

6.4.13 La formation dispensée par les compagnies aériennes devrait être une combinaison d'enseignement structuré en salle de classe et de formation en cours d'emploi. Le problème de celle-ci est qu'elle est difficile à gérer et qu'il faut donc s'attendre à des variations considérables dans les résultats. Souvent, dans la formation sur le lieu de travail, un technicien expérimenté fait à un débutant ou à un agent inexpérimenté la démonstration d'une procédure d'entretien. Il est demandé au stagiaire d'assimiler la formation et de démontrer, à la satisfaction du formateur, l'acquisition des nouvelles

connaissances. Si tout va bien, le stagiaire devrait pouvoir par la suite exécuter la tâche avec succès, sans supervision. Par ailleurs, le technicien chevronné/formateur n'est pas toujours un formateur efficace et le contexte de la formation (travail à l'extérieur ou de nuit) n'est pas toujours favorable à l'apprentissage. Parfois, le stagiaire n'en sait pas assez sur la méthode employée pour dispenser la formation pour être à même de poser les questions qui pourraient faire la différence entre une formation réussie ou non. Il y a aussi les problèmes que pose la préparation à certaines tâches qu'il peut être difficile d'apprendre en une seule session. Le succès de l'exécution de ces tâches dépendra grandement des habiletés de l'opérateur, car elles demandent autant d'«art» que de «science».

6.4.14 Il faut que la formation en cours d'emploi soit contrôlée et supervisée. Les formateurs qui la dispensent devraient être initiés à des méthodes d'instruction qui optimisent l'apprentissage. Ils devraient être sélectionnés autant pour leur motivation à former autrui que pour leur compétence technique. Les gestionnaires d'atelier d'entretien devraient avoir conscience du fait qu'un bon technicien ne fait pas forcément un bon instructeur. Indépendamment de leur capacité personnelle à exécuter une tâche donnée, des techniciens chevronnés peuvent être bons ou mauvais instructeurs, et il est à prévoir que, de même, les résultats de la formation pourront être bons ou mauvais. Les conséquences au niveau de la sécurité sont trop évidentes pour qu'il soit nécessaire de s'étendre sur ce sujet. Les stagiaires devraient bénéficier d'une transmission d'expérience graduée, en étant par exemple initiés tout d'abord au travail de petit entretien courant, pour évoluer progressivement vers des problèmes plus difficiles, au lieu de commencer directement par le gros entretien. Il convient de consigner les résultats de cette formation et d'offrir au besoin de l'instruction corrective. Il convient aussi que la formation de ce type soit dans toute la mesure du possible programmée; il ne faudrait pas attendre que d'imprévisibles dysfonctionnements surviennent à bord pour offrir des occasions de formation.

6.4.15 La complexité grandissante des avions de transport modernes exige davantage de formation théorique. Avec les postes de pilotage à écrans cathodiques et les systèmes électroniques évolués, par exemple, il importe de dispenser une formation théorique approfondie qui abordera les principes fondamentaux de ces systèmes. Il est difficile de le faire dans le cas de la formation en cours d'emploi. Ici également, il est fort important que les instructeurs chargés de l'instruction théorique aient reçu une préparation étendue et approfondie à cette tâche. Il ne suffit pas de désigner comme instructeur un technicien chevronné. En plus d'être expert dans la matière enseignée, l'instructeur devra savoir enseigner, présenter clairement l'information, susciter des réactions des apprenants pour s'assurer qu'ils apprennent effectivement, mettre en évidence les aspects qui posent problème et fournir l'instruction corrective nécessaire. La plupart des compagnies aériennes ont des services de formation dotés d'instructeurs qualifiés, mais tel n'est pas toujours le cas des petits transporteurs; en fait, il est rare que les exploitants de services régionaux aient un service formation bien structuré. Or, les services des flottes régionales deviennent maintenant aussi

complexes que ceux qu'exploitent les grandes compagnies. Ces exploitants aux ressources limitées doivent relever le défi de mettre au point des méthodes qui assureront à leurs techniciens d'entretien toute la formation nécessaire pour assurer la maintenance d'une flotte d'avions modernes. Il peut s'agir, notamment, de tirer parti au maximum de la formation dispensée par le constructeur et de négocier un service après-vente dans le cadre du contrat d'acquisition des avions.

6.4.16 La formation assistée par ordinateur (FAO) est employée par certaines compagnies, en fonction de l'ampleur et du degré d'évolution de leur programme de formation. Cependant, il s'agit dans bien des cas de technologie dépassée, de première génération. On élabore maintenant de nouvelles technologies de formation qui peuvent constituer un complément à la formation en cours d'emploi et aux méthodes d'enseignement théorique «en salle de classe», voire même les remplacer. Il est certainement à prévoir que ces nouvelles technologies vont remplacer la FAO ancien style, encore employée aujourd'hui, dans laquelle une instruction de type tutoriel est généralement suivie, à l'écran, de questions à choix multiples sur la matière enseignée. Si l'apprenant ne donne pas la bonne réponse, on entend un bourdonnement et les mots «ce n'est pas la bonne réponse — essayez à nouveau» apparaissent à l'écran. L'apprenant pourra continuer à deviner jusqu'à ce qu'il donne la réponse juste, mais en général ces systèmes ne fournissent guère, ou pas du tout, d'instruction corrective.

6.4.17 Les apprenants d'aujourd'hui ont de plus grandes attentes à l'égard des systèmes informatiques interactifs, y compris les systèmes d'instruction. Dans de nombreux pays, dont plusieurs pays en développement, les élèves du niveau secondaire ou collégial sont déjà familiarisés avec les ordinateurs individuels et les jeux électroniques fonctionnant sur la télévision. Ceux-ci comportent des retours d'information et des éléments d'appréciation de la performance que l'on trouve dans les systèmes d'instruction de technologie nouvelle. Les nouveaux systèmes FAO offrent aussi une instruction qui s'adapte aux connaissances et aux habiletés de l'apprenant. Il faut cependant que la FAO de technologie avancée ait un degré d'intelligence comparable à celui d'un instructeur humain. Plus que des consignes sur ce qui est à faire et des retours d'information sur la performance de l'élève, la nouvelle technologie devrait pouvoir offrir un tutorat systémique. Des systèmes fonctionnant de cette façon existent déjà dans certains établissements de formation haute technologie. Les éléments qui distinguent ces «systèmes tuteurs intelligents» (STI) des systèmes FAO moins évolués sont des didacticiels qui imitent les apprenants, les experts de la discipline enseignée et les instructeurs, avec un ensemble étendu des règles concernant les fonctions, les procédures d'exploitation et les relations entre les éléments du système ou du dispositif étudié.

6.4.18 La Figure 6-1 représente les principaux éléments d'un STI. Au centre se trouve l'environnement d'instruction. Pour la formation à l'entretien des aéronefs, il s'agit généralement d'une simulation. Le module ou modèle expert qui se trouve à droite doit contenir beaucoup des connaissances que posséderait un expert humain au sujet d'un système ou d'un

dispositif. Le modèle de l'apprenant, au bas de la figure, peut être basé sur les connaissances qui sont exigées de lui ou sur les actions critiques qu'il devra exécuter dans ses interactions avec l'environnement d'instruction. Ce modèle contient aussi un fichier à jour d'actions des apprenants, ainsi que des fichiers décrivant, sur la base de l'expérience, le style d'apprentissage qu'ils privilégient, les leçons déjà maîtrisées et les erreurs typiques. À gauche, le modèle de l'instructeur ou modèle pédagogique présente le savoir de l'expert de la matière enseignée, d'une façon qui optimise l'apprentissage. Ce module ordonne l'instruction de façon séquentielle sur la base des performances de l'apprenant et fournit des retours d'information, de l'instruction corrective et des suggestions utiles en ce qui concerne la formation plus poussée qui peut être nécessaire en dehors du contexte STI.

6.4.19 Les STI se révèlent très efficaces pour la formation au diagnostic et à la maintenance d'un équipement complexe de haute technologie. Ils présentent plusieurs avantages sur les méthodes de formation antérieures, tels l'aptitude à dispenser une formation «juste à temps» ou à assurer un recyclage immédiatement avant un travail de maintenance à effectuer. Avec un STI, les apprenants maîtrisent la formation, ils peuvent la programmer, en établir le rythme ou la répéter à leur gré. Certains considèrent que ces systèmes sont peut-être trop complexes pour que leur utilisation puisse être généralisée. Cette impression vient peut-être d'un manque d'expérience de cette technologie, plutôt que d'une évaluation des possibilités du personnel technique et enseignant. Les exploitants et les administrations de l'aviation civile sont invités instamment à faire preuve d'ouverture d'esprit à l'égard de l'utilisation de ces nouvelles technologies, faute de quoi ils priveraient leurs compagnies aériennes de moyens importants, pouvant avoir des effets très significatifs sur la sécurité.

Le technicien d'entretien d'aéronef

6.4.20 Les nouveaux avions étant de plus en plus complexes, la maintenance devient une fonction dont l'importance est encore plus critique. Aux premiers temps de l'aviation, l'entretien des avions était considéré comme un entretien mécanique d'un niveau supérieur, pas très éloigné de celui des automobiles; des compétences semblables pouvaient être appliquées dans les deux cas. Cette façon de voir n'a pas survécu longtemps, la technologie aéronautique ayant rapidement évolué vers une bien plus grande complexité. De nos jours, les techniciens d'entretien d'aéronef doivent en savoir long sur la théorie des systèmes, être capables d'exécuter des tâches complexes et d'interpréter les résultats, et entretenir des éléments de structures fort différentes des anciennes structures d'aluminium rivetées. Ils doivent évaluer des systèmes électroniques et automatiques sensibles, une erreur dans l'exécution de la tâche la plus simple pouvant causer des dommages et des pertes considérables. Les tendances actuelles de l'évolution des aéronefs et des systèmes indiquent clairement que les futurs techniciens de maintenance devront, pour être performants, recevoir une formation technique supérieure.

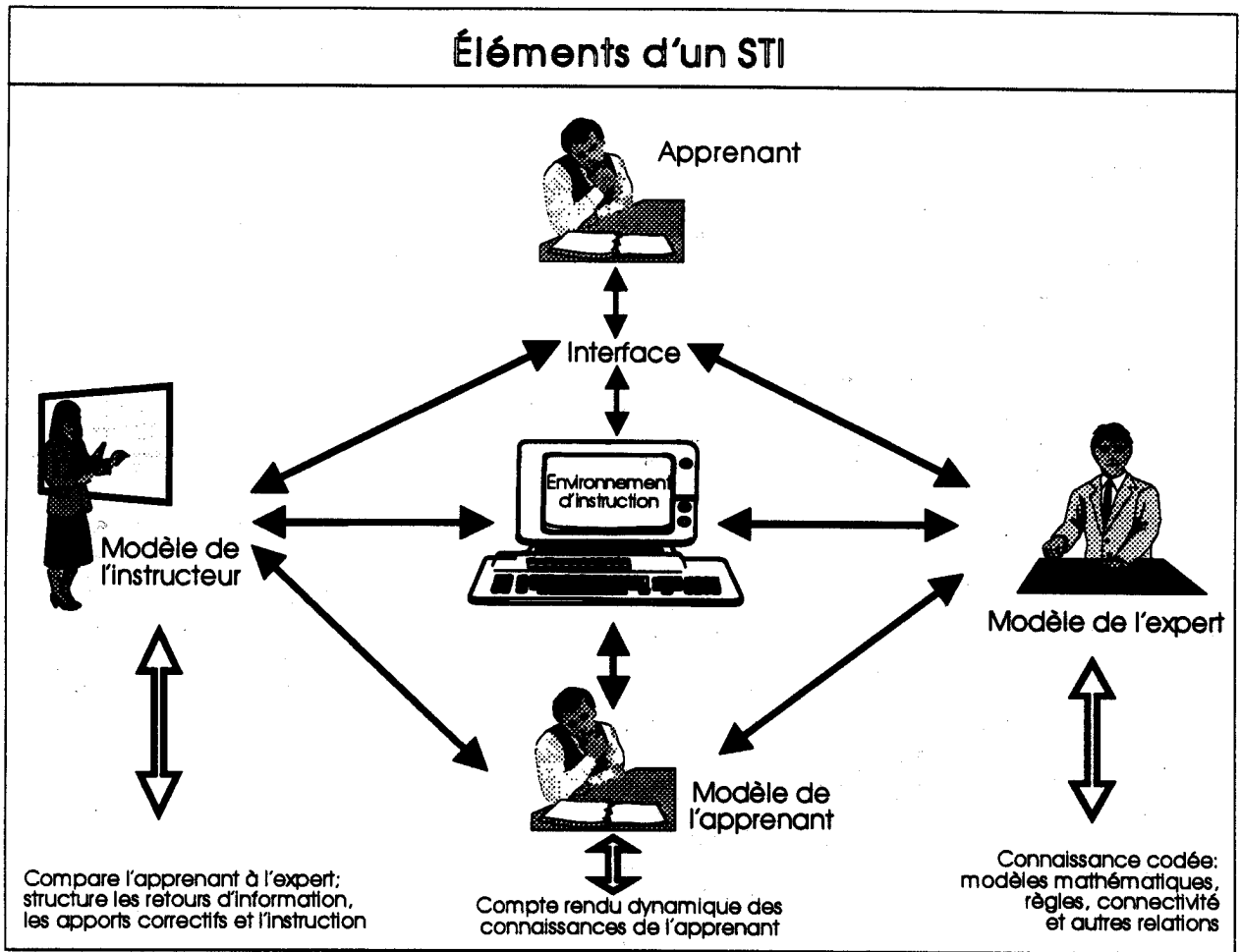


Figure 6-1. Les éléments d'un système tutoriel intelligent
(version modifiée, d'après Polson & Richardson, Psotka et al., 1988)

6.4.21 À l'heure actuelle, beaucoup de compagnies aériennes arrivent sans trop de problèmes à recruter un personnel de maintenance qualifié, mais il n'en sera peut-être pas toujours ainsi. La concurrence d'autres industries en mesure d'offrir de meilleures conditions d'emploi et du travail plus intéressant, et la demande grandissante d'éléments d'un haut niveau de compétence en maintenance des aéronefs, sont parmi les raisons pour lesquelles les compagnies aériennes pourraient rencontrer dans l'avenir davantage de difficultés à recruter leurs effectifs de maintenance. Pour ceux qui sont confrontés à cette perspective, on devrait réfléchir à des mesures susceptibles d'améliorer pour l'avenir l'offre de personnel d'entretien adéquatement formé. Appuyer un enseignement de qualité dans les écoles secondaires et faire connaître la carrière de l'entretien des aéronefs à des groupes d'âge scolaire sont deux moyens relativement peu coûteux. D'autres moyens pourraient être le prêt d'équipement ou d'instructeurs aux établissements de formation cellule et moteurs, l'octroi de prêts ou de bourses à des élèves prometteurs pour leur permettre de poursuivre leur formation, dans la perspective d'un contrat d'emploi, l'élaboration de programmes d'apprentissage ou d'instruction plus structurés,

et le recrutement dans des groupes non traditionnels, tels les femmes, d'éléments doués pour la maintenance. Une suggestion que l'on peut faire entre parenthèses est que l'industrie soutienne et favorise un enseignement plus poussé de l'informatique dans les écoles secondaires, car l'activité de maintenance pourrait s'appuyer à l'avenir sur des systèmes informatisés et automatisés, même dans des pays qui actuellement n'utilisent pas dans une mesure significative les systèmes d'assistance électronique.

6.4.22 L'entretien des aéronefs est souvent une activité nocturne. Or, étant physiologiquement et mentalement plus alertes pendant la journée, nous préférons dormir ou nous reposer la nuit. Lorsque ce rythme est perturbé par les exigences du travail, il peut en résulter des déficiences dans nos performances. Il est évident que cela peut poser problème au niveau de l'entretien des avions, où la sécurité est liée de façon vitale à une performance des techniciens exempte d'erreurs. Dans la plupart des accidents liés à des erreurs d'entretien, comme ceux qu'évoque la présente étude, les travaux défectueux qui ont contribué à l'accident ont été effectués pendant les heures de travail du quart de nuit (d'où

le défaut à l'interface L-E). Les exploitants devraient analyser attentivement les tâches à effectuer, dans la perspective de leurs effets sur les techniciens et leur travail. Des tâches physiquement exigeantes ne devraient pas être suivies de travaux minutieux demandant une intense concentration. Les cadres devraient avoir conscience des risques afférents à des activités telles que l'inspection répétitive d'éléments identiques, comme les rivets ou les aubages de turbines. Une longue histoire d'investigations techniques révèle que la vigilance des opérateurs baisse rapidement lors de l'exécution de ces tâches et que des erreurs peuvent facilement se produire. De même, l'emploi de certains types d'équipements est associé à des erreurs dans le travail. Les anciens modèles de dispositifs d'inspection demandent aux techniciens beaucoup d'habileté dans leur manipulation, ainsi que dans la détection et l'interprétation des indications subtiles des instruments. Lorsque l'état de fatigue du technicien s'ajoute à ces difficultés, la probabilité d'erreur s'accroît fortement. Il convient que les superviseurs de quart soient particulièrement attentifs à la fatigue des techniciens, qu'ils surveillent l'exécution des tâches et procèdent à des contrôles visant à déceler toute erreur. L'inspection diurne des travaux effectués la nuit précédente peut contribuer grandement à réduire la probabilité d'erreurs telles que celles qui se sont produites sur les avions ayant subi les accidents évoqués.

6.4.23 La santé et la condition physique des techniciens peuvent également influencer leurs performances de travail. L'activité d'entretien et d'inspection des avions peut être physiquement exigeante. Il faut souvent grimper sur les ailes et les stabilisateurs horizontaux et travailler en position inconfortable dans des espaces exigus ou confinés. Cela peut être particulièrement inconfortable pour un technicien souffrant, affecté d'embonpoint ou qui n'est pas au mieux de sa forme. La nécessité d'une bonne vue, et parfois d'une vision normale des couleurs, est également importante. Avec l'âge, on a souvent besoin d'une correction visuelle (lunettes ou verres de contact). Actuellement, il n'y a pas d'exigences médicales imposées pour les techniciens d'entretien d'aéronef. Comme bien des gens, il arrive que les techniciens ne remédient pas à temps à des déficiences visuelles, d'autant plus qu'il est difficile, sans examens périodiques, de déceler celles qui s'installent progressivement, jusqu'au moment où la vue se sera sensiblement dégradée. De plus, un technicien qui craint pour son emploi évitera de signaler que sa vue baisse.

6.4.24 Il est rare de trouver actuellement un exploitant ou une administration qui impose un examen médical périodique à ses techniciens pour dépister les désordres risquant d'affecter leur performance de travail. Vu la corrélation grandissante qui existe entre la sécurité de l'aviation et la performance des techniciens d'entretien d'aéronef, il peut être opportun d'envisager pour ceux-ci l'introduction d'un contrôle médical périodique.

Moyens et milieu de travail

6.4.25 Pour comprendre l'erreur humaine dans la maintenance, il est indispensable de comprendre les responsa-

bilités et le milieu de travail du technicien d'entretien, milieu qui peut influencer fortement la performance. Il est souhaitable d'avoir des conditions de travail idéales pour les travaux d'entretien, par exemple des hangars confortables et bien éclairés, mais cela n'est pas fréquent, vu les coûts afférents à la construction et à l'exploitation de ces installations aux aéroports que desservent les compagnies aériennes. Il en résulte que beaucoup de ces travaux sont exécutés dans des conditions qui sont loin d'être idéales, en particulier à l'extérieur, de nuit ou dans les intempéries.

6.4.26 Un des plus importants paramètres de travail dans l'entretien des aéronefs est l'éclairage. Il est fort difficile d'assurer un éclairage adéquat pour tous les travaux de maintenance, y compris l'inspection et les réparations. Un éclairage ambiant insuffisant des aires de travail a été identifié comme carence importante dans plusieurs rapports d'accidents que cite la présente étude. Dans l'accident survenu au BAC 1-11, une aire de travail bien éclairée aurait permis au chef d'entretien de quart de voir l'anneau de fraises non remplies, qu'il aurait été facile de discerner dans de bonnes conditions d'éclairage (*inadéquation L-E*). Dans l'accident de l'EMB-120, un inspecteur du troisième quart a accédé à la partie supérieure du stabilisateur horizontal pour aider à l'installation et à l'inspection des conduites de dégivrage sur le côté droit du stabilisateur. Il a déclaré par la suite qu'il ignorait que les vis avaient été enlevées sur le bord d'attaque gauche du stabilisateur horizontal et que, *dans l'obscurité qui régnait à l'extérieur du hangar*, il n'avait pas vu que les vis manquaient sur la partie supérieure du bord d'attaque gauche (*inadéquation L-E*).

6.4.27 Pour certaines tâches, l'éclairage est fourni surtout par des lampes de poche ou des torches électriques tenues à la main, qui ont l'avantage d'être portables et de ne pas prendre de temps de mise en marche. Les inconvénients sont en particulier le faible éclairage et le fait que l'une des deux mains est généralement encombrée, ce qui oblige parfois à effectuer le travail d'entretien ou d'inspection en se servant seulement de l'autre main. Un problème constaté dans nombre de hangars d'entretien observés était le faible éclairage d'ambiance. Souvent, l'éclairage du hangar vient du plafond. Les lampes, difficiles à atteindre, sont dans bien des cas couvertes de poussière ou de peinture et il arrive que des ampoules brûlées restent des semaines sans être remplacées. De plus, il est fréquent que le nombre de lampes et leur emplacement n'assurent pas un éclairage d'ambiance suffisant. Pour être suffisant, l'éclairage d'ambiance dans les hangars devrait être au minimum de 100 à 150 foot-candles (candélas-pied).

6.4.28 Les tâches d'entretien et d'inspection exécutées sous l'avion ou dans des espaces confinés posent des problèmes d'éclairage difficiles. La structure s'interpose entre la source lumineuse ambiante et le point où le travail est exécuté; de même, l'éclairage ambiant du hangar n'illumine pas suffisamment les compartiments exigus. Il convient de fournir un éclairage spécial pour ces types de situations. L'éclairage de travail devrait être de l'ordre de 200 à 500 foot-candles. Il existe, en différentes tailles et avec différentes portées, des appareils d'éclairage mobiles et peu coûteux, qu'il

est possible d'installer près des aires de travail ou de fixer sur des éléments de structure pendant l'exécution des tâches. Leur emploi pourrait aider à remédier à certains des problèmes pouvant découler d'une inadéquation entre l'environnement et l'élément humain.

6.4.29 À l'extérieur, les activités nocturnes d'entretien exigent qu'une attention scrupuleuse soit portée aux problèmes d'éclairage. Il existe une regrettable tendance à se fier pour l'exécution de ces travaux aux lampes de poche ou à l'éclairage projeté par les portes ouvertes du hangar, soit parce que l'on ne dispose pas d'un éclairage mobile adéquat, soit parce qu'il faudrait du temps pour amener et mettre en place un élément de ce type. Il faut que les dirigeants aient conscience de l'importance qui s'attache à la fourniture et à l'utilisation de l'éclairage ambiant et d'un éclairage de travail suffisants. Cela n'est pas une question accessoire. Des conditions défavorables résultant au moins en partie d'un éclairage inadéquat sont souvent mises en évidence dans les rapports d'enquête sur les accidents.

6.4.30 Le bruit est un autre facteur important en milieu de travail. En général, les opérations d'entretien des aéronefs sont bruyantes par intermittence, du fait d'activités telles que le rivetage, l'utilisation de machines dans les hangars, ou encore les essais ou la mise en marche de moteurs sur des rampes. Couvrant et brouillant la parole, le bruit peut aussi avoir des incidences sur la santé. Les bruits stridents ou intenses ont tendance à intensifier les réactions du système nerveux réflexe de l'être humain. Cela entraîne de la fatigue, mais l'effet du bruit sur l'ouïe est peut-être plus sérieux encore. Si l'exposition régulière à un bruit strident risque d'entraîner la perte permanente de l'audition, un bruit de plus faible intensité peut provoquer une perte d'audition temporaire, ce qui risque d'avoir des incidences en matière de sécurité sur les lieux de travail. Si certaines communications ne sont pas captées ou sont mal comprises à cause du bruit ou d'une perte d'audition, les conséquences pour la sécurité au travail risquent d'être graves. Les exploitants peuvent prendre des mesures pour parer aux problèmes, par exemple enfermer ou isoler les sources de bruit, isoler les activités bruyantes afin que moins de gens y soient exposés, fournir aux travailleurs des moyens de protection du système auditif et en imposer l'utilisation, réduire au minimum acceptable les activités d'essai ou de mise en marche de moteurs, et mesurer les niveaux de bruit sur les aires de travail. La surveillance du bruit permet d'identifier les lieux où des problèmes se posent, ce qui aidera les gestionnaires à prendre des mesures correctives. Il faut insister sur les conséquences graves de l'exposition au bruit, pour que les travailleurs comprennent que la protection de leur système auditif et la lutte contre le bruit partout où c'est possible sont nécessaires. L'exposition à des niveaux de bruit supérieurs à 110 dB ne devrait pas dépasser douze minutes par période de huit heures; une exposition continue à des niveaux de bruit de 85 dB exige une protection du système auditif. Des compteurs portables relativement peu coûteux permettent de mesurer les niveaux de bruit et de luminosité; les mesures de bruit peuvent être effectuées par le service de santé ou de sécurité de l'exploitant ou par des superviseurs formés à leur utilisation.

6.4.31 On rencontre de nos jours dans la maintenance davantage de substances toxiques, avec l'avènement d'avions plus évolués et les matériaux composites entrant dans leur structure, ou d'autres substances dangereuses telles que les scellants pour réservoirs ou les produits chimiques utilisés dans l'assemblage d'éléments de structure. Les agents d'entretien devraient être informés des risques afférents à la manipulation de substances toxiques. Ils devraient être instruits sur les méthodes appropriées et dotés d'équipement de protection (vêtements, gants, lunettes).

6.4.32 L'entretien des aéronefs comporte d'autres risques encore. Le principal est le travail en hauteur sur des échafaudages ou des plates-formes, notamment les plates-formes mobiles dites «cherry-pickers». Les éléments de structure des gros-porteurs s'élevant parfois à plusieurs dizaines de pieds au-dessus du sol, un dérapage ou une chute du haut d'une plate-forme de travail risque d'entraîner des blessures graves. Il faut éviter à tout prix d'utiliser des plates-formes de fortune ou des échelles installées sans précaution sur le sol glissant des hangars. Des systèmes bien conçus pour le travail en hauteur et convenablement utilisés se révéleront économiques à la longue, car il y aura moins d'erreurs et moins de blessés.

6.4.33 Bruit, substances toxiques, échafaudages et plates-formes de travail sont de bons exemples pour montrer où et comment des inadéquations peuvent se produire à l'interface Humain-Environnement (L-E) dans l'atelier d'entretien. Ces considérations concernent la santé et la sécurité des techniciens, mais les incidences sur la sécurité de l'aviation sont évidentes. Il est clair que des techniciens dont la performance est affectée parce que les dispositions voulues n'ont pas été prises pour protéger leur santé et leur sécurité personnelle seront plus susceptibles de commettre des erreurs, qui compromettront la sécurité générale de l'exploitation aérienne. Cela est fort préoccupant, car les effets de l'erreur humaine dans la maintenance se manifesteront en règle générale à grande distance, dans le temps et l'espace.

6.5 ÉQUIPES ET QUESTIONS D'ORGANISATION DANS LA MAINTENANCE DES AÉRONEFS

Le travail en équipe

6.5.1 On ne saurait trop insister sur l'importance du travail en équipe dans la maintenance. Devant la complexité grandissante des avions et de leurs systèmes, on met plus fortement l'accent sur certaines spécialités techniques (par exemple tôlerie/structures, circuits électriques/électroniques, circuits hydrauliques). Parallèlement, on observe une regrettable tendance à organiser les spécialistes techniques en services distincts ou «silos fonctionnels», ce qui tend à inhiber le travail et la communication en équipe.

6.5.2 Ces dernières années, le travail en équipe dans le poste de pilotage a fait l'objet de nombreuses études, dont sont issus les programmes de formation CRM (pour «*Cockpit*

Resource Management» ou par la suite «*Crew Resource Management*»: gestion en équipe dans le poste de pilotage).²⁹ La conclusion qu'appuient les résultats de ces recherches est que la sécurité est améliorée lorsque les équipages de conduite fonctionnent en équipe intégrée au sein de laquelle on communique, et non comme juxtaposition d'individus poursuivant des lignes d'action indépendantes. On pourrait formuler la même conclusion dans le domaine de l'entretien. Certaines entreprises de transport aérien prévoient ou dispensent déjà au sein de leur organisation de maintenance une formation de type CRM. Cette formation, comme son homologue pour le poste de pilotage, privilégie la communication, le leadership, l'assurance, la prise de décision et la gestion du stress, compétences qui sont importantes pour des opérations *en équipe*. Une compagnie aérienne au moins a déjà obtenu des améliorations de certaines importantes variables d'exploitation, telles que la ponctualité des départs et le taux d'accidents sur les lieux de travail, après avoir dispensé à son personnel de maintenance une formation CRM spécialement conçue.³⁰

6.5.3 Un autre exemple des avantages d'une approche de la maintenance privilégiant le travail en équipe vient de (l'ex-) *Tactical Air Command* de l'U.S. Air Force. Cette organisation employait initialement un système d'entretien par «dispatch», selon lequel des techniciens spécialisés (en hydraulique ou en électronique, par exemple) pouvaient être envoyés travailler sur n'importe lequel des avions stationnés sur une base donnée. Une organisation centralisée, le département «*Plans and Scheduling*», dirigeait toute l'activité d'entretien. Toutes les demandes d'entretien passaient par la subdivision «*Job Control*» qui interprétait les demandes, décidait quel technicien ou atelier envoyer, et notifiait à l'organisme approprié le travail à effectuer. Avec ce système, il arrivait parfois que le technicien envoyé constate qu'il n'avait pas apporté les outils ou les pièces qui convenaient, ou se rende compte, en face de l'avion, qu'il n'était pas le technicien compétent pour le travail à effectuer. En effet, le «*Job Control*» n'était pas parfaitement en phase avec le système et prenait souvent des décisions erronées. Les techniciens n'étaient pas identifiés à une unité. Le «*Job Control*» pouvait les envoyer travailler sur n'importe lequel des avions assignés à une brigade aérienne. Ils n'étaient pas organisés en équipes.

6.5.4 Les résultats de ce mode d'organisation se traduisaient par une baisse continue de la disponibilité des avions. Des unités qui effectuaient initialement une moyenne de 23 sorties par mois et par appareil étaient tombées dix ans plus tard à une moyenne de 11,5. Des mesures correctives s'imposaient manifestement. Comme première étape, une organisation en équipes fut instituée. Les 72 avions d'une brigade aérienne furent répartis en trois escadrons distincts de 24 avions. Les techniciens d'entretien furent divisés en groupes et affectés à l'un des escadrons, les éléments affectés à un certain escadron étant seuls appelés à travailler sur ses avions. Une structure de leadership décentralisé fut adoptée, avec plusieurs échelons d'autorité et de responsabilité. Des objectifs et des normes furent établis, notamment un certain nombre de sorties exigé pour chaque avion. Les équipes d'entretien nouvellement constituées furent rendues responsables de la disponibilité des avions. Évidemment, on leur

fournit aussi les moyens nécessaires (pièces, fournitures, etc.) pour s'acquitter de leur tâche. Afin de stimuler la concurrence entre escadrons, des objectifs de sorties furent fixés et les performances de chaque escadron furent affichées en bonne place. Le statut des techniciens fut rehaussé de diverses façons. Le technicien fut identifié comme un intervenant essentiel, au lieu d'être considéré comme rouage anonyme d'un engrenage. De sérieux efforts furent faits pour créer dans la structure de l'organisation un sentiment d'identité de chaque unité et de «propriété» de ses appareils.

6.5.5 Les résultats ont été impressionnants. En un laps de temps relativement court, les taux d'utilisation se sont améliorés de 43 % et la disponibilité des avions s'est accrue de 59 %. Le taux de départs ponctuels a grimpé, de 75 % à plus de 90 %. Ces améliorations de la performance, et certaines autres, montrent que les conditions d'organisation sur les lieux du travail peuvent exercer une forte influence sur l'état d'entretien des avions. L'organisation peut être structurée d'une façon qui freine la productivité ou qui la stimule. Le travail en équipe, la responsabilité et surtout le leadership sont des facteurs capitaux de productivité. On constate qu'une structure décentralisée encourage le leadership sur les lieux de travail. La concurrence et l'identité d'équipe sont également des ingrédients importants. Permettre aux techniciens de participer aux processus décisionnels contribue à les identifier comme des intervenants importants et stimule leur intérêt pour les résultats de l'équipe. En établissant un groupe distinct de techniciens qui se connaissent entre eux et qui connaissent leurs capacités respectives, on encourage la fierté et les performances de l'équipe. Les résultats souhaités sont, évidemment, une qualité accrue de la maintenance et un effectif de techniciens qui aiment leur travail.

6.5.6 Il ressort des observations faites dans les installations d'entretien de plusieurs transporteurs aériens internationaux qu'il y existe un mode d'organisation analogue au système de «dispatch» qu'employait jadis l'U.S. Air Force. Souvent, des services ou ateliers distincts y ont des hiérarchies de responsabilité séparées et des buts limités. La performance individuelle est encouragée plutôt que la performance d'équipe. L'adaptabilité en présence d'événements inhabituels, si importante dans la maintenance des aéronefs, peut être compromise par une piètre performance dans un certain atelier ou service. L'absence d'identité d'équipe peut conduire à des attitudes d'indifférence chez les travailleurs, avec des résultats prévisibles. Si chacun des techniciens conclut qu'il serait vain qu'il fasse preuve de diligence, vu la piètre performance des autres, la diligence deviendra vraisemblablement de plus en plus rare.

6.5.7 La constitution des équipes de maintenance devrait être planifiée; il ne suffit pas de diviser les gens en groupes que l'on baptise équipes. En créant des équipes de travail, il faut appliquer les principes de la définition des postes. Faute de place, ces principes ne peuvent pas être développés en détail dans le présent chapitre, mais on y trouvera une liste de lectures recommandées sur ce sujet et certains autres. Une bonne structuration des équipes peut susciter des améliorations de la performance des employés et

accroître leur satisfaction à l'égard de leur travail, tandis qu'une mauvaise structuration risque de produire des effets inverses. À défaut de gestion appropriée et d'évaluation régulière de la performance de l'équipe, des résultats négatifs risquent fort d'être enregistrés. Si par exemple une totale autonomie est accordée aux équipes de travail quant à leur niveau de productivité, la productivité risque d'être faible. Des groupes qui ne sont pas suivis pourraient aussi prendre des décisions mal avisées; des conflits au sein du groupe, ou entre groupes, pourraient se produire. Il est parfois nécessaire de redéfinir les buts et les objectifs, ou encore d'échanger ou de remplacer les membres d'un groupe, pour diverses raisons déjà évoquées. C'est là évidemment une fonction de l'encadrement, dont l'examen détaillé dépasse les objectifs de ce chapitre.

6.5.8 Les idées actuelles en matière de définition des postes mettent de l'avant la motivation. Il s'agit de créer des postes stimulants, significatifs et motivants. Les agents devraient avoir le sentiment que leur travail est intéressant et productif. Ils devraient participer aux décisions et avoir leur mot à dire sur les méthodes employées pour l'exécution des travaux. D'après les recherches effectuées, les tâches exigeant de l'acuité mentale sont plus motivantes et satisfaisantes. Le concept de travail en équipe semble particulièrement approprié à cet égard, car il exige des interactions et des communications constantes au sein de l'équipe, ce qui stimule la réflexion et l'innovation. Il existe normalement une certaine concurrence entre membres de l'équipe pour le rôle de leadership, ce qui peut se révéler une force positive, stimulant la performance du groupe.

6.5.9 De nos jours, des équipes de travail sont mises en oeuvre dans de nombreux secteurs d'activité, qu'il s'agisse d'entreprises de construction mécanique, comme les ateliers de montage automobile, ou d'entreprises de services, comme les firmes de publicité. Il y a tout lieu de penser que l'approche axée sur l'équipe peut être employée avec fruit et succès dans la maintenance des aéronefs, conviction que renforce l'exemple de l'US Air Force cité plus haut. Une planification et une gestion attentives sont cependant nécessaires pour créer et maintenir des équipes efficaces. Les avantages que des équipes fonctionnant harmonieusement peuvent apporter sont une meilleure productivité et une plus grande satisfaction liée à l'emploi. Il est difficile d'obtenir l'une et l'autre simultanément lorsque chacun fonctionne individuellement à son poste.

6.5.10 Quelques-uns des aspects les plus importants à prendre en considération pour la formation et la gestion des équipes de travail sont la définition des postes, les systèmes de récompense, la sélection et la dotation en personnel, ainsi que la formation.³¹

Définition des postes

6.5.11 Une bonne définition des postes peut avoir un effet important sur la productivité du travail. Ce constat a été fait depuis un certain temps, mais des recherches poussées sont encore nécessaires pour déterminer la structure optimale des emplois dans des cadres professionnels particuliers. Comme il

existe différentes approches de la définition des postes, la définition optimale peut exiger des arbitrages entre elles. De nos jours, l'attention se déplace des questions qui concernent le travailleur individuel vers des questions focalisées sur le groupe de travail comme unité de base, spécialement dans les industries de fabrication et les industries connexes.

6.5.12 L'un des aspects les plus importants de la définition des postes basée sur le concept d'équipe est de faire en sorte que l'équipe assure son autogestion. Dans la mesure du possible, une équipe devrait être responsable de ses activités, ceci comprenant la prise de décisions sur l'emploi du temps et l'affectation des agents, ainsi que la participation à la sélection de ses nouveaux membres. La principale responsabilité de l'encadrement est de fournir les moyens nécessaires au fonctionnement harmonieux de l'équipe. La *participation* de tous les membres de l'équipe est un autre aspect à considérer. La charge de travail devrait être également répartie et les tâches devraient être définies de manière à nécessiter des interactions entre les membres. Il faut aussi que les tâches soient *significatives*, chaque membre de l'équipe devant avoir le sentiment que sa contribution est importante.

6.5.13 Il n'est pas facile d'évoluer vers un concept d'équipe dans la maintenance des aéronefs. Il se peut, par ailleurs, que cette formule ne convienne pas à tous les organismes de maintenance. Si on la met en oeuvre, cependant, il faut que la conception de l'équipe soit élaborée avec soin et que sa performance soit observée régulièrement. Ce qui fonctionne bien dans une compagnie aérienne ne fonctionnera peut-être pas aussi bien dans une autre. En constituant les équipes de travail, il faut prendre en considération la culture d'entreprise de la compagnie. Le potentiel de satisfaction des travailleurs et d'améliorations du rendement qu'offrent des équipes bien structurées paraît être suffisamment élevé pour justifier l'effort d'une étude attentive de ce concept.

Systèmes de récompense

6.5.14 La structure des équipes devrait assurer l'*interdépendance des retours d'expérience et des récompenses*. Il devrait exister un mécanisme qui permette d'identifier la performance individuelle aussi bien que la contribution de chacun à la performance de l'équipe. Si l'on dispose seulement de mesures du rendement portant sur l'ensemble de l'équipe, la contribution de chacun individuellement à la performance de l'équipe ne pourra pas être objectivement définie. Il arrive dans ce cas que certains agents n'accomplissent pas leur part du travail. Si la performance de chacun est évaluée et mise en relation avec la productivité de l'équipe, tous les membres de l'équipe sentent qu'ils ont une responsabilité commune et que les bénéfices qu'ils retireront seront liés à la façon dont ils assument cette responsabilité.

Sélection et dotation en personnel

6.5.15 Il convient que les membres des équipes de travail aient des compétences diversifiées et complémentaires.

Une équipe de maintenance ne peut pas, par exemple, être constituée seulement de spécialistes des groupes motopropulseurs ou de l'électronique. Elle devrait réunir l'éventail de compétences nécessaires pour accomplir les diverses tâches constituant un objectif de travail. L'exécution de l'entretien d'un train d'atterrissage, par exemple, fait intervenir plusieurs spécialistes, ayant notamment des compétences en circuits hydrauliques, en électricité et en montage.

Formation

6.5.16 Les membres de l'équipe devraient recevoir une formation les préparant à leurs rôles respectifs. Cette formation est nécessaire spécialement pour les groupes nouvellement constitués de gens qui étaient habitués à un travail individuel de technicien. Elle devrait porter notamment sur les méthodes de prise de décision en groupe, sur le développement des habiletés de communication interpersonnelle et sur la collaboration avec d'autres équipes. Les membres de l'équipe devraient recevoir une formation technique croisée, pour être en mesure de remplacer des absents. De cette façon, la productivité de l'équipe ne sera pas trop compromise si un de ses membres a un empêchement.

6.5.17 Enfin, les équipes de travail devraient être constituées d'éléments qui expriment leur préférence pour le travail en équipe. Il y a autant de gens qui préfèrent travailler seuls que de gens qui aiment l'approche en équipe. Cette considération est particulièrement importante lorsqu'on cherche à constituer des équipes autogérées. Pour réussir, celles-ci doivent être constituées d'éléments qui s'intéressent à l'accroissement des responsabilités accompagnant le travail en équipe.

6.6 AUTOMATISATION ET SYSTÈMES DE TECHNOLOGIE AVANCÉE

Automatisation et informatisation

6.6.1 Le rôle de la technologie dans l'industrie grandit rapidement, en maintenance aéronautique comme ailleurs. Il est clair que, dans le monde entier, l'aviation est entrée dans une ère électronique où de plus en plus de processus, d'opérations et de décisions sont commandés par des ordinateurs et des systèmes de technologie avancée. L'automatisation est déjà très présente dans la maintenance et l'inspection des aéronefs, mais elle est généralement assez éloignée des techniciens qui effectuent le travail concret. En règle générale, la gestion de l'information est le domaine qui a le plus bénéficié des applications de l'automatisation. Toutes sortes de plannings et de comptes rendus sont maintenant établis par des procédés électroniques. D'autres activités telles que le contrôle des stocks, la conception d'outils ainsi que le suivi des bulletins de service et des directives de navigabilité sont également assistés par ordinateur, pour le moins dans les ateliers d'entretien des grands transporteurs aériens.

6.6.2 La plupart des avionneurs possèdent déjà ou élaborent des versions électroniques de leurs manuels d'entretien. Au lieu de feuilleter les pages d'un manuel, un technicien peut chercher les renseignements dont il a besoin en utilisant une cassette ou une disquette et un ordinateur ou un moniteur vidéo. Ces systèmes intègrent parfois une certaine forme d'intelligence artificielle grâce à laquelle il suffit au technicien d'introduire quelques mots clés pour que le système affiche automatiquement les parties du manuel d'entretien qui peuvent lui être nécessaires pour une certaine tâche. Dans les versions les plus avancées, le technicien peut, à l'aide d'une «souris», indiquer les éléments nécessaires sur un menu affiché à l'écran puis, en appuyant sur une touche, obtenir accès aux renseignements qui figurent dans le manuel d'entretien.

Outils évolués d'aide à l'exécution des tâches

6.6.3 On développe maintenant d'autres technologies qui fournissent une information automatisée et qui pourraient trouver des applications dans la maintenance des avions civils. Un exemple intéressant est le système intégré d'information pour la maintenance (IMIS), qui s'appuie sur des applications de l'informatique pour aider les techniciens spécialisés à diagnostiquer les dysfonctionnements survenant à bord et à effectuer la maintenance nécessaire. Entièrement portable, il peut être amené au chevet de l'avion qui pose problème, comme tout autre outil dont le technicien peut avoir besoin. Doté d'un affichage à cristaux liquides, le système IMIS peut présenter à l'écran des vues agrandies, des listes de pièces, les spécialités que devront posséder les techniciens appelés à réparer un système, des procédures d'essai et de maintenance, et bien d'autres informations qui, en majeure partie, résident dans des documents imprimés tels que les manuels d'entretien et les catalogues de pièces. Le système peut même être raccordé à bord à une console de maintenance spécialisée, et recevoir automatiquement de l'information sur l'état des systèmes de bord. Cette information pourra être utilisée à son tour pour fournir au technicien des évaluations et des indications sur les mesures correctives appropriées. L'IMIS est un bon exemple d'aide au travail qui peut être fort utile aux techniciens d'entretien. L'une de ses meilleures caractéristiques est la portabilité, car il fait gagner un temps précieux, qui serait normalement consacré à des allées et venues entre l'avion et des sources d'information telles que les bibliothèques techniques. Au lieu de cela, ce temps pourra être consacré utilement à la tâche pour laquelle le technicien est le mieux équipé: la maintenance des aéronefs.

6.6.4 Les ordinateurs de technologie nouvelle deviennent toujours plus petits et certains offrent des fonctions telles que la reconnaissance de l'écriture. Cette dernière possibilité peut être particulièrement utile pour remplir les nombreux comptes rendus et formulaires que requiert l'entretien des aéronefs. D'après certaines estimations, les techniciens consacrent 25 % de leur temps à remplir des papiers, et ce temps pourrait être mieux employé pour les travaux d'entretien. Peut-être l'accident de l'EMB-120 mentionné plus haut aurait-il pu être évité si un système de ce type avait été en place et si les techniciens qui ont travaillé sur

l'appareil l'avaient employé; en effet, le travail effectué et le travail restant à faire auraient été inscrits en temps utile et selon les règles, ce qui aurait indiqué clairement au quart commençant quel travail il devait accomplir. En automatisant dans la mesure du possible le processus de notification et en automatisant davantage l'activité de stockage d'information dans la mémoire puissante des ordinateurs, on peut éviter les erreurs d'écriture et gagner beaucoup de temps. L'argent actuellement consacré à ces tâches accessoires de l'entretien pourrait l'être à des activités plus directement utiles à la sécurité, telles qu'un complément de formation. De plus, les techniciens d'entretien disposeraient de plus de temps pour effectuer leurs tâches, ce qui donnerait un milieu de travail moins bousculé et donc moins propice à l'erreur.

6.6.5 La technique récente de l'ordinateur à stylet semble être idéalement bien adaptée aux tâches de ce genre, le stylet permettant aussi bien d'écrire sur l'écran de l'ordinateur que de choisir des articles sur des menus affichés. Le technicien peut ainsi accéder rapidement aux informations en mémoire qui lui sont nécessaires pour l'entretien. L'ordinateur à stylet peut être utilisé avec des moyens de stockage tels que des disques compacts pour mémoriser l'information et permettre d'y accéder, qu'il s'agisse de directives de navigabilité, bulletins de service, fiches de travail ou méthodes spécialisées d'inspection, qui pourront rapidement être mis à la disposition du technicien au chevet de l'avion. Lorsque le technicien aura achevé l'entretien, il pourra appeler à l'écran les bordereaux nécessaires pour documenter son travail et les remplir à l'écran au moyen du stylet électronique ou du clavier intégré à l'ordinateur. La technologie d'automatisation nécessaire à ce genre d'activités existe déjà et a été expérimentée. Il ne fait guère de doute que ce type d'automatisation aidant au travail, ni trop complexe ni trop coûteux, trouvera sa voie en temps opportun jusque dans l'atelier d'entretien aéronautique. La formation, l'expérience et le talent technique qu'exige déjà l'exécution des tâches du technicien d'entretien d'aéronef sont plus que suffisants pour lui permettre d'utiliser avec succès ces aides automatisées à l'exécution des tâches. Il est donc raisonnable d'escompter que ce type d'automatisation sera mis en oeuvre mondialement dans la maintenance des aéronefs.

6.6.6 En présentant une automatisation plus poussée et évoluée de l'entretien des aéronefs, il convient de signaler que l'automatisation, à moins d'être conçue dans la perspective des possibilités et des limites des opérateurs humains, risque d'être source d'un ensemble différent de problèmes qui compliqueraient la tâche du technicien plutôt que de l'aider. Forcément, cela ne servirait pas les intérêts de la sécurité et de l'efficacité d'entretien des aéronefs. Il faut donc avoir conscience du fait que les automatismes destinés à aider l'opérateur humain doivent nécessairement être conçus conformément aux principes de l'automatisation axée sur l'élément humain³². Cette considération aidera à faire en sorte que les aides automatisées avancées jouent le rôle pour lequel elles sont conçues, sans créer pour l'organisation de maintenance un ensemble écrasant de problèmes nouveaux et supplémentaires.

6.6.7 On trouve à bord des nouveaux avions de transport d'autres aides au travail automatisées, capables de déterminer

l'état de l'équipement de bord, moteurs et systèmes électroniques en particulier. Si un dysfonctionnement de l'équipement se produit en vol sur ces avions, l'information (le problème) est automatiquement stockée et télétransmise à la base de maintenance des aéronefs, sans aucune intervention de l'équipage navigant. À l'atterrissage, des techniciens d'entretien pourront être en attente avec les pièces nécessaires pour remédier rapidement au problème et remettre l'appareil en état de fonctionnement. Évidemment, ce n'est pas n'importe quel dispositif ou système de bord qui pourra être évalué de cette façon, mais on pourra gagner beaucoup de temps, au niveau du diagnostic et des essais, si l'avion à bord duquel se produit un dysfonctionnement d'un système essentiel est muni de cet équipement de test incorporé (BITE). Le principal avantage de ce système, en matière de sécurité, est qu'il permet d'identifier et de corriger les problèmes de maintenance à un stade précoce de leur évolution, reléguant ainsi dans les annales la solution des problèmes d'entretien par tâtonnements. Un des grands avantages du BITE est l'identification des dysfonctionnements des systèmes de bord à un stade fort précoce, avant qu'ils ne menacent la sécurité de l'avion et de ses occupants. Un autre avantage est que les membres de l'équipage de conduite peuvent être avertis d'un problème de maintenance et conseillés à son sujet dès qu'il survient, ce qui les rend plus aptes à prendre des décisions et à assurer une sécurité de fonctionnement constante sur la base de faits concrets, communiqués en temps utile.

6.6.8 Les fonctions du technicien, complexes et variées, sont exécutées en différents lieux physiques. L'activité de maintenance proprement dite exige fréquemment l'accès à des lieux confinés ou difficilement accessibles et la manipulation de toute une panoplie d'outils, de matériel d'essai et d'autres moyens. Ce travail diffère de celui des pilotes ou des contrôleurs aériens, qui effectuent des activités plus prévisibles à un seul poste de travail, que ce soit le poste de pilotage ou la console ATC. À cause de ces différences, il serait fort difficile, voire impossible, d'automatiser dans une grande mesure le travail du technicien d'entretien. L'automatisation touchant les tâches de maintenance concerne plutôt, en majeure partie, des améliorations dans les systèmes d'appui au diagnostic. À ces systèmes d'aide au travail sont étroitement liés les systèmes de formation assistée par ordinateur, dont il est question en 6.4.

6.6.9 La présente section donne un bref aperçu de l'automatisation et des outils évolués d'aide au travail déjà disponibles ou qui le seront prochainement pour aider les techniciens d'entretien d'aéronef à remplir leurs fonctions. D'autres concepts sont en développement, par exemple des dispositifs automatisés qui inspecteront l'aéronef à travers sa structure externe pour déceler les criques, la corrosion, les rivets endommagés et autres défauts, apportant une assistance importante au travail de l'inspecteur. D'autres idées à l'étude concernent l'automatisation de l'expertise humaine. Une importante proportion des effectifs de maintenance des compagnies aériennes aux États-Unis ont atteint ou atteindront bientôt l'âge de la retraite. Ces éléments possèdent un immense bagage de connaissances sur les méthodes d'entretien et d'inspection, qui se perdra lorsqu'ils quitteront leur activité. S'il était possible, de quelque façon, de saisir

cette expertise et de la structurer convenablement pour la transmettre aux éléments jeunes, moins expérimentés, cela contribuerait à préserver et renforcer la sécurité de l'aviation, au moins au niveau de l'expérience de la maintenance, tout en permettant de réaliser des économies considérables sur les coûts et des gains de temps. Certaines compagnies aériennes travaillent déjà sur ce concept.

6.7 PRÉVENTION DE L'ERREUR: CONSIDÉRATIONS ET STRATÉGIES

6.7.1 Il a souvent été affirmé qu'aucun accident, si évidents que paraissent être ses facteurs causaux, n'est jamais un fait qui survient isolément. Une analyse sous un angle de vision plus large, focalisée sur les carences en matière de sécurité dans les systèmes plutôt que sur les individus, a mis en évidence des carences à plusieurs niveaux du système aéronautique. L'atelier d'entretien aéronautique est l'une des organisations où il serait possible, en s'attachant aux lacunes du système plus qu'aux erreurs des individus, de réduire considérablement, avec le temps, le nombre d'incidents résultant de l'erreur humaine. Si l'on considère le potentiel d'occurrence de déficiences et d'autres lacunes afférentes à la maintenance des avions, on peut dire que l'erreur humaine y a été remarquablement gérée. Les enseignements de quatre-vingt-dix ans d'aviation se sont rapidement répercutés sur la conception des systèmes de bord et des systèmes de maintenance; cependant, les incidents qui surviennent occasionnellement montrent qu'il existe encore une marge considérable d'amélioration.

6.7.2 L'échelle de complexité des erreurs de maintenance va des erreurs simples, comme celle du technicien qui oublie de serrer à fond une vis qui avait seulement été serrée à la main, aux erreurs dont résulte une panne de tout un système, comme dans les cas ayant fait l'objet des enquêtes citées en 6.2. Dans les cas de dégradation importante du système de maintenance, non seulement le travail proprement dit n'a pas été correctement exécuté, mais il a fallu que plusieurs niveaux de défenses (cf. modèle de Reason) soient déjoués pour qu'un système de maintenance résistant à l'erreur s'effondre de façon aussi significative.

6.7.3 Entre ces deux extrêmes se situent les erreurs systémiques qui se rattachent plutôt à quelque déficience dans la conception de l'avion ou la gestion du processus de maintenance. Le monde de la maintenance est devenu habile à remédier à de telles erreurs en modifiant les processus ou en remaniant la conception. Par exemple, on modifie maintenant la conception de certains éléments tels que des clapets ou des modules de navigation ou de communication remplaçables en escale, sans que l'avion soit emmené au hangar d'entretien, pour les doter de connexions électriques ou fluides de dimensions ou de formes différentes, afin d'éliminer toute erreur du type croisement de connexions lors du remontage. Côté opérationnel, plusieurs services de maintenance ont mis en place des systèmes perfectionnés assurant que le travail entrepris par un quart sera transmis en bonne et due forme au quart suivant.

6.7.4 Des erreurs telles que les écrous et boulons non serrés à fond, le fil de sûreté non mis en place ou les trappes de visite mal fixées demeurent une source de tracas pour les ingénieurs de conception et les responsables de la maintenance, car elles concernent des pièces d'équipement si simples qu'il paraît impossible de modifier la conception de cet équipement ou du système de maintenance. Sans avoir toujours de conséquences funestes, ces erreurs continuent toutefois d'avoir des incidences opérationnelles et économiques considérables. Un exemple d'erreur de ce type est celui du technicien qui oublie de serrer à fond la vis ou l'écrou qu'il a serré à la main. Quel changement approprié pourrait-on apporter, dans la façon d'exécuter l'entretien, pour éviter qu'une telle erreur se produise ou pour aider à réduire le taux d'erreur? Éliminer sur les avions tous les écrous et les vis? Imposer un deuxième serrage à fond de tous les écrous et boulons? Indépendamment du contexte économique auquel font face avionneurs et compagnies aériennes, aucune de ces deux modifications n'aurait beaucoup de chances d'être appliquée. Ces erreurs ne sont pas tant le résultat de déficiences du système que le reflet des limites intrinsèques de la technologie, dans la conception tant des avions que des systèmes de maintenance. Théoriquement, il faudrait pour réduire les erreurs de dépose et d'installation que les avions soient conçus avec un nombre limité de composants, et non avec les trois à quatre millions de pièces qui entrent dans la construction d'un gros-porteur. Mais la technologie actuelle exige l'emploi d'écrous et de fil de sûreté sur les avions. Tôt ou tard, du fait de l'exécution défectueuse d'une tâche de maintenance, un avion partira donc sans une de ces pièces.³³

6.7.5 Graeber et Marx considèrent que, pour franchir la prochaine étape significative en matière de réduction des erreurs dans l'entretien, il faudrait intervenir à trois niveaux:³⁴ organiser les données de maintenance sous une forme qui permette l'étude des aspects de la maintenance liés à la performance humaine, resserrer l'écart existant entre la communauté de la maintenance et la psychologie appliquée à l'aviation et développer des méthodes et des outils qui permettront d'aider les concepteurs d'aéronefs et les responsables de la maintenance à s'atteler d'une façon plus analytique à la question de l'erreur humaine.

1. Il faudrait organiser les données relatives à la maintenance sous une forme qui permette d'étudier ses aspects liés à la performance humaine:

Dans la théorie de l'erreur humaine, beaucoup de travail est axé sur la classification de l'erreur. Pour le psychologue spécialiste de l'aspect cognitif, il existe de nombreux schèmes de classification, de l'oubli/méprise/faute légère aux erreurs de commission/d'omission, aux erreurs en rapport avec les habiletés/les règles/les connaissances, et aux erreurs systématiques/aléatoires. Chacun de ces schèmes de classification est applicable aux erreurs survenant dans n'importe quel contexte, y compris l'entretien des aéronefs. Même si ces classifications introduisent de l'ordre dans ce qui, sans cela, pourrait sembler être des erreurs non significatives, elles n'ont, pour la

plupart, pas été employées dans le milieu de la maintenance aéronautique. Le problème, pour ceux qui évoluent dans «le monde réel» de la maintenance, est que le fait d'établir le type d'erreur dont il s'agit n'aide guère à déterminer pratiquement la cause sous-jacente.³⁵ À moins de rendre évidente l'existence d'un lien pertinent entre les classifications théoriques et la gestion des erreurs de maintenance dans le monde réel, la distinction entre oublis, méprises et fautes légères n'a guère d'utilité pour le monde de la maintenance.

Une autre approche de la classification des erreurs, que l'aviation a adoptée, est centrée sur la cause ou les facteurs contributifs. C'est ainsi que cette industrie est arrivée aux statistiques montrant le pourcentage élevé d'accidents attribuables à l'erreur humaine dans le poste de pilotage. Cette approche convient aux cas de pannes du matériel, mais elle a de réelles limites lorsqu'elle est appliquée à l'erreur humaine. En 1991, Boeing a réalisé une étude des accidents liés à l'entretien survenus au cours des dix années précédentes. Après examen des données disponibles, les analystes ont classé les facteurs contributifs dans les sept grandes catégories suivantes de facteurs déterminant la performance:

- tâches et procédures;
- formation et qualification;
- environnement/poste de travail;
- communication;
- outils et matériel d'essais;
- conception des avions;
- organisation et direction.

En cherchant à se prémunir contre la tentation d'imputer un blâme, on a délibérément exclu de ces catégories le technicien d'entretien. Le résultat général est cependant une liste subjective de causes classées dans une ou plusieurs des sept catégories de facteurs déterminant la performance. L'imputation d'un «blâme» se révèle donc comme un des aspects indésirables, et inévitables, de tout accident. Deux questions importantes se dégagent de cette analyse:

- a) Est-il possible de contrôler les biais particuliers que les analystes sont susceptibles d'introduire dans une enquête du fait de leur expérience, de leur formation ou de leur expertise? Par exemple, un instructeur de maintenance est-il plus susceptible d'identifier le rôle qu'ont pu jouer, dans un certain incident ou accident, des carences en matière de formation?
- b) La communauté de la maintenance se rallierait-elle à une étude qui s'appuierait fortement sur l'évaluation subjective?

Ces deux questions montrent que les techniques de collecte de données et d'investigation sur les performances humaines doivent être améliorées de manière à

fournir un cadre d'observation, à réduire la nécessité d'évaluations subjectives et à être comprises et adoptées par les concepteurs d'aéronefs et les responsables de la maintenance.

6.7.6 La réponse à la première de ces questions est largement discutée au Chapitre 2, ainsi que dans la 2^e Partie, Chapitre 4. Il semble souvent que les investigations sur la performance humaine font simplement remonter l'erreur à des habitudes de travail négligentes et peu professionnelles de l'individu en cause. Lors des enquêtes sur les accidents, on a l'habitude de remonter jusqu'au point où toutes les conditions en rapport avec l'accident sont expliquées par des événements ou des actes anormaux mais familiers. Lorsqu'un élément d'un avion tombe en panne, la défaillance d'un élément sera acceptée comme cause première si le mécanisme de la panne semble être «habituel». L'erreur humaine est familière à l'enquêteur; l'erreur est humaine. C'est pourquoi l'enquête s'arrête souvent une fois identifiée la personne qui a erré.

6.7.7 La 2^e Partie, Chapitre 4 de ce manuel propose une démarche qui vise à améliorer nos investigations sur la performance humaine et à éliminer ce genre de jugements prématurés à l'encontre de l'opérateur humain. Sans vouloir évacuer la responsabilité individuelle dans les incidents et accidents, l'approche que suggère ce manuel repose sur l'idée que la meilleure façon d'assurer la sécurité du système est de centrer l'attention sur ses éléments gérables. Ce qui se passe dans la tête du personnel de maintenance — et d'autres personnels opérationnels — est souvent le facteur le plus difficile à gérer. Ainsi, pour effectuer des analyses qui aideront à améliorer le système, il faut mener des investigations sur les caractéristiques de l'erreur de maintenance qui ne montreront pas simplement du doigt le technicien en cause et n'impliqueront pas d'évaluations subjectives de la carence. Afin d'améliorer la marge générale des normes de sécurité de l'ensemble du système, il faut rechercher les fils qui relient les accidents, incidents et événements et qui permettront aux membres de la communauté de la maintenance de collaborer entre eux.

6.7.8 L'étude de la CAA du Royaume-Uni citée en 6.2, qui dresse la liste des six premiers problèmes de maintenance par ordre de fréquence, est une démarche qui se rapporte au processus de maintenance ou à la tâche vue sur le plan du comportement, plutôt qu'à l'erreur humaine ou au facteur causal à proprement parler. Au plus haut niveau des processus de maintenance, par exemple, nous pouvons identifier des erreurs associées aux activités suivantes:

- dépose d'éléments;
- installation d'éléments;
- inspection;
- mise en évidence de défauts/détection de problèmes;
- réparation;
- entretien courant.

6.7.9 Les classifications des erreurs de maintenance fondées sur le processus ou la tâche en cause peuvent avoir des avantages tangibles à court terme. Par exemple, la rupture d'un

élément de structure survenue en 1987 sur le Boeing 737 d'Aloha a fait prendre davantage conscience des facteurs humains liés à l'inspection visuelle de la structure.³⁶ La Federal Aviation Administration des États-Unis a donc consacré aux questions d'inspection visuelle une part importante de son financement de la recherche sur les facteurs humains intervenant dans la maintenance.

6.7.10 Une étude plus approfondie de l'utilisation de cette méthode pour analyser et classer l'erreur humaine dans la détection des problèmes de moteur s'est révélée utile pour la conception de systèmes de formation à la maintenance.³⁷ Dans le cas de l'accident du Boeing 737 d'Aloha, les erreurs ont été classées d'après les étapes du traitement de l'information au sein d'une certaine tâche de détection de problèmes. Les catégories fondamentales étaient l'observation de l'état du système, le choix des hypothèses, le choix des procédures et l'exécution des procédures.

6.7.11 Ce processus de classification à orientation comportementale évite les écueils associés à l'approche fondée sur la cause ou sur les facteurs contributifs, dont il a été question précédemment. Plutôt que de réagir par la défensive, la plupart des gens verront là un type d'analyse générant de simples faits, indiquant la voie qui va permettre d'apporter des améliorations dans le processus.

6.7.12 Outre la classification des erreurs, il est possible de classer aussi les *stratégies de prévention*. Cette classification aide à accroître la visibilité de certains outils que les constructeurs et les gestionnaires d'entretien peuvent utiliser pour la gestion de l'erreur humaine dans la maintenance. Trois classes de stratégies sont proposées à cette fin. Chacune d'elles est définie par sa méthode de maîtrise de l'erreur:

- a) **Réduction de l'erreur.** Les stratégies de réduction de l'erreur visent à intervenir directement à sa source même. Il s'agit par exemple de faciliter l'accès à une certaine pièce, d'améliorer l'éclairage dans lequel une tâche est exécutée ou de dispenser une meilleure formation au technicien d'entretien. La plupart des stratégies de gestion de l'erreur employées dans la maintenance entrent dans cette catégorie.
- b) **Capture de l'erreur.** Ceci suppose que l'erreur soit commise. On essaie de la «capturer» avant le départ de l'avion. Des exemples de cette stratégie sont l'inspection après exécution des tâches, les étapes de vérification au cours de l'exécution et les essais fonctionnels et opérationnels après exécution.
- c) **Tolérance à l'erreur.** Il s'agit de l'aptitude d'un système à admettre l'erreur sans conséquences catastrophiques (ou même sérieuses). Dans le cas de la maintenance des avions, la tolérance à l'erreur peut s'appliquer aussi bien à la conception des avions eux-mêmes qu'à celle du système de maintenance. On pourra par exemple installer à bord des circuits hydrauliques ou électriques multiples (afin qu'une

erreur humaine n'entraîne une panne que de l'un d'eux) ou prévoir un programme d'inspection des structures qui donnera de multiples possibilités de déceler une crique de fatigue avant que celle-ci n'atteigne une longueur critique.

6.7.13 Des trois classes de stratégie de prévention, seule la réduction de l'erreur s'attaque directement à celle-ci. Les stratégies de capture de l'erreur et de tolérance à l'erreur sont directement associées à l'intégrité du système. Dans la perspective de la sécurité du système, une erreur humaine dans la maintenance ne compromet pas directement ni immédiatement la sécurité de l'avion. Jusqu'au moment où les techniciens d'entretien travailleront sur l'avion en vol, il en sera toujours ainsi. C'est le fait que l'avion *prenne le départ* avec un problème induit par la maintenance qui est préoccupant.

2. Il faudrait réduire l'écart existant entre la communauté de la maintenance et la psychologie appliquée à l'aviation:

Depuis une quinzaine d'années, la communauté des pilotes et les psychologues travaillant dans l'industrie parlent de plus en plus une langue commune. D'importants travaux sur les facteurs humains qui interviennent dans le poste de pilotage ont été accomplis par des équipes interdisciplinaires de pilotes, d'ingénieurs et de psychologues. Des concepts tels que l'erreur de mode et la gestion des ressources en équipe sont devenus le terrain commun de collaboration entre les psychologues et la communauté de l'exploitation afin d'améliorer la sécurité du système.

À peu d'exceptions près, cependant, concepteurs d'aéronefs, avionneurs, techniciens d'entretien et psychologues vivent encore dans des mondes séparés. Si l'on considère l'exemple du détecteur de limaille du L-1011, la question qui se pose est de savoir si des psychologues auraient pu définir de meilleures stratégies d'intervention que celles que l'exploitant a adoptées. Le Chapitre 2 fait remarquer que beaucoup des travaux consacrés aux facteurs humains jusqu'à présent, spécialement en aviation, ont été axés sur l'amélioration de l'interface immédiate homme-système. La réduction de l'erreur a été au cœur des activités relatives aux facteurs humains. L'incident survenu dans le cas du détecteur de limaille, cependant, a été précisément une de ces erreurs courantes portant sur des éléments relativement simples de l'avion qu'il y a peu de chances de pouvoir changer. Le Chapitre 2 soutient que la stratégie la plus productive pour s'attaquer aux erreurs actives est de centrer l'intervention sur la maîtrise de leurs conséquences plutôt que de chercher à les éliminer.

En cherchant à limiter les accidents causés par la maintenance, les psychologues doivent dépasser les questions individuelles d'interface homme-machine

pour évoluer vers une approche collective d'analyse systémique. Par exemple, il y a deux grandes étapes dans l'analyse de l'erreur. La première, une «analyse des facteurs contributifs», vise à comprendre pourquoi l'erreur s'est produite. C'est ainsi que pour identifier la raison de l'oubli du technicien de serrer à fond l'écrou qu'il avait déjà serré à la main on peut se placer dans une perspective classique de psychologie cognitive du comportement. La seconde grande étape, une «analyse des stratégies d'intervention», porte sur l'identification des changements à apporter à bord ou dans le système de maintenance pour s'attaquer efficacement à l'erreur de maintenance.

6.7.14 L'élaboration de stratégies pour parer à de futurs cas d'erreur de maintenance exige des compétences qui dépassent souvent celles de l'ingénieur spécialisé en facteurs humains ou du psychologue. Pour élaborer des stratégies d'intervention spécifiques, il faut comprendre les contraintes du système, le caractère critique de l'erreur et l'anomalie qui en résulte, aussi bien que les pratiques de gestion de l'erreur propres à la maintenance des aéronefs.

3. Il faudrait développer des méthodes et des outils qui aideront les concepteurs d'aéronefs et les responsables de la maintenance à s'atteler d'une façon plus analytique à la question de l'erreur humaine:

Depuis les débuts de l'aviation, la communauté de la maintenance a constamment contribué à améliorer l'efficacité et la sécurité d'exploitation. Cela s'est fait dans une grande mesure sans le concours de disciplines «extérieures», comme la psychologie. La conception de l'interface humaine d'un système sophistiqué de maintenance à bord est une tâche qui exige des capacités d'analyse et des connaissances plus grandes de la performance cognitive humaine que celles qui s'acquerraient par des années d'expérience comme ingénieur de maintenance. Cependant, alors que les praticiens des facteurs humains interviennent davantage dans l'analyse des erreurs de maintenance, il ne faut pas perdre de vue le fait que la majeure partie de l'analyse et de la gestion de ces erreurs est exécutée aujourd'hui, et le sera dans l'avenir, par les concepteurs d'aéronefs, concepteurs de manuels, instructeurs en maintenance et gestionnaires de maintenance. Il faut donc que la communauté de la maintenance fasse appel à des sources de soutien extérieur interdisciplinaire pour l'aider à comprendre les possibilités et les limites intrinsèques du technicien d'entretien d'aéronef. Ces ressources extérieures devraient se concentrer sur l'élaboration de méthodes et d'outils solides, qui puissent être transférés aux contextes de la conception et de l'exploitation. Avec des méthodes et des outils meilleurs, l'objectif d'améliorer la gestion de l'erreur sera atteint plus rapidement et plus systématiquement.

6.7.15 Les investigations sur les facteurs humains en aviation ont clairement montré que le fait de s'attaquer aux lacunes des systèmes ou des organisations (*défaillances latentes*) plutôt qu'aux erreurs individuelles (*défaillances actives*) contribuera positivement à réduire dans une mesure importante le nombre d'incidents liés à l'erreur humaine. Ce constat a incité de nombreuses organisations de sécurité à porter toujours plus d'attention aux facteurs organisationnels et culturels, que ce soit comme facteurs causaux d'accidents ou comme facteurs de prévention de l'erreur. Une meilleure compréhension de ces facteurs conduira à une meilleure compréhension de l'erreur humaine dans le contexte opérationnel. Comme on l'a vu au Chapitre 2, les connaissances acquises dans la compréhension des facteurs qui relèvent du management et de l'organisation, à la fois comme facteurs causaux et facteurs de prévention, pourront être utilisées avec succès pour relever les défis de l'avenir en réduisant l'erreur humaine dans l'industrie du transport aérien.

LISTE DE RÉFÉRENCES

- Air Transport Association (1989). "ATA Specification 104 Guidelines for Aircraft Maintenance Training". Washington, D.C.: Air Transport Association.
- Aviation Industry Computer Based Training Committee (1989). AICC Matrix Committee. "CBT Courseware/Hardware Matrix" (Report AGR 001, 22 December 1989). Washington: GMA Research Corporation.
- Aviation Safety Research Act of 1988, PL 100-591, 102 Stat. 3011 (1988).
- Baker, B. et A. Schafer. "Industrial Hygiene in Air Carrier Operations". Compte rendu de la cinquième réunion de la Federal Aviation Administration sur les facteurs humains dans la maintenance et l'entretien des aéronefs — L'environnement de travail dans la maintenance aéronautique. Janvier 1992. Washington, D.C.
- Barnett, M.L. (1987). *Factors in the Investigation of Human Error in Accident Causation*. College of Maritime Studies. Warsash, Southampton, Royaume-Uni.
- Campbell, R.J. "Measurement of Workforce Productivity". Compte rendu de la cinquième réunion de la Federal Aviation Administration sur les facteurs humains dans la maintenance et l'entretien des aéronefs—L'environnement de travail dans la maintenance aéronautique. Janvier 1992. Washington, D.C.
- Campion, M.A. "Job Design and Productivity". Compte rendu de la cinquième réunion de la Federal Aviation Administration sur les facteurs humains dans la maintenance et l'entretien des aéronefs — L'environnement de travail dans la maintenance aéronautique. Janvier 1992. Washington, D.C.
- DeHart, R.L. "Physical Stressors in the Workplace". Compte rendu de la cinquième réunion de la Federal Aviation Administration sur les facteurs humains dans la maintenance et l'entretien des aéronefs — L'environnement de travail dans la maintenance aéronautique. Janvier 1992. Washington, D.C.

- Drury, C.G. (1991). "Errors in Aviation Maintenance: Taxonomy and Control". Compte rendu de la 35^e réunion annuelle de la *Human Factors Society*. San Francisco (Californie).
- Drury, C.G. "The Information Environment in Aircraft Inspection". Compte rendu de la deuxième réunion de la Federal Aviation Administration sur les facteurs humains dans la maintenance et l'entretien des aéronefs — Échanges d'information et communications. Mai 1990. Washington, D.C.
- Drury, C.G. et A. Gramopadhye. "Training for Visual Inspection". Compte rendu de la troisième réunion de la Federal Aviation Administration sur les facteurs humains dans la maintenance et l'entretien des aéronefs — Questions de formation. Novembre 1990. Washington, D.C.
- Emrey, D. (1975). *Training the Inspectors' Sensitivity and Response Strategy*. In Drury, C.G. and J.G. Fox (Eds.), *Human Reliability in Quality Control*, pp. 123-132, Londres: Taylor et Francis.
- Federal Aviation Administration. "The National Plan for Aviation Human Factors". Washington, D.C.
- Gallwey, T.J. (1982). "Selection Tests for Visual Inspection on a Multiple Fault-Type Task". *Ergonomics*, 25.11, pp. 1077-1092.
- Glushko, R. "CD-ROM and Hypermedia for Maintenance Information". Compte rendu de la deuxième réunion de la Federal Aviation Administration sur les facteurs humains dans la maintenance et l'entretien des aéronefs — Échanges d'information et communications. Mai 1990. Washington, D.C.
- Goldsby, R.P. "Effects of Automation in Maintenance". Compte rendu de la cinquième réunion de la Federal Aviation Administration sur les facteurs humains dans la maintenance et l'entretien des aéronefs — L'environnement de travail dans la maintenance aéronautique. Janvier 1992. Washington, D.C.
- Gregory, W. (1993). "Maintainability by Design". Compte rendu du cinquième atelier annuel de la *Society of Automotive Engineers: Reliability, Maintainability and Supportability*. Dallas, Texas.
- Hackman, J.R. (1990). *Groups that Work*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Harle, J. "Industry and School Cooperation for Maintenance Training". Compte rendu de la quatrième réunion de la Federal Aviation Administration sur les facteurs humains dans la maintenance et l'entretien des aéronefs — Le technicien d'entretien d'aéronef. Juin 1991. Washington, D.C.
- Hollnagel, E. *Human Reliability Analysis — Context and Control*. Academic Press. San Diego (Californie). 1993.
- IES (1987). *IES Lighting Handbook — Application Volume*. New York: Illuminating Engineering Society.
- IES (1984). *IES Lighting Handbook — Reference Volume*. New York: Illuminating Engineering Society.
- Inaba, K. "Converting Technical Publications into Maintenance Performance Aids". Compte rendu de la deuxième réunion de la Federal Aviation Administration sur les facteurs humains dans la maintenance et l'entretien des aéronefs — Échanges d'information et communications. Mai 1990. Washington, D.C.
- Johnson, R. "An Integrated Maintenance Information System (IMIS): An Update". Compte rendu de la deuxième réunion de la Federal Aviation Administration sur les facteurs humains dans la maintenance et l'entretien des aéronefs — Échanges d'information et communications. Mai 1990. Washington, D.C.
- Johnson, W.B. (1987). *Development and Evaluation of Simulation-Oriented Computer-Based Instruction for Diagnostic Training*. In W.B. Rouse (Ed.), *Advances in Man-Machine Systems Research*, Vol. 3 (pp. 99-127). Greenwich, Connecticut: JAI Press, Inc.
- Johnson, W.B. et J.E. Norton. (1992). *Modelling Student Performance in Diagnostic Tasks: a Decade of Evolution*.
- Johnson, W.B. et W.B. Rouse (1982). *Analysis and Classification of Human Errors in Troubleshooting Live Aircraft Power Plants*. IEEE. Transactions on Systems, Man and Cybernetics.
- Kizer, C. "Major Air Carrier Perspective". Compte rendu de la deuxième réunion de la Federal Aviation Administration sur les facteurs humains dans la maintenance et l'entretien des aéronefs — Échanges d'information et communications. Mai 1990. Washington, D.C.
- Majoros, A. "Human Factors Issues in Manufacturers' Maintenance — Related Communication". Compte rendu de la deuxième réunion de la Federal Aviation Administration sur les facteurs humains dans la maintenance et l'entretien des aéronefs — Échanges d'information et communications. Mai 1990. Washington, D.C.
- Marx, D.A. (1992). "Looking towards 2000: The Evolution of Human Factors in Maintenance". Compte rendu de la sixième réunion de la Federal Aviation Administration sur les facteurs humains dans la maintenance et l'entretien des aéronefs — Échanges d'information et communications. Alexandria (Virginie).
- Marx, D.A. et R.C. Graeber (1993). *Human Error in Aircraft Maintenance*. Boeing Commercial Airplane Group. Seattle (Washington).
- Mayr, J. "Composites in the Workplace — Some Lessons Learned". Compte rendu de la cinquième réunion de la Federal Aviation Administration sur les facteurs humains dans la maintenance et l'entretien des aéronefs — Échanges d'information et communications. Janvier 1992. Washington, D.C.
- Peters, R. "State and Aviation Industry Training Cooperation". Compte rendu de la quatrième réunion de la Federal Aviation Administration sur les facteurs humains dans la maintenance et l'entretien des aéronefs — Échanges d'information et communications. Juin 1991. Washington, D.C.
- Rasmussen, J. et K.J. Vicente. (1989). "Coping with Human Errors through System Design: Implications for Ecological Interface Design". *International Journal of Man Machine Studies*, 31, 517-534.
- Reason, J. (1990). *A Framework for Classifying Errors*. In J. Rasmussen, K. Duncan and J. Leplat (Eds.), *New Technology and Human Error*. Londres: John Wiley.
- Reason, J. (1990). *Human Error*. Cambridge University Press, Royaume-Uni.
- Rogers, A. (1991). "Organizational Factors in the Enhancement of Military Aviation Maintenance". Actes du

- quatrième Symposium international sur la maintenance et l'inspection des aéronefs (pp. 43-63). Washington, D.C. Federal Aviation Administration.
- Ruffner, J.W. (1990). "A Survey of Human Factors Methodologies and Models for Improving the Maintainability of Emerging Army Aviation Systems". US Army Research Institute for the Behavioural and Social Sciences. Alexandria (Virginie).
- Shepherd, W.T., W.B. Johnson, C.G. Drury et D. Berninger. "Human Factors in Aviation Maintenance Phase I: Progress Report". FAA Office of Aviation Medicine Report AM-91/16, 1991. Washington, D.C.
- Shute, V. et W. Regian (Eds.). *Cognitive Approaches to Automated Instruction*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 195-216.
- Skinner, M. "Aviation Maintenance Practices at British Airways". Compte rendu de la quatrième réunion de la Federal Aviation Administration sur les facteurs humains dans la maintenance et l'entretien des aéronefs — Le technicien d'entretien d'aéronef. Juin 1991. Washington, D.C.
- Taggart, W. "Introducing CRM into Maintenance Training". Compte rendu de la troisième réunion de la Federal Aviation Administration sur les facteurs humains dans la maintenance et l'entretien des aéronefs — Questions de formation. Novembre 1990. Washington, D.C.
- Taylor, J.C. (1989). "Allies in Maintenance: The Impact of Organizational Roles on Maintenance Programs". Actes de la deuxième Conférence internationale sur le vieillissement des aéronefs (pp. 221-225). Washington, D.C. Federal Aviation Administration.
- Taylor, J.C. "Facilitation of Information Exchange Among Organizational Units Within Industry". Compte rendu de la deuxième réunion de la Federal Aviation Administration sur les facteurs humains dans la maintenance et l'entretien des aéronefs — Échange d'informations et communications. Mai 1990. Washington, D.C.
- Taylor, J.C. "Organizational Context in Aviation Maintenance — Some Preliminary Findings". Compte rendu de la troisième réunion de la Federal Aviation Administration sur les facteurs humains dans la maintenance et l'entretien des aéronefs — Questions de formation. Novembre 1990. Washington, D.C.
- Tepas, D.I. "Factors Affecting Shift Workers". Compte rendu de la cinquième réunion de la Federal Aviation Administration sur les facteurs humains dans la maintenance et l'entretien des aéronefs — L'environnement de travail dans l'entretien des aéronefs. Janvier 1992. Washington, D.C.
- Thackray, R.I. (1992). "Human Factors Evaluation of the Work Environment of Operators Engaged in the Inspection and Repair of Aging Aircraft" (Report No. DOT/FAA/AM-92/3). Washington, D.C. Federal Aviation Administration.
- United States Congress Office of Technology Assessment (1988). "Safe Skies for Tomorrow: Aviation Safety in a Competitive Environment" (OTA-SET-381). Washington, D.C. U.S. Government Printing Office.
- Wiener, E.L. (1975). *Individual and Group Differences in Inspection*. In Drury, C.G. (Ed.), *Human Reliability in Quality Control*, pp. 19-30. Londres: Taylor & Francis.
- Wiener, E.L. "Vigilance and Inspection Performance". Compte rendu de la première réunion de la Federal Aviation Administration sur les facteurs humains dans la maintenance et l'entretien des aéronefs. Octobre 1989. Washington, D.C.
- Woods, D.D. (1989). *Coping with complexity: The Psychology of Human Behaviour in Complex Systems*. In Goodstein, L.P., H.B. Anderson and S.E. Olsen (Eds.), *Tasks, Errors and Mental Models*, Londres: Taylor et Francis, 128-148.
-

2^e PARTIE

PROGRAMMES D'INSTRUCTION POUR LE PERSONNEL D'EXPLOITATION

CHAPITRE PREMIER

PROGRAMME D'INSTRUCTION DE BASE SUR LES PERFORMANCES HUMAINES POUR LE PERSONNEL D'EXPLOITATION

1.1 INTRODUCTION

1.1.1 Bien que les carences de la performance humaine soient prédominantes parmi les facteurs qui contribuent aux accidents et incidents d'aviation, on n'a jamais établi clairement sur quels aspects des possibilités et des limites humaines l'instruction devrait, ou pourrait, porter. On sait par contre depuis bon nombre d'années qu'il est possible d'améliorer l'éducation et l'instruction portant sur les facteurs humains dans le système aéronautique. Le présent chapitre, qui a pour objet la conception et le contenu de cours sur les facteurs humains en aviation, s'adresse aux responsables de la conception et de la mise en oeuvre des programmes dans ce domaine qui sont destinés aux personnels d'exploitation. On y trouvera les éléments suivants:

- a) les schémas de programmes proposés par l'OACI pour l'instruction sur les performances humaines à l'intention des pilotes, des contrôleurs de la circulation aérienne et des techniciens de maintenance;
- b) un bref commentaire sur les divers problèmes liés à la mise en place de l'instruction sur les performances humaines en aviation;
- c) des informations à l'intention des États, des établissements d'enseignement et des instructeurs, pour les aider à concevoir des programmes et des aides d'instruction appropriés;
- d) un examen de questions qui se posent à propos du contenu et la présentation de l'instruction sur les performances humaines;
- e) des exemples de cours sur les performances humaines, déjà dispensés ou en voie d'élaboration.

1.1.2 La rédaction du présent chapitre et une bonne partie de son contenu ont été influencés par les changements progressifs dans l'Annexe 1 de l'OACI — *Licences du personnel*, devenus applicables en novembre 1989 (8^e édition) et en novembre 2001 (9^e édition), et dans l'Annexe 6 — *Exploitation technique des aéronefs*, 1^{re} Partie, devenus applicables en novembre 1995 (6^e édition) et en novembre 1998 (7^e édition). Ces amendements concernent les exigences

d'instruction sur les performances humaines pour la délivrance des licences des personnels d'exploitation; leur importance est expliquée en 1.1.1. L'approche adoptée dans le présent chapitre suppose toutefois un progrès continu dans l'instruction sur les performances humains; la question est donc traitée dans une perspective plus large que la stricte interprétation des besoins d'instruction imposés par les amendements de ces Annexes.

1.1.3 L'approche de l'OACI en matière de facteurs humains est expliquée aux Chapitres 1^{er} et 2 de la 1^{re} Partie du présent manuel. Le présent chapitre, qui se fonde sur cette 1^{re} Partie, porte principalement sur la formation à l'intention des pilotes et des contrôleurs de la circulation aérienne, mais il devrait également être utile lorsqu'il s'agit de répondre aux besoins d'autres personnels d'exploitation, notamment les techniciens de maintenance et les agents techniques d'exploitation. On trouvera un complément d'information sur l'acquisition d'habiletés pratiques liées à des aspects spécifiques des facteurs humains dans la 2^e Partie du présent manuel, Chapitre 2 — *Formation à la gestion des ressources dans le poste de pilotage (CRM)*. Le présent chapitre vise principalement à répondre aux besoins de connaissances sur les performances humaines que spécifient l'Annexe 1 et l'Annexe 6, 1^{re} Partie.

1.1.4 Le présent chapitre:

- présente la question des facteurs humains dans le contexte des spécifications de l'Annexe 1 relatives à la formation des personnels d'exploitation;
- présente des programmes types d'instruction sur les performances humaines, auxquels les États et les établissements d'enseignement pourront se référer au moment de concevoir leurs propres cours. L'instruction dont il est question dans ce chapitre n'est pas censée se substituer à celle qui vise à améliorer les habiletés opérationnelles en rapport avec les facteurs humains, comme la formation en gestion des ressources dans le poste de pilotage (CRM) ou en gestion des ressources en équipe (TRM). Il s'agit plutôt d'un complément à cette formation axée sur l'acquisition d'habiletés, qui devrait de préférence la précéder puisqu'il s'agit de l'acquisition de connaissances de base;

- expose les critères et les informations de base dont les États intéressés pourront tenir compte dans la sélection des instructeurs et dans la conception et la mise en oeuvre de leurs propres programmes;
- présente des exemples de programmes de cours actuellement dispensés ou en voie d'élaboration.

1.1.5 Par suite des amendements de l'Annexe 1 et de l'Annexe 6, l'instruction sur les performances humaines à l'intention des personnels d'exploitation progresse constamment, avec un large consensus sur le contenu des cours appropriés et une évolution continue dans la matière et les méthodes.

1.1.6 Le présent chapitre est rédigé de manière à aider le plus possible tous ceux à qui incombent des responsabilités d'instruction sur les performances humaines, quel que soit leur poste. Comme les besoins des administrations, des exploitants, des établissements d'enseignement et des instructeurs peuvent varier considérablement à l'intérieur d'un même État ou selon les États, il convient d'interpréter son contenu en conséquence.

1.2 INSTRUCTION SUR LES FACTEURS HUMAINS POUR LES PERSONNELS D'EXPLOITATION: INTRODUCTION ET VUE D'ENSEMBLE

Historique et justification

1.2.1 Outre les effets qu'ont sur la sécurité de l'aviation les insuffisances de la performance humaine, une importante raison de l'élaboration du présent chapitre en particulier a été la publication de la huitième édition de l'Annexe 1 — *Licences du personnel*, devenue applicable en novembre 1989, et de la sixième édition de l'Annexe 6 — *Exploitation technique des aéronefs*, 1^{re} Partie, devenue applicable en novembre 1995. Depuis 1989, toutes les éditions de l'Annexe 1 contiennent des spécifications exigeant des connaissances en matière de facteurs humains pour chaque catégorie de titulaires de licence ou de fonction, à savoir des connaissances sur les:

«... performances humaines applicables [au titulaire de la licence délivrée ou à la fonction exercée]».

Dans la 9^e édition de l'Annexe 1 (juillet 2001) et dans la 8^e édition de l'Annexe 6 (juillet 2001), les «performances humaines» sont définies comme «capacités et limites de l'être humain qui ont une incidence sur la sécurité et l'efficacité des opérations aéronautiques».

Cette spécification relative à des connaissances requises a le même rang que celles qui exigent des connaissances portant sur la météorologie, la navigation, les principes du vol ou toute autre partie du programme traditionnel d'instruction. Elle exige donc la mise au point d'un programme de cours approprié et l'intégration de nouvelles notions dans le programme traditionnel.

1.2.2 De plus, les spécifications de l'Annexe 1 et de l'Annexe 6, 1^{re} Partie, relatives aux habiletés à démontrer incluent, dans le cas de certaines licences et fonctions, certains éléments de performances humaines. Des exemples de ces dispositions et d'autres dispositions des Annexes liées aux performances humaines se trouvent dans le Tableau 1-1.

1.2.3 Dans la 8^e édition de l'Annexe 6 (juillet 2001), les principes des facteurs humains sont ainsi définis: «Principes qui s'appliquent à la conception, à la certification, à la formation, aux opérations et à la maintenance aéronautiques et qui visent à assurer la sécurité de l'interface entre l'être humain et les autres composantes des systèmes par une prise en compte appropriée des performances humaines.»

1.2.4 En plus des changements introduits dans l'Annexe 1 et l'Annexe 6, 1^{re} Partie, une impulsion dans ce sens est venue des experts de la sécurité du monde de l'aviation. En effet, leur participation à la recherche ainsi qu'aux enquêtes sur les accidents et incidents n'a cessé de croître. Outre les incidences immédiates des résultats publiés, ces experts ont joué un rôle important dans l'identification de solutions possibles à différentes lacunes de la sécurité et de l'instruction dans le domaine des facteurs humains.

1.2.5 La publication de la huitième édition de l'Annexe 1 et de la sixième édition de l'Annexe 6, 1^{re} Partie, et le développement progressif des dispositions liées aux facteurs humains dans les éditions ultérieures, ont confirmé que la nécessité de l'instruction dans le domaine des facteurs humains en aviation fait l'objet d'un consensus international. Le présent chapitre est une réponse au besoin d'aides d'instruction qui en découle.

1.3 SITUATION ANTÉRIEURE

1.3.1 Tant que des humains feront partie du système aéronautique, les possibilités et les limites humaines influenceront sur la sécurité. Il n'est guère étonnant que les conséquences de certaines déficiences des performances humaines aient été bien identifiées dans les rapports sur les accidents d'aviation et dans d'autres publications. Les exigences internationales en matière de délivrance des licences, la conception des matériels, des formations et des procédures opérationnelles, ainsi que les enquêtes sur les accidents et incidents, comptent parmi les éléments du système aéronautique qui ont été constamment modifiés sur la base de cette expérience.

1.3.2 Cependant, le changement fut lent et fragmentaire. Dans le monde de l'aviation, la notion de facteurs humains était interprétée avec des sens divergents. À cause des limitations de nos connaissances sur la nature des possibilités et limites humaines en aviation, l'approche de l'instruction sur les facteurs humains a été par le passé quelque peu incohérente et incomplète.

1.3.3 En ce qui concerne la formation des personnels d'exploitation, on observe la même diversité dans les stratégies

Tableau 1-1. Dispositions des Annexes 1 et 6 liées à la performance humaine

Source	Applicable à	Texte	Référence
Annexe 1	Licence ATPL (habileté)	Comprendre et appliquer les procédures de coordination de l’équipage et les procédures en cas d’incapacité.	2.5.1.5.1.1 f)
Annexe 1	Licence ATPL (habileté)	Communiquer efficacement avec les autres membres d’équipage de conduite.	2.5.1.5.1.1 g)
Annexe 1	Licence de mécanicien navigant (habileté)	Communiquer efficacement avec les autres membres d’équipage de conduite.	3.3.4.1 e)
Annexe 6	Exécution des vols	La conception et l’utilisation des listes de vérification respecteront les principes des facteurs humains.	4.2.5
Annexe 6	Programmes de formation des équipages de conduite	Le programme d’instruction portera également sur les connaissances et les aptitudes relatives aux performances humaines ainsi que sur le transport des marchandises dangereuses.	9.3.1
Annexe 6	Programmes de formation des équipages de cabine	Ces programmes de formation seront tels que chaque personne: [...] soit bien informée des performances humaines intéressant les fonctions remplies en cabine qui sont liées à la sécurité, y compris en ce qui concerne la coordination entre les membres de l’équipage de conduite et les membres de l’équipage de cabine.	12.4 f)
Annexe 6	Manuel d’exploitation	Renseignements sur le programme de formation de l’exploitant visant au développement des connaissances et des aptitudes en matière de performances humaines.	Appendice 2, Point 15

de réponse aux problèmes de facteurs humains, allant de programmes de cours spécialisés, visant exclusivement à l’acquisition de connaissances factuelles, à des programmes de formation axés exclusivement sur le développement de certaines habiletés, telles que la communication, la coordination d’équipe, la gestion des ressources et la prise de décision.

1.3.4 Ces solutions avaient leurs limites dans le fait qu’elles ne sont que partiellement mises en oeuvre, ainsi que dans l’absence de coordination aux niveaux national et international. Des développements dans des États contractants ont conduit à la publication de dispositions réglementaires et d’éléments indicatifs nationaux portant sur le thème de la formation en gestion des ressources dans le poste de pilotage. C’est une des nombreuses initiatives en matière de sécurité prises à l’échelon national pour s’atteler au besoin d’une réponse uniforme à propos de l’un des aspects identifiés des performances humaines dans le système aéronautique.

1.4 NOTIONS DE BASE RELATIVES AUX FACTEURS HUMAINS

1.4.1 Les paragraphes ci-après présentent un certain nombre de considérations générales relatives aux facteurs humains, résumant essentiellement la 1^{re} Partie du présent manuel; il est cependant préférable de lire celle-ci avant d’entreprendre la conception de cours.

Aperçu général

1.4.2 L’étude des facteurs humains s’intéresse à des personnes: des personnes dans leurs milieux de travail et de vie et leurs relations avec les équipements, les procédures et le milieu environnant. Sans oublier un aspect tout aussi important: leurs relations avec les autres personnes. Elle englobe toute la performance des êtres humains dans le système aéronautique et cherche à optimiser la performance humaine par l’application systématique des sciences humaines, souvent intégrées dans le cadre de l’ingénierie des systèmes. Son double objectif est la sécurité et l’efficacité. Le domaine des facteurs humains est essentiellement multidisciplinaire, incluant notamment: psychologie, ingénierie, physiologie, sociologie et anthropométrie (voir Tableau 1-2).

1.4.3 Ce champ d’étude en est arrivé à porter sur une grande diversité d’éléments du système aéronautique: comportement et performances de l’être humain; prise de décision et autres processus cognitifs; conception des commandes et des affichages; agencement du poste de pilotage et des cabines; communications et logiciels; plans, cartes aéronautiques et documents; perfectionnement des formations. Chacun de ces aspects exige des performances humaines compétentes et efficaces.

1.4.4 Sachant qu’à l’intérieur du domaine des facteurs humains l’accent est mis actuellement sur les sciences humaines, il ne faut pas oublier que la physiologie est une autre des nombreuses sources de connaissances en la matière. Ainsi,

Tableau 1-2. Disciplines intervenant fréquemment dans le domaine des facteurs humains*

<i>Discipline</i>	<i>Définition</i>	<i>Domaine d'intérêt spécifique</i>	<i>Domaine d'application type</i>
Psychologie	Étude scientifique des phénomènes de l'esprit et du comportement.	Caractéristiques sensorielles, lois de la perception, principes d'apprentissage, traitement de l'information, motivation, émotion, méthodes de recherche, réflexes psychomoteurs, erreurs humaines.	Caractéristiques et conception des systèmes d'affichage, conception des systèmes de commande, attribution des fonctions, caractéristiques du système de formation et méthodes employées, méthodes de sélection, effets du stress émotionnel et environnemental sur le comportement, besoins de stimulation.
Ingénierie	Application des propriétés de la matière et des sources d'énergie dans la nature pour les besoins de l'homme.	Hydraulique, mécanique, structures, aérodynamique, conception des systèmes électriques et électroniques, analyse des systèmes, simulation, optique.	Conception des systèmes d'affichage, des commandes, des circuits de commande, des systèmes complexes, des systèmes optiques, des simulateurs.
Physiologie humaine	Science qui traite des phénomènes caractéristiques des êtres vivants, plus particulièrement du fonctionnement sain ou normal des organes.	Structure et chimie de la cellule, structure et chimie des organes, interaction des différents constituants du corps visant à favoriser le fonctionnement sain des organes.	Systèmes environnementaux, diététique et nutrition, effets des facteurs environnementaux (chaleur, froid, hypoxie), établissement des besoins en la matière.
Médecine	Science et art de prévenir et de guérir les maladies et blessures, ou d'atténuer leurs effets.	Effets de différentes forces, du rayonnement, des agents chimiques et agents transmetteurs de maladies; méthodes de prévention appropriées pour la protection de la santé et du bien-être.	Toxicologie des émanations, des produits chimiques, protection à l'impact, prophylaxie.
Sociologie	Étude du développement, de la structure et des fonctions des groupes humains.	Équipes ou groupes, petits ou grands; composition de l'équipage; comportement des passagers dans les situations critiques.	Sélection de l'équipage, sécurité des passagers.
Anthropométrie	Étude des proportions du corps humain et de la force musculaire.	Anatomie, biodynamique, kinésimétrie.	Équipement de soutien au sol, dimensions des portes d'accès pour la maintenance, disposition des postes de travail (accessibilité, plage de réglage des sièges, etc.).

* *D'autres disciplines dont des représentants sont activement engagés dans des travaux relatifs aux facteurs humains sont notamment l'éducation, la physique, la biochimie, les mathématiques, la biologie, le design industriel et la recherche opérationnelle.*

l'anthropométrie et la biomécanique — faisant intervenir les mensurations et les mouvements du corps humain — interviennent dans la conception des lieux de travail et de leurs équipements, tandis que la biologie et la chronobiologie, une de ses spécialités, sont nécessaires pour comprendre les rythmes physiologiques qui influent sur la performance humaine.

1.4.5 Même si elle fait appel à diverses sources de connaissances scientifiques, l'étude des facteurs humains en aviation est essentiellement axée sur la solution de problèmes pratiques de la vie réelle. On peut dire qu'elle a le même type de rapports avec les sciences humaines que ceux de l'ingénierie avec les sciences physiques. Tout comme la technologie relie les sciences physiques à une multitude d'applications d'ingénierie, un nombre croissant de techniques et de méthodes intégrées enrichissent le domaine des facteurs humains; ces techniques diverses et en plein développement peuvent être

appliquées à des problèmes aussi différents que les enquêtes sur les accidents ou l'optimisation de la formation des pilotes.

Accidents et incidents

1.4.6 L'erreur humaine constitue de loin le facteur contribuant le plus répandu d'accidents et d'incidents dans les systèmes techniques complexes tels que le système de transport aérien. Une grande base de données sur des accidents survenus à des avions à réaction de transport dans le monde entier indique que 65 % de l'ensemble de ces accidents ont été attribués à une erreur de l'équipage de conduite. La même source indique que pour les phases d'approche et d'atterrissage, qui représentent 4 % du temps de vol total et pendant lesquelles se produisent 49 % de tous les accidents, des erreurs des navigateurs sont mentionnées comme facteur causal dans 80 % des

cas. D'autres sources d'erreur humaine, notamment la maintenance, la régulation des vols et surtout le contrôle de la circulation aérienne interviennent aussi dans une importante proportion des accidents. Vers la fin du XX^e siècle, l'étude de l'erreur humaine a été élargie pour inclure l'influence qu'exerce sur la sécurité de l'aviation la performance des dirigeants de haut niveau.

1.4.7 Il ne faut pas oublier que les accidents impliquant des avions de transport à réaction ne sont que la partie émergée de l'iceberg; chaque année, de nombreuses pertes sont enregistrées rien que dans l'aviation générale. Des études ont montré que la performance humaine était un facteur contribuant dans près de 90 % de ces accidents, ce qui montre clairement que c'est le problème crucial et persistant auquel doivent faire face les responsables de la conception, de l'exploitation et de la supervision du système aéronautique. Il est donc essentiel de résoudre ces problèmes persistants de facteurs humains.

1.4.8 Il est de la plus haute importance que tous les responsables de l'exploitation et de l'administration du système aéronautique admettent que, si résolu que puissent être les efforts déployés pour la prévenir, l'erreur humaine aura toujours des incidences sur ce système. Nul être humain, qu'il ou elle soit concepteur, ingénieur, gestionnaire, contrôleur ou pilote, ne peut fonctionner toujours parfaitement. De plus, une performance jugée parfaite dans certaines circonstances peut être inacceptable dans d'autres. Il faut donc voir les êtres humains tels qu'ils sont réellement; il est vain de souhaiter qu'ils soient intrinsèquement «meilleurs» ou «différents», sauf à pouvoir appuyer ce vœu par la recommandation d'une mesure corrective concrète, elle-même renforcée par des moyens permettant d'améliorer la conception, l'instruction, l'éducation, l'expérience, la motivation, etc., dans le but d'influencer positivement les aspects pertinents de la performance humaine.

1.4.9 Le Manuel de l'OACI sur les facteurs humains est destiné à être une source à la fois d'information et de mesures pratiques, à utiliser pour s'efforcer d'améliorer l'éducation, la formation et les mesures correctives dans le domaine des facteurs humains. Le bref exposé qui précède a établi le cadre d'un examen plus détaillé de ces facteurs.

1.5 LE MODÈLE SHEL

1.5.1 On ne saurait, par la simple description des éléments d'un système opérationnel, appréhender l'essence des divers processus et interactions qui le caractérisent. Un des objectifs de la 1^{re} Partie du présent manuel est d'identifier les questions nombreuses et variées qui relèvent des facteurs humains afin d'en décrire les diverses incidences en exploitation. Il fallait aussi trouver une façon de décrire les processus de contrôle, d'échange d'information et autres qui interviennent dans la pratique. C'est dans ce but que l'OACI a introduit le modèle «SHEL» (voir Figure 1-1).

1.5.2 Le modèle SHEL fournit un cadre conceptuel qui aide à comprendre la notion de facteurs humains. Il illustre les différents éléments et interfaces — ou points d'interaction — qui constituent ce sujet. Les éléments qui interviennent peuvent être classés en quatre catégories conceptuelles de base:

Software (S): documents, procédures, symboles, etc. [«documentation» ou «aides»]

Hardware (H): matériel, machines, équipement, etc.

Environment (E): environnement intérieur et extérieur du poste de travail

Liveware (L): élément humain.

Les interactions entre les humains et les autres éléments du modèle SHEL sont au coeur de l'étude des facteurs humains, qui s'intéresse aux interfaces entre:

- l'être humain et les machines — «humain-matériel» (L-H)
- l'être humain et les aides — «humain-documentation» (L-S)
- l'être humain et ses collègues — «humain-humain» (L-L)
- l'être humain et le milieu environnant — «humain-environnement» (L-E).

Le modèle SHEL est l'ossature autour de laquelle les programmes présentés en 1.7 ont été conçus et rédigés. Les avantages de ce modèle pour l'orientation de l'instruction sur les facteurs humains devraient apparaître clairement à l'usage.

1.6 INCIDENCES DES DISPOSITIONS DE L'ANNEXE 1 ET DE L'ANNEXE 6, 1^{re} PARTIE

1.6.1 Les spécifications de l'OACI relatives à la délivrance des licences/l'instruction sur les facteurs humains poseront peut-être certains problèmes aux établissements d'enseignement, compagnies aériennes, prestataires d'ATS et organismes responsables de la délivrance des licences. Dans le cas de la formation technique des personnels d'exploitation, par exemple, il existe depuis longtemps déjà un large consensus international quant aux exigences, méthodes et objectifs de formation, ainsi qu'au contenu des cours; il existe des éléments d'orientation, des programmes de cours peuvent être facilement élaborés et les méthodes d'instruction sont bien établies. Toutefois, un consensus analogue n'est apparu que plus récemment à propos de l'orientation à donner à l'instruction sur les facteurs humains en aviation.

1.6.2 Il y a différents points de vue sur cette question. Pour de nombreux États, un problème central est la différence

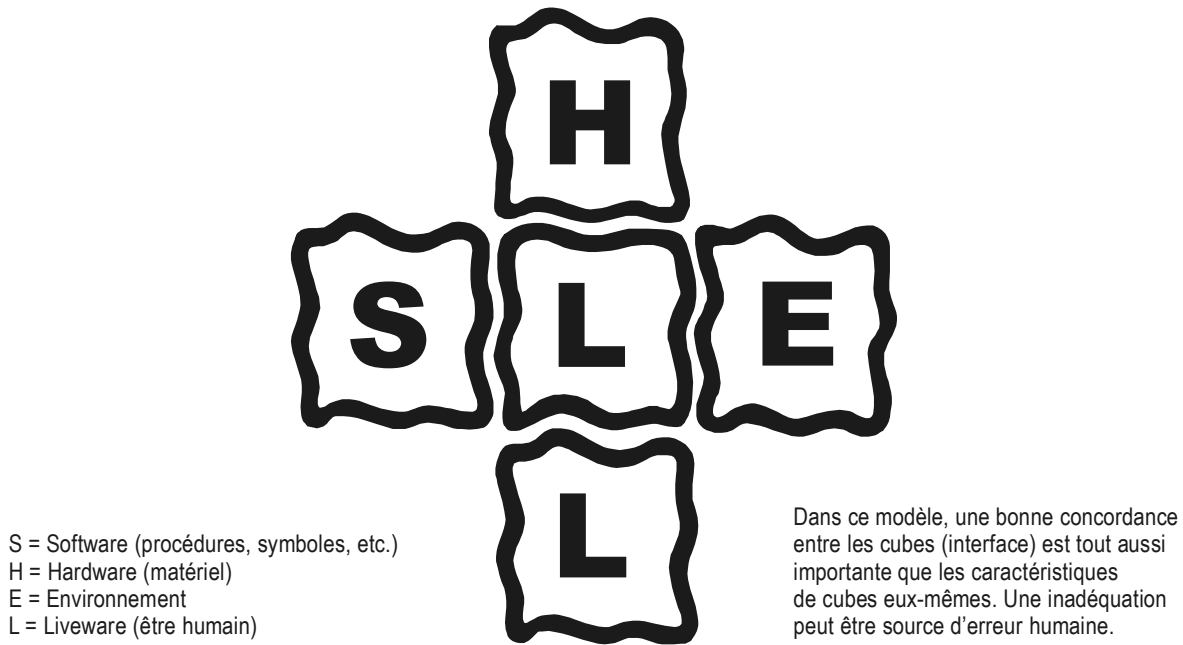


Figure 1-1. Le modèle SHEL

des pratiques internationales pour ce qui est de l'application à cette formation des connaissances de la physiologie, de l'ergonomie et des sciences sociales et comportementales. D'autres différences ont trait à l'importance relative qui est accordée à l'acquisition des connaissances et des habiletés. Les points de vue sur les stratégies et le contenu de l'instruction peuvent être fortement influencés par des pratiques culturelles et sociales différentes.

1.6.3 Si les règles de l'OACI servent à promouvoir l'application de normes et pratiques recommandées internationales communes, certaines différences entre États persistent cependant dans l'application pratique des diverses spécifications OACI. C'est ainsi que, dans certains États, les règles relatives à la formation des pilotes et à la délivrance des licences s'appliquent surtout aux titulaires de licences eux-mêmes, alors que dans d'autres États le respect des normes est assuré principalement par l'intermédiaire de la compagnie aérienne exploitante. Les premiers tendent à porter beaucoup d'attention à la formation des pilotes et à la vérification de leurs compétences individuelles, tandis que les autres s'attachent davantage aux pratiques et aux procédures des exploitants.

1.6.4 À ces perspectives sont associées différentes approches des problèmes de la sécurité aérienne. Certains spécialistes sont favorables à l'adoption d'une approche large, à l'échelle du système aéronautique, pour l'analyse et les mesures correctives; d'autres préfèrent axer l'attention sur des aspects particuliers qui posent problème. Certaines autorités considèrent que les mesures se situant au niveau de la conception des aéronefs et des procédures sont les plus efficaces, jugeant inopportunes celles qui viseraient le personnel d'exploitation pris individuellement. D'autres considèrent que

l'encadrement est un véhicule approprié de changement en aviation. Il y a donc des écarts considérables entre exploitants dans l'importance accordée aux aspects opérationnels des facteurs humains.

1.6.5 Dans de nombreux pays s'ajoutent des problèmes provenant d'un manque de ressources humaines possédant la formation appropriée, en particulier spécialistes, gestionnaires et législateurs (voir aussi 1.12.5 en ce qui concerne la sélection et la formation des instructeurs). Par ailleurs, certaines administrations nationales ont adopté une démarche proactive dans leurs activités normatives, d'autres moins.

1.6.6 Malgré ces sources possibles de difficultés, étant donné qu'il faut donner suite aux dispositions de l'OACI sur les connaissances et habiletés du personnel d'exploitation en matière de performances humaines, la communauté aéronautique doit aller de l'avant dans ce domaine. Il reste sans aucun doute des décisions importantes qui sont difficiles à prendre, mais la conception de cours appropriés est devenue un besoin reconnu.

1.7 PROGRAMMES D'INSTRUCTION SUR LES PERFORMANCES HUMAINES: PROPOSITION DE L'OACI

Généralités

La présente section identifie les domaines de connaissances spécifiques à inclure dans la conception des programmes

d’instruction sur les performances humaines. L’Annexe 1 stipule que le titulaire d’une licence doit faire la preuve qu’il possède des connaissances sur les performances humaines correspondant au type et au niveau de sa licence (PPL, CPL, ATPL, contrôleur de la circulation aérienne, mécanicien d’entretien, etc.). Pour se conformer à cette exigence, il faut donc concevoir des programmes spécifiques pour chaque type et chaque niveau de licence. Aux fins du présent document, cependant, et pour ne pas donner à cette proposition un caractère trop contraignant, un seul programme de base est suggéré pour les pilotes, les ajustements appropriés pouvant y être apportés en fonction des différents niveaux de licence. Un programme est également proposé pour les contrôleurs de la circulation aérienne.

1.8 PROGRAMME D’INSTRUCTION SUR LES PERFORMANCES HUMAINES POUR LES PILOTES

Connaissances requises

1.8.1 Le programme général ci-dessous répond aux exigences de formation s’appliquant au titulaire d’une licence de pilote de ligne (ATPL); moyennant des modifications mineures, il peut facilement être rendu applicable aux cas du titulaire d’une licence de pilote professionnel (CPL), de qualifications d’instructeur ou de vol aux instruments ou encore d’une licence de pilote privé (PPL).

1.8.2 D’après une enquête menée dans le milieu aéronautique, il faut environ 35 heures pour dispenser de façon satisfaisante une instruction sur les performances humaines correspondant au programme suggéré. On estime que le programme exige au minimum 20 heures. Pour donner une idée de l’importance relative de chaque matière, le pourcentage du temps total à réserver à chaque sujet est indiqué.

Module	Titre	Durée
1	Introduction aux facteurs humains en aviation	5 % (1,75 heure)
2	L’élément humain (physiologie aéronautique)	10 % (3,5 heures)
3	L’élément humain (psychologie aéronautique)	10 % (3,5 heures)
4	Humain-matériel: relations pilote-équipement	15 % (4,75 heures)
5	Humain-documentation: relations pilote-documents	10 % (3,5 heures)
6	Humain-humain: relations interpersonnelles	20 % (7,0 heures)
7	Humain-environnement: l’environnement organisationnel	30 % (10,5 heures)
Total:		35 heures

1.8.3 Quel que soit le nombre total d’heures consacrées à un programme donné, une introduction équilibrée à l’instruction sur les performances humaines devrait être assurée si ces pourcentages relatifs sont respectés. Sur la base de ces orientations générales, tout spécialiste des facteurs humains en aviation s’occupant de conception de cours devrait pouvoir donner des conseils portant sur le contenu approprié. Le cadre proposé ci-dessous ne se veut donc pas exhaustif, mais il orientera le spécialiste dans la conception de cours satisfaisants.

Module 1: Introduction aux facteurs humains en aviation

Ce module devrait expliquer ce qui justifie l’instruction sur les facteurs humains. Un bon point de départ est le graphique de Boeing (Figure 1-2) qui montre le taux d’accidents d’avions commerciaux à réaction par million de départs de 1959 à 2002; les taux d’accidents y sont aussi projetés en fonction des taux de croissance attendus dans l’aviation jusqu’à 2021.

L’introduction doit être soigneusement préparée de façon à capter l’intérêt des pilotes. Il est souhaitable que les cours dispensés en vue d’un examen ou d’un test exigé par l’Annexe 1 révisée soient toujours pertinents par rapport aux aspects opérationnels du vol. Une orientation pratique est donc essentielle pour que l’instruction soit efficace. Il faut que la pertinence du programme apparaisse clairement aux pilotes: il ne s’agit pas de notions théoriques. C’est pourquoi il convient d’inclure uniquement des informations qui ont rapport avec la performance des pilotes. Les instructeurs devraient présenter ces informations en fonction des besoins opérationnels particuliers de ces derniers; ils pourront prendre en compte, s’ils le souhaitent, certains aspects de leur expérience locale concernant des accidents et incidents.

Le modèle SHELL pourrait être utilement présenté dans ce module comme une des aides possibles à la compréhension des rapports réciproques entre les différents éléments du système, ainsi que des risques de conflits et d’erreurs que peuvent entraîner les divers cas d’inadéquation entre ces éléments qui peuvent se produire dans la pratique.

Un second modèle qui pourrait aussi être jugé utile pour cette introduction est le modèle de Reason (voir la 1^{re} Partie, Chapitre 4 ou Chapitre 2), pour l’analyse des défaillances dans les systèmes socio-technologiques complexes.

Module 2: L’élément humain (physiologie aéronautique)

Respiration; savoir reconnaître:

- l’hypoxie
- l’hyperventilation, et y réagir

Effets de la pression; effets sur les oreilles, les sinus et les cavités fermées:

- des gaz produits ou emprisonnés
- de la décompression
- de la plongée sous-marine

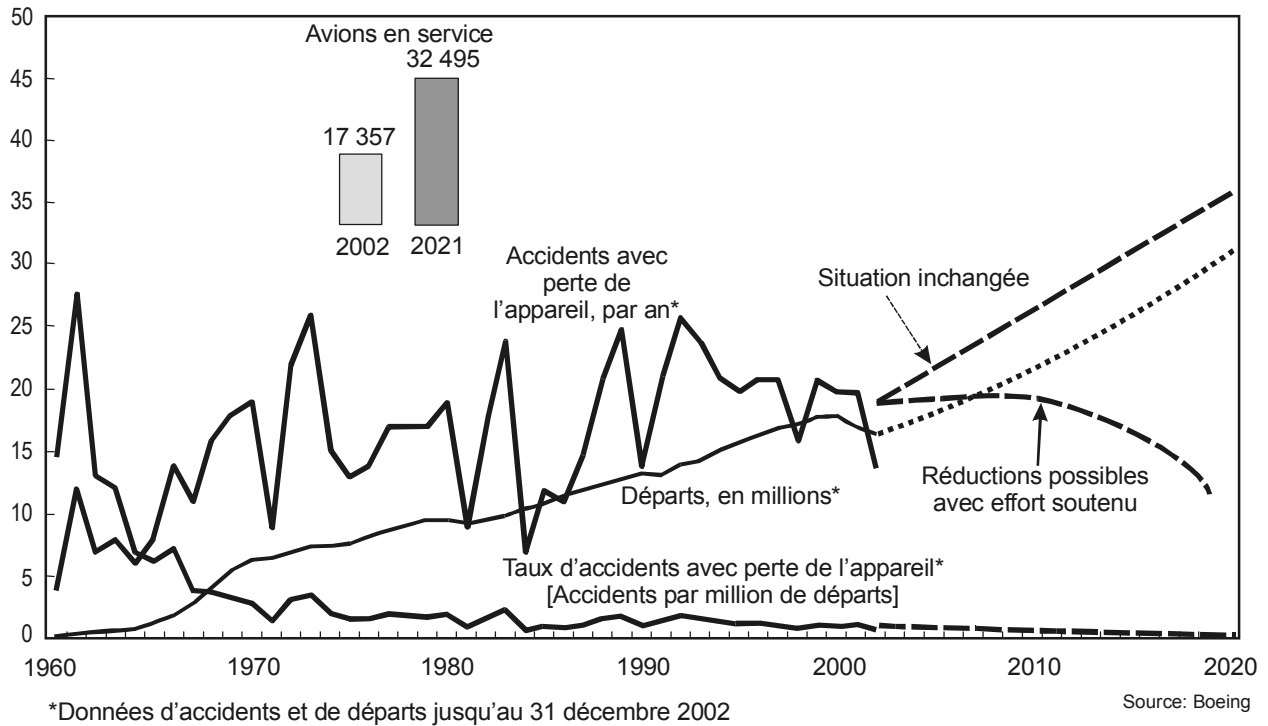


Figure 1-2. Taux d'accidents d'avions commerciaux à réaction par million de départs

Limites des sens:

- vue
- ouïe
- équilibre
- sensibilité proprioceptive
- toucher

- des drogues (y compris nicotine et caféine)
- des médicaments (sur ordonnance ou en vente libre)
- des dons de sang
- du vieillissement

Aptitude psychologique/gestion du stress

Effets de l'accélération; G positif et négatif:

- conditions aggravantes

Grossesse

Désorientation:

- illusions visuelles
- illusions vestibulaires
- mécanismes de compensation

Module 3: L'élément humain (psychologie aéronautique)

Erreur et fiabilité humaines

Fatigue et vigilance:

- fatigue extrême
- fatigue chronique
- effets de la fatigue sur les habiletés et les performances

Charge de travail (attention et traitement de l'information):

- perceptuelle
- cognitive

Perturbations du sommeil et déficit de sommeil

Traitement de l'information:

- cadre mental et habitudes ancrées
- attention et vigilance
- limites de la perception
- mémoire

Dysrythmie circadienne et décalage horaire

Facteurs liés aux attitudes:

- personnalité
- motivation
- ennui et relâchement de la vigilance
- culture

Santé

Effets:

- du régime alimentaire/de la nutrition
- de l'alcool

Acuité de la perception et conscience de la situation

Jugement et prise de décision

Stress:

- symptômes et effets
- mécanismes de réponse

Habilités/expérience/actualisation des connaissances par opposition à la compétence

Module 4: Humain-matériel: relations pilote-équipement

Commandes et affichages:

- conception (mouvement, dimensions, échelle, couleurs, éclairage, etc.)
- erreurs fréquentes d'interprétation et d'actionnement
- poste de pilotage à écrans cathodiques; sélection de l'information
- interférence d'habitudes ancrées/uniformisation de la conception

Systèmes d'alarme et d'avertissement:

- sélection et réglage appropriés
- indications erronées
- distractions et réaction

Confort:

- température, éclairage, etc.
- réglage de la position du siège et des commandes

Visibilité dans le poste de pilotage et position de référence des yeux

Charge de travail moteur

Module 5: Humain-documentation: relations pilote-documents

Procédures d'utilisation normalisées:

- raison d'être
- avantages
- lien avec les limites humaines et avec des accidents et incidents passés

Documents écrits:

- erreurs d'interprétation et d'utilisation de plans et de cartes aéronautiques
- principes de conception et usage correct des listes de vérification et des manuels
- quatre P

Aspects opérationnels de l'automatisation:

- surcharge/charge insuffisante de travail et phases du vol; relâchement de la vigilance et ennui
- maintien «dans la boucle»/conscience de la situation
- équipement de vol automatisé; usage approprié, répartition efficace des tâches, maintien des compétences de pilotage de base

Module 6: Humain-humain: relations interpersonnelles

Note.— Ce module a trait aux contacts interpersonnels actuels (ici et maintenant), par opposition à ceux dans lesquels interviennent des personnes extérieures à la situation d'exploitation immédiate (il sera question de ces derniers dans le Module 7).

Facteurs influant sur la communication verbale et non verbale, entre et avec:

- les membres de l'équipage de conduite
- le personnel de cabine
- le personnel de maintenance
- la direction de la compagnie/le contrôle technique d'exploitation
- les services de la circulation aérienne
- les passagers

Incidences de la communication verbale et non verbale sur la transmission des informations et par conséquent sur la sécurité et l'efficacité des vols

Solution des problèmes et prise de décision par l'équipage

Introduction à la dynamique des petits groupes et à la gestion en équipe (voir également le Chapitre 2 pour complément d'information sur cette question).

Module 7: Humain-environnement: l'environnement organisationnel

- Vision systémique de la sécurité
- Le système aéronautique: ses éléments
- Modèles généraux de sécurité des organisations
- Structure et sécurité des organisations
- Culture et sécurité
- Procédures et sécurité
- Organisations sûres ou non

1.9 HABILITÉS REQUISES

1.9.1 Dans l'instruction sur la performance humaine, il convient d'insister d'abord sur la connaissance et la compréhension des facteurs humains fondamentaux, mais les instructeurs devront aussi avoir à l'esprit la nécessité de développer le comportement et les habiletés appropriés pour l'exploitation. Autrement dit, il faut que les pilotes, pour mettre à profit ces connaissances, acquièrent les habiletés et les attitudes nécessaires pour améliorer au maximum leur performance opérationnelle. Par exemple, avec des connaissances appropriées en physiologie, un pilote doit pouvoir déceler un état d'inaptitude qui serait susceptible d'avoir des conséquences dangereuses et indésirables et choisir de s'abstenir de piloter, exerçant ainsi ce qu'on peut considérer comme une habileté de jugement. Bien entendu, il faut toujours accorder la plus haute priorité possible aux activités de formation axées sur le développement d'attitudes et d'habiletés utiles.

1.9.2 Une liste de domaines d'habiletés relatives aux facteurs humains établie à partir du modèle SHEL est présentée ci-après (certaines habiletés devant figurer à plus d'une interface). Ces éléments indicatifs pourront être utiles aux instructeurs pour identifier les habiletés nécessaires en rapport avec les facteurs humains; ils devraient aider à faire le lien entre les notions écrites et leur application pratique. L'instruction pourra comporter des développements dans les domaines suivants:

Humain-humain (L-L, *Liveware-Liveware*):

- Habiletés de communication
- Habiletés d'écoute
- Habiletés d'observation
- Habiletés de gestion opérationnelle; leadership et suivisme
- Résolution de problèmes
- Prise de décision

Humain-matériel (L-H, *Liveware-Hardware*):

- Balayage visuel
- Détection
- Prise de décision
- Adaptation au poste de pilotage
- Interprétation des instruments/conscience de la situation
- Dextérité manuelle
- Choix de procédures de rechange
- Réaction aux défaillances/pannes/anomalies
- Avertissements d'urgence
- Charge de travail physique, répartition des tâches
- Vigilance

Humain-environnement (L-E, *Liveware-Environment*):

- Adaptation
- Observation
- Conscience de la situation
- Gestion du stress
- Gestion des risques
- Établissement de priorités et gestion de l'attention
- Sang-froid, maîtrise des émotions
- Prise de décision

Humain-documentation (L-S, *Liveware-Software*):

- Connaissances en informatique
- Autodiscipline et comportement face aux procédures
- Interprétation
- Gestion du temps
- Automotivation
- Répartition des tâches

Le programme que propose l'OACI comprend une interface qui n'est pas considérée comme telle dans le modèle SHEL, à savoir l'élément humain. Les habiletés en matière de facteurs humains dont il s'agit là sont notamment celles qui touchent à l'état psychologique et au bien-être du personnel d'exploitation lui-même (à ne pas confondre avec l'interface «humain-humain», où il s'agit de contacts interpersonnels):

L'élément humain:

- Désorientation (systèmes moteurs) et stress: savoir les reconnaître et y réagir

- Fatigue
- Effets de la pression
- Autodiscipline, maîtrise de soi
- Perception
- Attitudes, application des connaissances et exercice du jugement

1.9.3 Comme il ressort clairement de ce qui précède, l'acquisition d'habiletés pour une application pratique en vol est une évolution importante, avec le passage de la connaissance théorique des facteurs humains au milieu réel de l'exploitation. Le présent chapitre est forcément axé surtout sur les exigences de connaissances pures, mais il importe de rappeler que, chaque fois que c'est possible, il y a lieu d'intégrer à tous les aspects pertinents des activités d'instruction des considérations pratiques relatives aux facteurs humains. Ce principe s'applique à toutes les étapes de la formation des pilotes et des instructeurs. L'instruction visant à l'acquisition d'habiletés en rapport avec les facteurs humains est l'activité dont on attend les meilleurs résultats dans l'avenir.

Lecture recommandée:

Audit de sécurité en service de ligne (LOSA) (OACI, Doc 9803) et *Éléments d'orientation sur les facteurs humains dans les audits de sécurité* (OACI, Doc 9806).

1.10 PROGRAMME D'INSTRUCTION SUR LES PERFORMANCES HUMAINES POUR LES CONTRÔLEURS DE LA CIRCULATION AÉRIENNE

Généralités

1.10.1 Cette section identifie les domaines de connaissances spécifiques à inclure dans la conception des programmes d'instruction sur les performances humaines à l'intention des contrôleurs de la circulation aérienne. L'Annexe 1 stipule que le titulaire d'une licence doit faire la preuve qu'il possède des connaissances sur les performances humaines «applicables au contrôle de la circulation aérienne». Elle n'établit pas de différenciation dans le niveau de connaissances requises pour les différentes qualifications ATC, mais on pourrait soutenir que le programme pour un contrôleur régional aux procédures ne devrait probablement pas contenir tous les éléments du programme prévu pour un contrôleur d'approche radar, et vice versa.

1.10.2 Comme pour les différents niveaux de licences de pilote, des programmes spécifiques devraient être conçus pour chacune des qualifications ATC. Aux fins de la présente section, cependant, et pour ne pas donner à la proposition un caractère trop contraignant, un seul programme de base est suggéré, les ajustements appropriés pouvant y être apportés en fonction des différents niveaux de licence/qualification.

Connaissances requises

1.10.3 D'après une enquête menée dans le milieu aéronautique, il faut environ 35 heures pour dispenser de façon satisfaisante une instruction sur les performances humaines correspondant au programme suggéré. On estime que le programme exige au minimum 20 heures. Pour donner une idée de l'importance relative de chaque matière, le pourcentage du temps total à réserver à chaque sujet est indiqué.

Module	Titre	Durée
1	Introduction aux facteurs humains en aviation	5 % (1,75 heure)
2	L'élément humain (physiologie aéronautique)	10 % (3,5 heures)
3	L'élément humain (psychologie aéronautique)	10 % (3,5 heures)
4	Humain-matériel: relations contrôleur-équipement	15 % (4,75 heures)
5	Humain-documentation: relations contrôleur-documents	10 % (3,5 heures)
6	Humain-humain: relations interpersonnelles	20 % (7,0 heures)
7	Humain-environnement: l'environnement organisationnel	30 % (10,5 heures)
Total:		35 heures

1.10.4 Quel que soit le nombre total d'heures consacrées à un programme donné, une introduction équilibrée à l'instruction sur les performances humaines devrait être assurée si ces pourcentages relatifs sont respectés. Sur la base de ces orientations générales, tout spécialiste des facteurs humains en aviation s'occupant de conception de cours devrait pouvoir donner des conseils en ce qui concerne le contenu approprié. Le cadre proposé ci-dessous ne se veut donc pas exhaustif, mais il orientera le spécialiste dans la conception de cours satisfaisants.

1.10.5 Il importe de noter que ce schéma est conçu pour une formation *ab initio*. Pour l'instruction de personnel ATC déjà qualifié, il faudra concevoir un programme différent, qui tienne compte du niveau d'expérience opérationnelle du groupe ciblé. Les deux genres de programmes devraient inclure des éléments de formation en gestion des ressources en équipe (TRM) et en gestion des menaces et des erreurs (TEM).

Note.— La TRM et la TEM sont analysées dans le Chapitre 5 de la 1^{re} Partie du présent manuel.

Module 1: Introduction aux facteurs humains en aviation

Ce module devrait expliquer ce qui justifie l'instruction sur les performances humaines. Un bon point de départ est le graphique de Boeing (Figure 1-2) montrant l'évolution du taux

d'accidents d'avions à réaction commerciaux par million de départs de 1959 à 2002, avec une projection des taux d'accidents récents sur les chiffres de croissance prévue de l'aviation jusqu'à 2021 (voir 1.8.3).

Dans l'étape suivante, le modèle SHELL pourrait être utilement présenté dans ce module comme une des aides possibles à la compréhension des rapports réciproques entre les différents éléments du système, ainsi que des risques de conflits et d'erreurs que peuvent entraîner les divers cas d'inadéquation entre ces éléments qui peuvent survenir dans la pratique. Ce modèle aide à répondre à la question: «Qu'est-ce que les facteurs humains?»

Il a été trouvé très éclairant de donner des exemples *locaux* des quatre types possibles d'interactions en présentant le modèle SHELL aux contrôleurs de la circulation aérienne.

Un second modèle qui pourrait aussi être jugé utile pour cette introduction est le modèle de Reason, pour l'analyse des défaillances dans les systèmes socio-technologiques complexes.

L'introduction doit être soigneusement préparée de façon à capter l'intérêt des contrôleurs. Il est souhaitable que les cours dispensés en vue d'un examen ou d'un test exigé par l'Annexe 1 soient toujours pertinents par rapport aux aspects opérationnels du contrôle de la circulation aérienne. Une orientation pratique est donc essentielle pour que l'instruction soit efficace. Il faut que la pertinence du programme apparaisse clairement aux contrôleurs: *il ne s'agit pas de notions théoriques*. C'est pourquoi il convient d'inclure seulement des informations en rapport avec les performances des contrôleurs. Les instructeurs devraient présenter ces informations en fonction des besoins opérationnels particuliers de ces derniers; ils sont encouragés à prendre en compte certains aspects de leur propre expérience locale concernant des accidents et incidents.

Module 2: L'élément humain (physiologie aéronautique)

Ce module peut être divisé en deux sections. La première porterait sur les aspects physiologiques qui affectent les pilotes et peuvent donc aussi affecter les interactions entre pilote et contrôleur; la seconde traiterait des aspects physiologiques du travail par quarts.

Première partie: pilotes (voir 1.8.3)

- Hypoxie
- Effets de la pression
- Limites des sens
- Effets de l'accélération (G positif et négatif).
(*N.B. Ceci pourrait être particulièrement pertinent pour les contrôleurs qui prennent en charge une circulation militaire.*)
- Désorientation
- Fatigue/vigilance
- Perturbations du sommeil et déficit de sommeil
- Disrythmie circadienne/décalage horaire

Deuxième partie: contrôleurs de la circulation aérienne

Fatigue/vigilance:

- Perturbations du sommeil et déficits de sommeil
- Disrythmie circadienne
- Torpeur du quart de nuit
- Prise en charge de pointes de trafic à la fin d'un long quart/utilisation des pauses de repos
- Aspects sociaux du travail par quarts

Module 3: L'élément humain (psychologie aéronautique)

Erreur et fiabilité humaines:

Charge de travail (attention et traitement de l'information):

- perceptuelle
- cognitive

Lecture recommandée:

1^{re} Partie, Chapitre 4, et *Managing the risks of organisational accidents*, J. Reason (ISBN 184014-105-0).

Traitement de l'information:

- cadre mental et habitudes ancrées
- attention et vigilance
- limites de la perception
- mémoire

Facteurs liés aux attitudes:

- personnalité
- motivation
- satisfaction dans l'emploi
- ennui et relâchement de la vigilance
- culture
- individu par opposition à équipe

Lecture recommandée:

1^{re} Partie, Chapitre 4, *Effects of mental attitudes on the job performance of controllers and supervisors*, G.C. Kinney, FAA Aeronautical Decision Making project. Pré-1991. et *Cultures and Organisations*, G. Hofstede (ISBN 0-07-707474-2).

Acuité de la perception et conscience de la situation

Jugement et prise de décision

Stress:

- causes possibles
- symptômes et effets
- mécanismes de réponse

Habilités/expérience/actualisation des connaissances par opposition à la compétence:

- possibilité de perte de qualification après une certaine période d'inactivité

Santé

Effets:

- du régime alimentaire/de la nutrition
- de l'alcool
- des drogues (y compris nicotine et caféine)
- des médicaments (sur ordonnance ou en vente libre)

— des dons de sang

— du vieillissement/burn-out

Aptitude psychologique/gestion du stress

- gestion du stress causé par un incident critique (CISM, *Critical Incident Stress Management*)

Note.— Beaucoup de travail a été effectué au Canada sur la conception d'un programme CISM pour l'ATC, et aussi par Eurocontrol (Réf. EATCHIP Human Factors Module «Critical Incident Stress Management» (HUM.ETI.ST13.3000-REP-01).

Grossesse

Cessation de service dans le contrôle de la circulation aérienne opérationnel.

Module 4: Humain-matériel: relations contrôleur-équipement

Affichages:

- fiches de progression de vol
- écrans de visualisation
- emploi de couleurs
- radar/ADS

Systèmes d'alarme et d'avertissement (embarqués/au sol)

- (Exemples: GPWS, TCAS [embarqué], STCA [au sol]):
- indications erronées (alarmes intempestives)
 - distractions et réaction

Confort personnel:

- température, éclairage, humidité, etc.
- réglage de la position du siège
- bruit
- emploi du casque par opposition au micro

Conception de la console

- hauteur/angle (conception ergométrique)
- couleur
- position de référence des yeux

Lecture recommandée:

1^{re} Partie, Chapitre 4.

Module 5: Relations contrôleur-documents

Procédures d'utilisation normalisées:

- raison d'être
- avantages
- lien avec les limites humaines et avec les accidents et incidents passés

Documents écrits:

- erreurs d'interprétation et d'utilisation de plans et de cartes aéronautiques
- principes de conception et usage correct des listes de vérification et manuels

Aspects opérationnels de l'automatisation:

- surcharge/charge insuffisante de travail; relâchement de la vigilance et ennui
- maintien «dans la boucle»/conscience de la situation
- équipement ATC automatisé; usage approprié; maintien des habiletés de contrôle «manuel»; conséquences sur la dotation en personnel.

Module 6: Humain-humain: relations interpersonnelles

Note.— Ce module a trait aux contacts interpersonnels actuels (ici et maintenant), par opposition à ceux dans lesquels interviennent des personnes extérieures à la situation d'exploitation immédiate (il sera question de ces derniers dans le Module 7).

Facteurs influant sur la communication verbale et non verbale, entre et avec:

- les autres contrôleurs de la circulation aérienne de l'équipe (du quart) ou de la salle des opérations
- les partenaires de la coordination (autres organes ATC)
- les pilotes (radiotéléphonie)
- le personnel de maintenance
- les cadres/dirigeants
- formateur/stagiaire — Formation en cours d'emploi

Incidence de la communication verbale et non verbale sur le transfert de l'information et par conséquent sur la sécurité et l'efficacité des vols

Insistance particulière sur les problèmes qui se posent avec les locuteurs anglophones et non anglophones (en radiotéléphonie et dans la coordination entre organes ATC)

Différences culturelles:

- des équipages d'exploitants étrangers peuvent avoir des attentes différentes ou être formés pour réagir autrement que l'ATC ne s'y attendrait dans certains cas. Une étude de cas sur l'écrasement d'un avion d'Avianca survenu à New York en 1990 en donne un exemple. (Robert Helmreich, «Anatomy of a system accident: Avianca Flight 052»; *The International Journal of Aviation Psychology*, 4 (3), 265-284.)

Lecture recommandée:

Cultures and Organisations, G. Hofstede (ISBN 0-07-707474-2).

Avantages et inconvénients des communications par liaison de données:

- perte de l'élément non-verbal de la R/T;
- erreurs de saisie vs erreurs de relecture/réécoute
- effet de ligne partagée

Résolution de problème et prise de décision en équipe

- principes de la gestion des ressources en équipe (TRM)
- principes de la gestion des menaces et des erreurs (TEM)
- application des techniques TRM et TEM dans l'ATC

Note.— La TRM et la TEM sont analysées dans le Chapitre 5 de la 1^{re} Partie du présent manuel.

Module 7: Humain-environnement: l'environnement organisationnel

- Vision systémique de la sécurité
- Le système aéronautique: ses éléments
- Modèles généraux de sécurité des organisations
- Structure et sécurité des organisations
- Gestion de la sécurité dans l'ATM
- Culture et sécurité
- Procédures et sécurité
- Organisations sûres ou non

Lectures recommandées:

Lignes directrices sur les facteurs humains et les systèmes de gestion du trafic aérien (ATM) (OACI, Doc 9758), *Éléments d'orientation sur les facteurs humains dans les audits de sécurité* (OACI, Doc 9806) et *Manuel sur la gestion de la sécurité* (OACI, en préparation).

1.11 INSTRUCTION SUR LES PERFORMANCES HUMAINES POUR LES TECHNICIENS DE MAINTENANCE

Ouvrages de référence recommandés:

Lignes directrices sur les facteurs humains dans la maintenance aéronautique (OACI, Doc 9824) et *Éléments d'orientation sur les facteurs humains dans les audits de sécurité* (OACI, Doc 9806).

1.12 CONSIDÉRATIONS RELATIVES À LA MISE EN OEUVRE DE L'INSTRUCTION ET À LA CONCEPTION DES PROGRAMMES

Vue d'ensemble

1.12.1 En vue d'aider les responsables à prendre des décisions sur la conception des cours et à planifier la mise en oeuvre de l'instruction, les éléments essentiels des tâches d'instruction et d'éducation sur les performances humaines sont identifiés dans les paragraphes qui suivent. On a cherché à répondre au plus large spectre de besoins, qu'il s'agisse de ceux d'instructeurs isolés ou de grands établissements d'enseignement, en évitant donc de spécifier de façon trop restrictive la manière dont les cours pourront être dispensés dans la pratique.

Détermination de l'auditoire cible

1.12.2 Le programme, les objectifs de formation et l'intensité de l'effort varieront selon les catégories de

personnel aéronautique. Il est évident que tous les personnels n'ont pas besoin des mêmes connaissances et habiletés.

1.12.3 Comme l'initiative de l'OACI a pour cible les personnels d'exploitation, il importera de différencier les besoins spécifiques des différentes catégories que vise l'Annexe 1 (pilote privé, pilote professionnel, pilote de ligne, contrôleur, mécanicien d'entretien). Lors de la conception de programmes d'instruction s'adressant aux pilotes, par exemple, les catégories à envisager seront: pilotes recevant une formation *ab initio*, pilotes d'aviation générale, pilotes professionnels, pilotes de ligne, pilotes chargés de gestion et d'encadrement et pilotes-instructeurs. Il faudra aussi que les États ou les organismes conçoivent des formations à l'intention d'autres catégories de personnel d'exploitation comme le personnel de maintenance des aéronefs, les contrôleurs de la circulation aérienne et les agents techniques d'exploitation.

1.12.4 En ce qui concerne les cadres dirigeants, même s'ils ont besoin seulement de connaissances limitées sur les facteurs humains, il est généralement jugé indispensable qu'ils possèdent les informations de base appropriées. Ils auront besoin de connaissances spécialisées correspondant à leurs fonctions particulières. C'est ainsi, par exemple, que les exigences de connaissances et de compétence seront nettement différentes pour les cadres dirigeants, les spécialistes de la prévention des accidents et de la sécurité aérienne, les responsables des enquêtes sur les accidents, le personnel de gestion et de supervision de l'exploitation des vols et les instructeurs de vol-superviseurs.

Sélection des instructeurs

1.12.5 La sélection et la formation des personnes qui seront chargées d'administrer les programmes d'instruction sur la performance humaine suscitent des préoccupations dans certains États, peut-être à cause de l'idée, compréhensible, que seul un psychologue de formation est apte à traiter de questions liées au comportement humain. Pourtant, dans leurs activités quotidiennes, pilotes et instructeurs traitent et enseignent des questions touchant à l'aérodynamique sans être ingénieurs aéronautiques, des questions touchant à la météorologie sans être météorologistes, des questions touchant aux groupes motopropulseurs sans être mécaniciens, etc. Rien n'empêche d'appliquer ce raisonnement à l'enseignement sur les performances humaines.

1.12.6 Dans le monde de l'aviation, les instructeurs en vol et au sol, ainsi que les instructeurs des contrôleurs ATC, techniciens de maintenance et agents techniques d'exploitation, sont parmi les éléments manifestement capables de dispenser un enseignement sur les performances humaines. S'ils sont parfaitement familiarisés avec le contenu du programme proposé — que ce soit par une formation structurée ou en autodidactes — ils seront en mesure de dispenser une formation qui atteindra ses objectifs. La 1^{re} Partie du présent manuel sera un utile point de départ pour les instructeurs car elle contient une abondante bibliographie. Une autre

possibilité est de recourir pour cet enseignement à des spécialistes de la question, en s'assurant cependant de leur aptitude à établir un lien pratique entre leurs connaissances et le milieu opérationnel.

1.13 PHILOSOPHIE ET OBJECTIFS DE L'INSTRUCTION

Introduction

1.13.1 La présente section traite des questions générales qui doivent retenir l'attention lors de la conception et de l'élaboration des cours. L'examen de ces questions devrait aider à préciser les objectifs, ainsi que les techniques d'instruction souhaitables.

Philosophie de l'instruction

1.13.2 Les plus importantes questions réclamant ici l'attention sont les suivantes:

- a) les rôles à attribuer aux activités d'apprentissage théoriques et pratiques, ou expérientielles. Étant donné que cette décision se révélera extrêmement importante dans la pratique, la clarté est essentielle;
- b) l'intégration de l'instruction axée sur les connaissances dans les briefings, les débriefings et les exercices pratiques réalisés pendant l'instruction opérationnelle;
- c) le rôle des activités favorisant l'apprentissage expérientiel (par exemple, jeux de rôles, entraînement type vol de ligne, entraînement sur simulateur pour équipes ATS, etc.).

Objectifs de l'instruction

1.13.3 Une fois établie l'orientation de l'instruction, il faut en préciser les objectifs. Ceux-ci influenceront la conception des cours et la priorité à accorder aux facteurs humains dans les briefings, les débriefings et l'évaluation des performances.

1.13.4 En déterminant les objectifs de l'instruction et les activités de formation des instructeurs, il est souvent utile de diviser la tâche d'apprentissage en sous-catégories appropriées, telles que «mémorisation», «compréhension», «action» et «attitudes», et de préciser le degré de compétence ou de maîtrise du sujet, qui est attendu des stagiaires de chaque catégorie à l'issue de la formation. Ces quatre catégories ou domaines de compétence des stagiaires peuvent se caractériser comme suit:

- axé sur les connaissances (mémorisation)

- axé sur la compréhension
- axé sur des habiletés/techniques (action)
- axé sur des attitudes.

1.13.5 La catégorie des connaissances, couvrant les savoirs factuels, peut inclure la mémorisation de procédures. Des techniques d'instruction et d'évaluation appropriées seront utilisées dans l'instruction théorique sur les procédures et dans l'enseignement dispensé aux personnels d'exploitation.

1.13.6 La compréhension de la théorie et des principes généraux pertinents est souvent indispensable à l'acquisition de la compétence. Cette catégorie recoupe parfois les autres.

1.13.7 Les personnels d'exploitation devront acquérir et appliquer certaines techniques et habiletés d'ordre pratique. Les habiletés dans quelque domaine que ce soit devront être exercées de la façon appropriée, dans le contexte approprié et au moment approprié. En aviation, ce sont les habiletés psychomotrices et celles liées à l'application de procédures qui ont traditionnellement reçu le plus d'attention; l'instruction sur les performances humaines demande l'acquisition de certaines habiletés supplémentaires, comme le développement d'habiletés appropriées de communication et de travail en équipe.

1.13.8 Les attitudes jouent un rôle important lorsqu'il s'agit de déterminer la performance globale. On peut examiner sous ce titre les aspects philosophiques en rapport avec les pratiques opérationnelles, les attributs professionnels souhaitables et les dispositions qui conduisent à une bonne performance. Le processus d'insertion et de socialisation au sein de la profession et de l'entreprise peut aussi être examiné sous ce titre pour les exploitants qui s'occupent de formation *ab initio* de personnel d'exploitation. Nombre de spécialistes des facteurs humains insistent particulièrement sur les attitudes, ayant constaté le rôle d'attitudes appropriées dans l'application et le maintien de pratiques d'exploitation sûres et efficaces.

Contenu des programmes

1.13.9 Les esquisses de programmes que contient le présent chapitre devraient donner une vue d'ensemble de la matière essentielle et constituer un point de départ approprié pour la conception de programmes détaillés.

Matériels et techniques d'instruction et technologies de formation

1.13.10 On peut distinguer ici le matériel d'instruction, les stratégies et techniques, et les cours proprement dits. Les meilleurs cours sur les performances humaines seront ceux qui feront un usage créatif et imaginatif des moyens disponibles. La formation optimale répondra aux exigences de l'Annexe 1 tout en insistant comme il convient sur l'acquisition des habiletés essentielles en matière de facteurs humains.

Matériel d'instruction

1.13.11 On pense immédiatement aux simulateurs, mais de nombreuses autres aides didactiques peuvent être utiles: simulateurs de tâches partielles, matériel d'instruction assistée par ordinateur, caméscopes, vidéo interactive, CD-ROM, DVD et autres matériels en développement.

Stratégies et techniques d'instruction

1.13.12 Les nouveaux matériels didactiques s'accompagnent d'une différenciation grandissante des méthodes d'instruction, dont beaucoup utilisent les technologies modernes. Par exemple, l'utilité des moyens interactifs et l'efficacité des retours d'expérience par vidéo sont maintenant largement reconnues.

1.13.13 À l'autre extrême, des activités d'étude de cas ou de simulation peuvent constituer des expériences pédagogiques utiles. Ces activités exigent une soigneuse préparation, qui demande du temps, mais elles sont peu coûteuses et peuvent être très efficaces.

1.13.14 Dans la pratique éducative, il y a une tendance croissante à l'apprentissage ouvert et expérientiel, qui vise à répondre aux besoins d'acquisition d'habiletés et d'entraînement des individus et des équipes. Pour l'instruction du personnel d'exploitation concernant les performances humaines, la plupart des spécialistes jugent très souhaitable de recourir à ce type d'apprentissage, notamment dans des domaines tels que les habiletés de communication et de coordination d'équipe. L'objectif que vise cette instruction est en fait l'acquisition des habiletés nécessaires, plutôt que la simple démonstration d'une compréhension théorique.

1.13.15 L'intérêt du recours à des méthodes multiples pour atteindre les objectifs de l'instruction est à souligner. C'est un moyen de combiner les différentes techniques en «technologies de formation intégrées» multi-méthodes. Ces technologies intégrées comprennent des programmes d'instruction conçus avec soin qui facilitent l'apprentissage individuel aussi bien que l'apprentissage axé sur l'équipe. La fourniture de larges retours d'expérience, souvent sous la forme d'enregistrements vidéo, favorise un apprentissage expérientiel pertinent en exploitation, en facilitant la réflexion et le débriefing dirigé par les stagiaires.

Didacticiels

1.13.16 Le contenu des didacticiels entièrement développés dépendra évidemment des objectifs visés, ainsi que du temps, du matériel et des ressources disponibles. Il est souhaitable d'y intégrer des activités d'instruction en salle de classe et dans l'environnement opérationnel. Les didacticiels devraient être conçus de manière à inclure de façon explicite l'examen de points relatifs aux facteurs humains lors du briefing et du débriefing. Même si l'Annexe 1 est axée essentiellement sur l'acquisition de connaissances concernant les

facteurs humains, l'objectif sera plus facilement atteint si l'on s'intéresse également aux habiletés opérationnelles à l'étape de conception et d'élaboration de l'instruction. Les choix faits à l'étape de conception du didacticiel aideront à définir les activités d'apprentissage pertinentes pour les instructeurs et les stagiaires.

1.14 ACQUISITION D'HABILITÉS, ÉVALUATION DU PERSONNEL D'EXPLOITATION ET ÉVALUATION DES COURS

1.14.1 L'évaluation régulière est une pratique très répandue en aviation. C'est un moyen de vérifier la conformité aux normes et de déterminer l'efficacité de l'instruction. Les décisions relatives aux moyens appropriés et productifs d'évaluation du personnel d'exploitation auront une influence importante sur la conception des cours portant sur les performances humaines. Les méthodes traditionnelles d'évaluation ont une valeur incontestable lorsqu'il s'agit de mesurer les connaissances factuelles et les différents aspects de la compréhension, mais une autre forme d'appréciation est généralement jugée indispensable lorsqu'il s'agit de juger de l'efficacité des activités d'apprentissage expérientiel. Ce type d'apprentissage, tel qu'il est pratiqué dans les meilleurs programmes LOFT, CRM et TRM, ne peut être optimisé si l'évaluation formelle est effectuée simultanément avec la formation.

1.14.2 De plus, la difficulté générale d'évaluer l'efficacité réelle des formations visant à développer les habiletés de communication, formations CRM et programmes analogues est bien connue. En fait, ces questions difficiles sont régulièrement soulevées lors de débats, lorsqu'il s'agit de justifier les activités de formation ou d'évaluer l'efficacité de ce genre de cours.

1.14.3 Par ailleurs, l'acquisition d'habiletés en aviation a traditionnellement été réalisée en cours d'emploi ou au cours de simulations haute fidélité. Les évaluations d'habiletés et techniques opérationnelles connexes s'effectuent traditionnellement dans le même environnement. Toutefois, malgré l'influence de la pratique actuelle, le désir d'évaluation formelle des habiletés en matière de facteurs humains devra toujours être contrebalancé par la conscience des effets négatifs que l'évaluation elle-même risque d'avoir sur l'apprentissage.

1.14.4 À cet égard, il convient de rappeler que les activités telles que les simulations et l'entraînement LOFT sont considérées comme de particulièrement bonnes techniques, justement parce qu'elles sont explicitement axées sur les besoins d'acquisition d'habiletés par les stagiaires, et parce qu'elles évitent les connotations négatives pour l'apprentissage qui sont associées à un environnement de contrôles et de tests. Même s'il n'existe peut-être pas de consensus international sur les meilleurs moyens de résoudre le problème ardu de l'évaluation de l'instruction sur les performances humaines (et de l'évaluation des performances des stagiaires), il importe à l'évidence que les instructeurs et les concepteurs

de l'instruction comprennent à fond les questions générales qui viennent d'être abordées. Ils éviteront ainsi de procéder prématurément à des évaluations et vérifications dans des circonstances où celles-ci pourraient aller à l'encontre des besoins d'apprentissage à long terme.

1.15 PROGRAMME D'INSTRUCTION EN PERFORMANCE HUMAINE POUR LES TECHNICIENS/MÉCANICIENS DE MAINTENANCE D'AÉRONEF

Généralités

1.15.1 La présente section donne, à l'intention des concepteurs de cours d'instruction, des informations sur les besoins et objectifs dans la formation en facteurs humains des personnels d'organismes de maintenance. Les organismes de maintenance varient considérablement dans leur champ d'activité et leurs dimensions; par conséquent, ils doivent décider des objectifs globaux de formation pour chaque emploi ainsi que du niveau approprié d'habiletés ou de connaissances requises.

1.15.2 Le texte de la présente section est inspiré de l'Appendice B au Chapitre 5 du Document 9824 de l'OACI (*Lignes directrices sur les facteurs humains dans la maintenance aéronautique*).

Population ciblée

1.15.3 Les catégories de personnels de maintenance d'aéronef employés par des exploitants ou des organismes de maintenance agréés (AMO) qui sont tenus de donner une formation en facteurs humains sont notamment les suivantes:

- personnel de gestion (cadres supérieurs et intermédiaires, superviseurs);
- investigateurs d'accidents et incidents;
- personnels qui certifient aéronefs et composants pour remise en service;
- instructeurs en facteurs humains et certains sujets techniques;
- ingénieurs et techniciens de planification et de programmation de maintenance;
- techniciens et mécaniciens de maintenance d'aéronef;
- agents de la qualité (assurance de qualité et contrôle de qualité);
- magasiniers;
- personnel du service des achats;
- opérateurs d'équipements au sol;
- contractuels dans les catégories ci-dessus.

En outre, les inspecteurs de la maintenance employés par l'organisme national de réglementation de l'aviation doivent recevoir une instruction en facteurs humains, d'un niveau au moins équivalent de celui de leurs homologues employés dans l'industrie.

1.15.4 Les besoins et objectifs de formation suggérés dans la présente section supposent que les stagiaires possèdent une formation et une expérience dans leur discipline, à savoir:

- les cadres et superviseurs possèdent expérience et leadership dans la formation en gestion;
- les planificateurs, ingénieurs et techniciens connaissent très bien la documentation d'aéronef ainsi que les conditions et milieux de travail des personnels qui effectuent le travail de maintenance d'aéronef;
- les instructeurs et formateurs comprennent les techniques d'enseignement et possèdent une expérience du milieu de travail dans lequel le sujet doit être appliqué;
- les investigateurs et auditeurs ont une expérience et une formation dans l'identification, la reconnaissance et l'analyse de problèmes ou facteurs de causalité liés aux facteurs humains;
- les techniciens et mécaniciens de maintenance ont une formation et une expérience sur les aéronefs ou composants qu'ils entretiennent;
- les inspecteurs de l'organisme national de réglementation de l'aviation sont expérimentés dans leurs tâches d'inspection réglementaire et comprennent les conditions de travail, le personnel et le milieu de l'AMO approprié ainsi que du travail de maintenance sur aéronef ou composant.

Besoins en formation

1.15.5 L'objectif premier de la formation en facteurs humains est de faire bien comprendre aux catégories de personnel ci-dessus comment et pourquoi éviter les erreurs dans l'exécution du travail de maintenance. Chaque catégorie peut créer un risque d'erreur ou être exposée au risque d'erreur. La formation en facteurs humains devrait donc être adaptée aux différentes catégories afin qu'elles puissent identifier et éviter les risques d'erreurs. Des objectifs détaillés de formation sont exposés dans le Tableau 1-3. Les besoins spécifiques de formation des différentes catégories ci-dessus de la population ciblée sont énumérés dans les paragraphes qui suivent.

1.15.6 Les gestionnaires et superviseurs doivent connaître la façon dont les conditions de travail influent sur la performance du personnel qui planifie et exécute le travail de maintenance sur des aéronefs et composants d'aéronefs. Ils doivent être capables d'appliquer cette connaissance et comprendre comment leurs décisions et leur comportement influent sur les attitudes du personnel et son aptitude à exécuter le travail avec le minimum de risque d'erreur. Les aspects qui concernent des responsabilités directes des gestionnaires, par exemple dépenses en capital, budgets et comptabilité, peuvent paraître éloignés du lieu où s'effectue le travail, mais ils ont en réalité des effets notables sur les effectifs et la compétence des travailleurs ainsi que sur leur aptitude à exécuter un travail sûr et fiable.

1.15.7 Les superviseurs doivent être au courant des facteurs locaux qui présentent un potentiel d'erreur. Ils devraient savoir comment les conditions de travail et la disponibilité d'outils et équipements adéquats peuvent influencer sur l'attitude des personnels de maintenance et leur conception du travail. Les superviseurs devraient être capables de reconnaître et d'identifier les tendances qui indiquent des risques liés aux facteurs humains.

1.15.8 Les planificateurs et ingénieurs ont un rôle crucial à jouer lorsqu'il s'agit d'éviter les erreurs liées aux facteurs humains. Ils doivent être capables d'écrire des instructions qui soient non seulement techniquement correctes mais aussi faciles à lire et à comprendre et qui ne soient pas ambiguës et susceptibles d'interprétation. Il faut qu'ils comprennent comment leurs décisions, instructions, documents et autres directives peuvent influencer sur la performance et les résultats du travail effectué sur les aéronefs ou leurs composants dans les ateliers, hangars et aires de trafic. Il est donc important qu'ils comprennent les aspects pratiques du travail du personnel de maintenance.

1.15.9 Les instructeurs et formateurs devraient idéalement comprendre parfaitement les principes fondamentaux des facteurs humains et posséder des connaissances et une expérience pour avoir travaillé dans l'environnement dont il s'agit (par exemple, ateliers, hangars et aires de trafic). Ils doivent être capables d'expliquer les fondements de la théorie des facteurs humains et posséder des connaissances théoriques à un niveau où ils puissent illustrer par des exemples ainsi qu'animer les discussions.

1.15.10 Les investigateurs et auditeurs doivent être capables d'identifier, de reconnaître et d'analyser les problèmes ou facteurs de causalité liés aux facteurs humains. L'investigateur doit être capable d'identifier des facteurs humains contribuant lors de l'investigation d'incidents. L'auditeur doit être capable de reconnaître les risques potentiels liés aux facteurs humains et doit signaler ces risques avant qu'ils causent un incident lié à une erreur et deviennent un sujet pour l'investigateur.

1.15.11 Les techniciens et mécaniciens de maintenance d'aéronef sont le dernier maillon dans la chaîne de sécurité et leurs objectifs de formation consistent à comprendre pourquoi et comment ils risquent de créer par inadvertance, dans l'exécution de tâches de maintenance, un état d'insécurité. Il faut qu'il leur soit possible de détecter les situations où ils risquent eux-mêmes de commettre des erreurs directes. Il faut aussi qu'ils soient capables de détecter une erreur intégrante d'instructions de travail ou d'informations, et d'identifier un équipement défectueux. Ils doivent comprendre comment l'environnement de travail et leur situation personnelle influent sur la performance dans le travail.

1.15.12 Les inspecteurs de l'organisme national de réglementation de l'aviation doivent posséder un niveau de connaissances similaire de celui des gestionnaires et superviseurs.

OBJECTIFS ET NIVEAUX DE FORMATION

1.15.13 Le Tableau 1-3 indique les objectifs de formation pour toutes les catégories de personnel de l'organisme de maintenance. Les niveaux d'habileté en facteurs humains, de connaissances ou d'attitudes devraient être les suivants (les niveaux 2 et 3 présupposent que les objectifs des niveaux précédents ont été atteints):

Niveau 1: Familiarisation avec les principaux éléments du sujet. À la fin de la formation, le stagiaire devrait être capable d'atteindre les objectifs suivants:

- bien connaître les éléments fondamentaux du sujet:
- être capable de donner une description simple de l'ensemble du sujet en utilisant des termes de tous les jours et des exemples;
- être capable d'employer les termes typiques des facteurs humains.

Niveau 2: Connaissance générale des aspects théoriques et pratiques du sujet. À la fin de la formation, le stagiaire devrait être capable d'atteindre les objectifs suivants:

- comprendre les fondements théoriques du sujet et être capable de donner une description générale du sujet avec des exemples typiques;
- lire et comprendre la documentation décrivant le sujet;
- être en mesure d'appliquer les connaissances en facteurs humains d'une façon pratique.

Niveau 3: Connaissance détaillée des aspects théoriques et pratiques du sujet. À la fin de la formation, le stagiaire devrait être capable d'atteindre les objectifs suivants:

- connaître et comprendre la théorie du sujet et ses interrelations avec d'autres sujets appropriés;
- être capable de donner des explications détaillées sur le sujet, à l'aide de principes théoriques et d'exemples spécifiques;
- être en mesure de combiner et d'appliquer la connaissance du sujet d'une façon logique, complète et pratique;
- être capable d'interpréter les résultats de différentes sources et d'appliquer des mesures correctives comme il convient.

Tableau 1-3. Objectifs du programme d'instruction

Note.— Les objectifs du programme d'instruction sont énumérés sous dix titres par sujet. Chaque sujet est qualifié comme suit:

(H) = Habileté;

(C) = Connaissance;

(A) = Attitude.

1. Introduction générale aux facteurs humains:
 - Comprendre la signification du terme «facteurs humains» (C)
 - Reconnaître la contribution des facteurs humains aux accidents d'aviation (C)
 - Comprendre l'objectif de la formation en facteurs humains (C)
 - Se rendre compte de la nécessité de comprendre et d'appliquer les facteurs humains (A)
 - Être assez bien au courant d'incidents bien connus et d'études de données d'incidents auxquels des facteurs humains ont contribué et comprendre pourquoi ces incidents sont survenus (C)
2. Culture de sécurité et facteurs organisationnels:
 - Bien comprendre le concept de «culture de sécurité» (C)
 - Comprendre la signification d'«aspects organisationnels des facteurs humains» (C)
 - Comprendre l'importance d'une bonne culture de sécurité (A)
 - Identifier les éléments d'une bonne culture de sécurité (C)
3. Erreur humaine:
 - Comprendre que l'erreur humaine ne peut pas être totalement éliminée; il faut la maîtriser (C)
 - Comprendre les différents types d'erreurs et leurs incidences; éviter et gérer l'erreur (C)
 - Reconnaître où l'individu est le plus prédisposé à l'erreur (C)
 - Avoir une attitude propre à protéger contre l'erreur (A)
 - Avoir une connaissance pratique suffisante des principaux modèles et théories d'erreur (C)
 - Comprendre les principaux types d'erreurs et comment ils diffèrent des violations (C)
 - Comprendre les différents types et causes de violations (C)
 - Éviter les violations de procédures et de règles et chercher à éliminer les situations qui peuvent donner lieu à des violations (A)
 - Bien comprendre des incidents bien connus sous l'angle d'erreurs conduisant aux incidents (C)

- Comprendre que ce ne sont pas les erreurs elles-mêmes qui sont le problème, mais les conséquences des erreurs non détectées et non corrigées (A)
 - Comprendre les différentes façons de réduire les erreurs et d'atténuer leurs conséquences (C)
 - Avoir une connaissance de base des principaux concepts de facteurs humains et de la façon dont ils sont en rapport avec l'évaluation du risque (Note: Ceci s'applique aussi à la gestion.) (C)
4. Performance humaine:
- Reconnaître les effets de limitations physiques et de facteurs environnementaux sur la performance humaine (C)
 - Comprendre que les humains ne sont pas infailibles (A)
 - Acquérir une connaissance de base de quand et où les humains sont vulnérables à l'erreur (C)
 - Reconnaître où soi-même et d'autres souffrent et veiller à ce que cela ne compromette pas la sécurité aéronautique (A)
 - Comprendre comment la vue et les limitations de la vue ont des effets sur le travail de stagiaire (C)
 - Reconnaître la nécessité d'avoir une vue adéquate (corrigée) pour la tâche et les circonstances (C)
 - Connaître les meilleures pratiques de santé et de sécurité à l'égard du bruit et de l'ouïe (C)
 - Se rendre compte qu'entendre ne veut pas dire nécessairement comprendre (A)
 - Acquérir une connaissance de base des termes clés utilisés pour décrire le traitement de l'information (c'est-à-dire perception, attention et mémoire) (C)
 - Acquérir une compréhension de base de la signification de l'attention et de la perception (C)
 - Comprendre la dimension de la conscience de la situation (C)
 - Concevoir des façons d'améliorer la conscience de la situation (H)
 - Acquérir une connaissance de base des différents types de mémoire (sensorielle, court terme, active, long terme) et de leurs effets sur la personne au travail (C)
 - Comprendre que la mémoire est faillible et que l'on ne peut s'y fier (A)
 - Comprendre que la claustrophobie, le vertige, etc., peuvent influencer sur la performance de certaines personnes (A)
 - Comprendre ce qui motive et démotive les travailleurs de la maintenance (C)
 - Comprendre la nécessité d'éviter la motivation mal appliquée (raccourcis) (A)
 - Être prêt à admettre que l'on ne se sent pas bien et prendre des mesures pour que cela n'influe pas sur la qualité du travail (A)
 - Reconnaître les concepts fondamentaux et les symptômes du stress (C)
 - Concevoir différentes techniques et attitudes positives pour maîtriser le stress (H)
 - Reconnaître la nécessité de gérer le volume de travail (C)
 - Concevoir des méthodes pour gérer le volume de travail (H)
 - Comprendre comment la fatigue peut influencer sur la performance, particulièrement en cas de longues heures ou de travail par quarts (C)
 - Concevoir des façons de gérer la fatigue (H)
 - Adopter une volonté personnelle de ne pas travailler sur des tâches critiques de sécurité lorsque l'on est trop fatigué (A)
 - Comprendre que l'alcool, la drogue et les médicaments peuvent agir sur la performance (A)
 - Comprendre les effets d'un travail physique soutenu sur la performance globale, particulièrement la performance cognitive dans la maintenance (C)
 - Être au courant d'exemples et d'incidents où des tâches répétitives et l'excès de confiance ont été un facteur (C)
 - Concevoir des façons d'éviter l'excès de confiance (H)
5. Milieu de travail:
- Acquérir une compréhension de base de la façon dont le milieu physique et social peut influencer la performance humaine (C)
 - Comprendre l'importance de respecter les «règles», même si d'autres ne le font pas (A)
 - Comprendre l'importance de l'intégrité personnelle (A)
 - Comprendre l'importance d'éviter d'exercer des pressions de collègue à collègue (A)
 - Acquérir la faculté de s'affirmer dans une mesure appropriée à l'emploi (H)
 - Acquérir une compréhension de base des concepts du stress et des stressés en relation avec le milieu de la maintenance (C)
 - Reconnaître les dangers des raccourcis (C)
 - Reconnaître les dangers de l'application de limites temporelles inappropriées (C)
 - Reconnaître les dangers de limites temporelles imposées par soi-même, un superviseur ou un gestionnaire (C)
 - Comprendre les facteurs qui contribuent à la charge de travail (C)
 - Acquérir des habiletés de planification et d'organisation (H)
 - Comprendre le concept de base des rythmes circadiens en relation avec le travail par quarts (C)
 - Connaître les meilleures pratiques concernant les heures de travail et le travail par quarts (C)
 - Concevoir des stratégies pour gérer le travail par quarts (H)
 - Être conscient des directives de santé et de sécurité concernant le bruit et les émanations (C)
 - Être conscient des effets de l'éclairage sur la performance (C)
 - Être conscient des effets du climat et de la température sur la performance (C)
 - Être conscient des directives de santé et de sécurité concernant le mouvement et les vibrations (C)
 - Être conscient des incidences de ses propres actes sur d'autres parties du système de maintenance (C)
 - Être conscient des directives de santé et de sécurité concernant les dangers dans le lieu de travail (C)
 - Comprendre comment prendre en compte la main-d'œuvre disponible dans l'horaire de travail, la planification ou l'exécution d'une tâche (C)
 - Concevoir les moyens de gérer les distractions et interruptions (H)

6. Procédures, informations, outils et pratiques:
 - Comprendre l'importance de disposer des outils et procédures appropriés (A)
 - Comprendre l'importance d'utiliser les outils appropriés et de respecter les procédures (A)
 - Comprendre l'importance de vérifier le travail avant de le certifier (A)
 - Comprendre l'importance de signaler les irrégularités dans les procédures ou la documentation (A)
 - Comprendre les facteurs qui influent sur les inspections visuelles (C)
 - Acquérir les habiletés pour améliorer les inspections visuelles (H)
 - Comprendre l'importance d'inscriptions correctes dans les registres (A)
 - Être conscient qu'il existe des normes et qu'il est parfois dangereux de les suivre (A)
 - Être au courant de cas où des procédures, pratiques ou normes ont été erronées (C)
 - Comprendre l'importance d'avoir un bon niveau de documentation technique en termes d'accessibilité et de qualité (A)
 - Apprendre comment écrire de bonnes procédures correspondant aux meilleures pratiques (H)
 - Apprendre comment valider des procédures (H)
7. Communication:
 - Reconnaître la nécessité d'une communication efficace à tous les niveaux et dans tous les modes de communication (C)
 - Comprendre les principes fondamentaux de la communication (C)
 - Acquérir des habiletés de bonnes communications verbales et écrites, appropriées à l'emploi et au contexte dans lequel elles se situeront (H)
 - Avoir une connaissance détaillée de certains incidents où un mauvais transfert a été un facteur contribuant (C)
 - Comprendre l'importance d'un bon transfert (A)
 - Apprendre comment exécuter un bon transfert (H)
 - Comprendre l'importance d'informations actualisées et accessibles à ceux qui en ont besoin (A)
 - Comprendre que des différences culturelles peuvent influencer sur la communication (A)
8. Travail en équipe:
 - Comprendre les principes généraux du travail en équipe (C)
 - Reconnaître les avantages du travail en équipe (A)
 - Acquérir des habiletés de travail efficace en équipe (H)
 - Être persuadé que personnels de maintenance, équipages de conduite, équipages de cabine, personnels d'exploitation, planificateurs, etc., devraient travailler ensemble aussi efficacement que possible (A)
 - Encourager un concept d'équipe, mais sans céder ou dégrader la responsabilité individuelle (A)
 - Comprendre le rôle des gestionnaires, superviseurs et chefs de file dans le travail en équipe (C)
 - Acquérir des habiletés de gestion d'équipe dans le cas du personnel approprié (H)
 - Acquérir des habiletés de prise de décisions basées sur une bonne conscience de la situation et la consultation lorsque c'est approprié (H)
9. Professionnalisme et intégrité:
 - Comprendre ce qui est attendu des individus en termes de professionnalisme, d'intégrité et de responsabilité personnelle (C)
 - Comprendre la responsabilité de chacun pour maintenir des normes élevées et les mettre constamment en pratique (A)
 - Accepter la responsabilité personnelle de se tenir au courant des connaissances et informations nécessaires (A)
 - Acquérir une bonne compréhension de ce qu'est un comportement de nature à provoquer des erreurs (C)
 - Comprendre l'importance d'éviter le genre de comportement qui risque de provoquer des erreurs (A)
 - Comprendre l'importance de s'affirmer (A)
10. Programme de facteurs humains propre à l'organisme de maintenance
 - Acquérir une compréhension en profondeur de la structure et des buts du programme de facteurs humains de la compagnie, par exemple:
 - système d'erreurs de maintenance (C)
 - liens avec les systèmes de gestion de la qualité et de la sécurité (C)
 - comptes rendus disciplinaires et culture juste (C)
 - soutien des cadres supérieurs (C)
 - formation en facteurs humains pour tout le personnel de l'organisme de maintenance (C)
 - action pour affronter des problèmes (C)
 - bonne culture de sécurité (C)
 - Comprendre l'importance de signaler incidents, erreurs et problèmes (A)
 - Comprendre quels types de problèmes devraient être signalés (C)
 - Comprendre les mécanismes à appliquer pour signaler (C)
 - Comprendre la politique de l'organisme et les circonstances dans lesquelles des mesures disciplinaires seraient ou non appropriées (C)
 - Comprendre que quelqu'un ne sera pas pénalisé injustement pour avoir signalé ou pour avoir contribué à une investigation disciplinaire (A)
 - Comprendre les mécanismes de l'investigation d'incidents (C)
 - Comprendre les mécanismes des mesures visant à corriger des erreurs (C)
 - Comprendre les mécanismes du retour d'information (C)

Appendice 1 au Chapitre premier

INSTRUCTION DES PILOTES SUR LES FACTEURS HUMAINS CONSIDÉRATIONS UTILES POUR L'ÉLABORATION D'UN PROGRAMME

AUDITOIRE CIBLE

1. Catégories de pilotes: pilotes en formation *ab initio*, pilotes d'aviation générale, pilotes professionnels, pilotes de ligne et pilotes-instructeurs.
2. Identifier les besoins de formation des spécialistes non pilotes et des superviseurs selon les fonctions qu'ils occupent.

ORIENTATION ET OBJECTIFS DE L'INSTRUCTION

1. Identifier le rôle de l'apprentissage théorique et expérimentiel. Déterminer le rôle de l'apprentissage ouvert, du développement de la réflexion et des activités qui favorisent l'apprentissage expérimentiel.
2. Examiner la démarche adoptée dans le briefing, le débriefing et les pratiques d'évaluation.
3. Répartir le programme/la matière enseignée selon qu'il s'agit des aspects «mémorisation», «compréhension», «action» ou «attitudes».
4. Répartition suggérée du programme en «domaines» de compétence des stagiaires:
 - a) Aspects axés sur les connaissances (mémorisation): connaissances objectives ou didactiques et information appropriée sur les procédures et le contexte d'apprentissage.
 - b) Aspects axés sur la compréhension (compréhension): théories pertinentes, etc.
 - c) Aspects axés sur les habiletés et les techniques (action): acquisition et démonstration des habiletés pratiques nécessaires.
 - d) Aspects axés sur les attitudes: application et compréhension de pratiques et dispositions professionnelles appropriées.

5. Déterminer les différents types de compétence, ou de maîtrise du sujet, que devront posséder les stagiaires à l'issue de la formation.

MATÉRIEL ET TECHNIQUES D'INSTRUCTION ET TECHNOLOGIES DE LA FORMATION

Répartition selon le matériel d'instruction, les stratégies et techniques d'instruction, les didacticiels et les méthodes d'évaluation.

- a) Matériel d'instruction: identifier le matériel correspondant aux besoins et aux objectifs de formation.
- b) Stratégies et techniques d'instruction:
 - 1) recenser les stratégies/techniques que la technologie existante permet d'employer;
 - 2) établir la nécessité de retours d'information sur la performance; préciser la qualité nécessaire et les moyens de l'obtenir;
 - 3) déterminer s'il convient de recourir à des tests/à une évaluation psychologiques;
 - 4) identifier les moyens de satisfaire aux besoins de formation des individus aussi bien que des équipes;
 - 5) évaluer le rôle de la formation utilisant des méthodes multiples;
 - 6) déterminer l'utilité que peuvent avoir les jeux de rôles, études de cas, jeux de simulation, simulations écrites, etc.;

- 7) choisir les méthodes de façon à répondre le mieux possible aux différents besoins de formation recensés;
 - 8) identifier les besoins de formation d'instructeurs spécialisés.
- c) Didacticiels:
- 1) identifier les contraintes qu'imposent les ressources disponibles et les objectifs de formation;
 - 2) concevoir le didacticiel dans le cadre d'un cours spécialisé sur les facteurs humains, ou d'une formation périodique ou pour l'insertion dans des activités de formation existantes;
 - 3) déterminer les besoins connexes de formation d'instructeurs.

ÉVALUATION DES PILOTES ET DES COURS

1. Déterminer s'il est souhaité qu'une évaluation parallèle des cours et/ou une évaluation formelle des pilotes soit effectuée. Examiner les possibilités.
2. Identifier les moyens d'évaluation appropriés pour les catégories «connaissances», «compréhension», «habiletés/techniques» et «attitudes».
3. Chercher à résoudre les tensions entre pratiques d'apprentissage et d'évaluation, avec leurs conséquences sur l'apprentissage d'habiletés/de techniques et l'apprentissage expérientiel.
4. Déterminer les rôles respectifs de l'évaluation des performances individuelles et en équipe.
5. Identifier les besoins de formation de responsables de l'évaluation et/ou de la mesure des performances.

Appendice 2 au Chapitre premier

QUESTIONNAIRE TYPE DE VÉRIFICATION DES CONNAISSANCES SUR LES FACTEURS HUMAINS EXIGÉES PAR L'ANNEXE 1

1. Citer quatre disciplines importantes dont sont tirés des éléments permettant de comprendre les performances humaines et le comportement humain.
2. Quelles sont les quatre grandes interfaces à optimiser dans le poste de pilotage pour assurer des opérations aériennes sûres et efficaces?
3. Quelle est la proportion approximative des accidents d'aviation civile qui résultent de performances humaines inadéquates?
4.
 - a) Qu'entend-on par pente d'autorité entre pilotes?
 - b) Pourquoi cette notion est-elle importante pour la sécurité des vols?
 - c) Citer trois cas de pente d'autorité pouvant entraîner des dangers.
5.
 - a) Nommer trois avantages importants en matière de sécurité qui découlent de l'adoption d'un comportement habituel normalisé pour l'accomplissement des tâches dans le poste de pilotage.
 - b) Qu'entend-on par survivance d'un comportement? En donner un exemple lié aux activités du poste de pilotage, pouvant compromettre la sécurité du vol.
6.
 - a) Quel est l'aspect général des performances humaines qu'illustre la courbe de Yerkes-Dodson?
 - b) Comment peut-on établir une relation entre cette courbe et l'incidence de l'erreur humaine?
 - c) Où placeriez-vous sur cette courbe le relâchement de vigilance, l'ennui et l'excitation?
 - d) Que suggère cette courbe en ce qui concerne l'accomplissement des tâches critiques?
7.
 - a) À quel type de performance peut-on s'attendre lorsqu'il s'agit d'accomplir des tâches exigeant une vigilance constante?
 - b) Citer un exemple de tâche effectuée dans le poste de pilotage qui peut servir d'illustration.
8. L'hypothèse erronée est une forme dangereuse d'erreur humaine. Nommer cinq situations différentes où ce genre d'erreur risque le plus de se produire.
9. Donner trois exemples de synchroniseurs (Zeitgeber) ou d'agents entraînants liés au rythme circadien.
10. Les performances humaines varient selon un rythme circadien.
 - a) Qu'est-ce que cela signifie?
 - b) Dans le cadre de ce phénomène, qu'entend-on par les termes:
 - dépendant de la tâche,
 - creux d'après-déjeuner,
 - effet de motivation,
 - acrophase?
 - c) Citer quatre facteurs, autres que des synchroniseurs, qui peuvent être associés à la rapidité de resynchronisation des rythmes biologiques après leur perturbation par un long vol.
11.
 - a) Comment désigne-t-on le groupe de médicaments (hypnotiques/somnifères) le plus fréquemment utilisés pour faciliter le sommeil?
 - b) À ce propos, qu'entend-on par demi-vie et quel est le lien entre ce phénomène et l'effet du médicament sur les performances?
 - c) Citer les précautions générales (six environ) recommandées aux pilotes avant de décider d'utiliser un hypnotique.
12.
 - a) Qu'entend-on par effet d'inertie du sommeil?
 - b) En quoi concerne-t-il la sécurité de vol au niveau du poste de pilotage?
 - c) Les performances risquent-elles de se dégrader de façon constante à mesure que s'accroît le manque de sommeil? Expliquer.

13. a) La fumée de cigarette contient du monoxyde de carbone. Quel est l'effet de cette substance sur la tolérance à l'altitude et comment se manifeste-t-il?
- b) Quel autre effet le monoxyde de carbone peut-il avoir sur les performances et la sécurité?
14. a) Citer quatre facteurs qui agissent sur la rapidité d'absorption de l'alcool par l'organisme.
- b) Quel est le rythme de baisse de l'alcoolémie (taux d'alcool dans le sang) après l'arrêt de la consommation? Ce rythme est-il uniforme chez tous les individus?
- c) À partir de quel taux approximatif d'alcoolémie les expériences montrent-elles une dégradation mesurable des fonctions cérébrales et corporelles?
15. a) Qu'entend-on par:
- effet Mandelbaum,
 - espace vide,
 - focalisation dans l'obscurité?
- b) Pourquoi ces notions sont-elles importantes pour la sécurité dans la surveillance visuelle pour la prévention des collisions?
16. a) Qu'entend-on par tache aveugle de Mariotte?
- b) Comment ce phénomène peut-il influencer sur la sécurité lorsque le pilote effectue la surveillance visuelle depuis le poste de pilotage?
- c) Comment réduire le risque afférent à ce phénomène?
17. a) Qu'entend-on par la position de référence des yeux?
- b) Pourquoi le pilote devrait-il faire en sorte que ses yeux soient dans cette position? Indiquer comment cela influe sur la sécurité.
- c) Est-il physiquement possible pour tous les pilotes de prendre cette position?
18. a) Quelles sont les illusions visuelles ou réactions à l'intérieur d'un aéronef associées aux conditions suivantes:
- effet autocinétique,
 - effet stroboscopique,
 - chasse-neige,
 - accélération,
 - brouillard,
 - terrain en pente,
 - piste en pente,
 - trou noir?
- b) Quelles sont les étapes générales de base (en citer trois) à suivre pour se protéger contre l'effet des illusions?
19. En ce qui concerne la vue:
- a) Qu'entend-on par accommodation, adaptation à l'obscurité, acuité visuelle?
- b) Quel est le lien entre ces phénomènes et la sécurité?
20. Quel est le principe lié à la modification des performances humaines connu sous le nom d'effet de Hawthorne?
21. a) Qu'entend-on par renforcement du comportement?
- b) Donner deux exemples respectivement de renforcement positif et de renforcement négatif.
- c) Quelles précautions (en citer quatre) doit-on prendre quand le recours au renforcement négatif est indiqué?
22. a) Qu'entend-on par motivation d'accomplissement?
- b) En quoi cette notion est-elle pertinente pour le travail du pilote et la sécurité des vols?
- c) Cette motivation peut-elle être facilement développée?
23. On associe souvent l'ennui à une faible performance.
- a) Citer quatre conditions de base souvent associées à l'ennui.
- b) Certaines tâches engendrent-elles forcément l'ennui? Expliquer.
24. a) Quelles sont les caractéristiques personnelles (en donner cinq) souvent associées au leadership?
- b) Naît-on leader ou le devient-on? Expliquer.
25. Expliquer le sens des mots suivants et ce qui les différencie:
- a) leadership;
 - b) autorité;
 - c) domination.
26. Les communications verbales sont souvent à l'origine d'erreurs, d'incidents et d'accidents.
- a) Quel rôle dangereux peuvent jouer les attentes dans les communications verbales à bord d'un aéronef?
- b) En donner un exemple tiré des communications en radiotéléphonie.

- c) Quels sont les moyens (en citer quatre) qui permettent de se prémunir contre ce danger?
27. a) Expliquer, en insistant sur l'aspect sécurité, la différence entre personnalité, attitudes, croyances et opinions.
- b) Indiquer comment (un exemple dans chaque cas) un trait de personnalité ou une attitude peuvent avoir une incidence négative sur la sécurité des opérations.
- c) Dans quelle mesure est-il possible de modifier, par la formation, la personnalité et les attitudes des pilotes dans leur activité professionnelle?
28. On distingue trois composantes dans les attitudes.
- a) Nommer ces trois composantes.
- b) Établir un lien entre ces composantes et les attitudes face à l'utilisation des listes de vérification dans le poste de pilotage.
29. En quoi le jugement personnel peut-il être influencé par l'appartenance à un groupe ou une équipe en ce qui concerne:
- a) la disposition à prendre des risques;
- b) les inhibitions;
- c) le respect des règles.
30. Éducation et instruction sont deux aspects de l'enseignement.
- a) Expliquer la différence et le rapport entre les deux.
- b) Auquel de ces deux aspects peut-on rattacher l'apprentissage portant sur les habiletés de pilotage, les connaissances de base concernant les facteurs humains, la planification des vols, les systèmes aéronautiques, la physique, les procédures d'urgence aéronautiques?
- c) Donner un exemple qui illustre la différence entre connaissances et habiletés.
31. a) Qu'entend-on par transfert de formation négatif?
- b) En donner un exemple dans lequel la sécurité de vol peut être compromise.
- c) Qu'entend-on par fidélité des dispositifs de formation; est-elle indispensable à l'efficacité de la formation? Expliquer.
32. La mémoire peut avoir un effet important sur la sécurité. À cet égard:
- a) Qu'entend-on par surapprentissage?
- b) Qu'entend-on par mémorisation par blocs?
- c) Quelle est la différence entre l'efficacité de la mémorisation d'activités continues et d'activités en série?
33. a) Qu'entend-on par retour d'information dans le domaine de la formation?
- b) Qu'entend-on par systèmes à boucle ouverte et à boucle fermée?
- c) Quelle est la différence entre retour d'information intrinsèque et extrinsèque, et pourquoi est-il important, pour l'efficacité de l'entraînement au vol, que les instructeurs et les élèves-pilotes connaissent cette différence?
34. Le codage par couleurs est un moyen utile de repérer les différentes sections d'un manuel, ce qui peut devenir crucial lorsqu'il faut trouver rapidement des renseignements, par exemple en cas d'urgence. Citer deux contraintes liées à l'utilisation des couleurs à cette fin.
35. L'évaluation de l'équipement du poste de pilotage et de l'équipement de sécurité est souvent faite au moyen de questionnaires à remplir par les pilotes. La valeur de l'évaluation dépend de celle des questions et des réponses. À ce sujet, qu'entend-on par:
- a) parti pris de prestige;
- b) questions ouvertes et questions fermées;
- c) effet de l'ordre de présentation;
- d) option moyenne;
- e) acquiescement, multiplicité et attentes dans les questions.
36. a) Quelles sont les trois voies sensorielles employées pour capter l'information des affichages du poste de pilotage dans les gros avions commerciaux?
- b) Donner deux différences opérationnelles fondamentales entre «affichages» audibles et visuels.
37. a) Lorsqu'ils sont placés sous un angle de vision indirect, la plupart des instruments électromécaniques à cadran rond deviennent difficiles à lire, ce qui peut entraîner des erreurs, en raison de deux facteurs. Lesquels?
- b) Donner, dans chaque cas, deux raisons liées à l'exploitation qui peuvent amener à préférer l'affichage numérique ou l'affichage analogique.
38. a) Citer trois fonctions fondamentales d'un système d'alarme de poste de pilotage.

- b) Qu'entend-on par avertissement intempestif et en quoi diffère-t-il de l'avertissement erroné? Quelles peuvent en être les conséquences sur le comportement et la sécurité?
 - c) Comment un système d'alarme peut-il causer un transfert de formation négatif et quel est le risque qui peut en résulter pour la sécurité de vol?
39. a) Qu'entend-on par rapport commande-affichage et résistance des commandes? Quelles sont les incidences sur l'utilisation?
- b) Citer quatre méthodes de codage des commandes visant à réduire les erreurs d'utilisation.
 - c) Citer cinq moyens de se prémunir contre les conséquences néfastes de l'actionnement par inadvertance d'un commutateur.
 - d) Qu'entend-on par les concepts de commutateurs *forward-on* (actionnés par un mouvement vers l'avant) et *sweep-on* (actionnés par un mouvement de balayage)? Quelles sont les conséquences à prévoir, du point de vue de l'exploitation et de la sécurité, lorsqu'on modifie l'emplacement de tableaux de l'un ou l'autre type dans le poste de pilotage?
40. a) Citer deux effets possibles de l'automatisation des tâches du poste de pilotage sur le comportement, pouvant avoir une incidence néfaste sur la sécurité.
- b) Donner trois raisons importantes qui justifient l'automatisation des tâches dans le poste de pilotage.
41. a) Dans quelles circonstances le manque d'uniformité du rangement de l'équipement d'urgence dans la cabine, au sein du parc aérien d'un transporteur, peut-il être particulièrement dangereux?
- b) Pourquoi le personnel de cabine doit-il connaître les dispositifs de réglage du siège des pilotes?
42. a) Qu'entend-on par poste de pilotage stérile?
- b) Cette notion a-t-elle un caractère légal ou réglementaire? Expliquer.
 - c) Nommer respectivement deux activités de la cabine et du poste de pilotage qui tomberaient sous le coup de cette restriction.
43. a) Qu'est-ce qui limite fondamentalement l'emploi du codage par couleurs et d'affichettes pour favoriser le meilleur usage possible de l'équipement d'urgence?
- b) Citer deux problèmes importants associés à l'exposé fait aux passagers sur la sécurité, qui peuvent compromettre la survie en cas d'urgence; suggérer deux moyens d'atténuer ces problèmes.
 - c) Nommer quinze aspects différents de l'aménagement intérieur des cabines qui exigent la prise en compte des facteurs humains pour optimiser la sécurité; expliquer en quoi ces aspects influent sur la survie en cas d'urgence.
-

Appendice 3 au Chapitre premier

FACTEURS HUMAINS APPLIQUÉS DANS LE CONTRÔLE DE LA CIRCULATION AÉRIENNE — Étude de cas fictive

Facteurs humains: l'expression est maintenant connue de presque tout le monde dans l'ATC. Mais chacun est-il familiarisé avec les modèles théoriques qui leur sont associés? Et, ce qui est plus important, les gens savent-ils que les facteurs humains ne sont pas simplement une théorie, et qu'ils sont quotidiennement à l'oeuvre dans notre milieu de travail?

Le but de cet appendice est d'illustrer, au moyen d'un exemple, ce dont il s'agit lorsqu'on parle de facteurs humains dans l'ATC. Cette étude de cas est articulée en trois parties. La Partie I décrit les circonstances dans lesquelles un accident s'est produit. La Partie II donne plus de renseignements sur les antécédents des personnes impliquées (questions de facteurs humains), tandis que la Partie III indique quelles améliorations auraient pu (ou pourraient) être apportées pour éviter qu'un tel accident se produise (ou se reproduise).

PARTIE I LES CIRCONSTANCES

Aux premières heures d'un lundi matin d'automne, un biréacteur de transport ayant à son bord cinq membres d'équipage et 63 passagers entre en collision, pendant sa course au décollage à l'aéroport de Touchamp, avec un petit bimoteur à hélices n'ayant à son bord qu'un seul navigant, qui avait fait intrusion sur la piste de départ. L'incendie qui se déclare détruit les deux appareils et entraîne la mort de la plupart des passagers.

L'aéroport de Touchamp est un aéroport de taille moyenne avec une seule piste à laquelle il est possible d'accéder (ou qu'il est possible de quitter) par plusieurs intersections. C'est un aérodrome contrôlé et la tour de contrôle est située 400 m au nord du milieu de piste. Le trafic est en augmentation car plusieurs transporteurs aériens régionaux ont commencé à exploiter des liaisons à destination et en provenance de Touchamp.

Bien qu'étant situé dans une région où il est courant d'avoir chaque année plusieurs jours de brouillard, l'aéroport n'est pas équipé d'un radar de surface (SMR) et n'a pas de balisage lumineux spécial des voies de circulation utilisable par faible visibilité.

Le personnel du contrôle de la circulation aérienne à Touchamp est insuffisant, mais il n'a pas été jugé nécessaire

jusqu'à présent d'imposer des restrictions sur les mouvements aériens à destination et en provenance de cet aéroport. Une fréquence discrète est utilisée pour le guidage des avions qui circulent à la surface («contrôle au sol»).

Au moment de la collision, la visibilité moyenne était d'environ 700 m avec des bancs de brouillard, tout juste suffisante pour permettre au contrôleur de la tour de voir la partie centrale de la piste. Par contre, la vision du contrôleur sur l'intersection où l'avion intrus avait pénétré sur la piste était obstruée par l'extension nouvellement construite de l'aérogare de Touchamp.

L'ATCO était un contrôleur très expérimenté, ayant à son actif plusieurs années de contrôle de la circulation aérienne dans de grands centres; il avait été transféré à Touchamp huit mois seulement avant la date de l'accident, pour assumer des fonctions d'instructeur de formation en cours d'emploi.

L'ATCO était seul dans la tour de contrôle, car son assistant/contrôleur au sol (beaucoup moins expérimenté) avait quitté la TWR un court moment pour satisfaire un besoin naturel. Tous deux achevaient leur troisième quart de nuit consécutif et avaient pris leur service la veille à 22 heures; lorsque l'accident est survenu, il ne leur restait plus qu'une demi-heure de travail avant la relève.

L'équipage du biréacteur avait l'expérience des vols à destination et en provenance de Touchamp. De son point de vue, il n'y avait rien d'inhabituel dans la façon dont son vol était pris en charge par l'ATC. Il avait roulé au sol en se dirigeant vers la piste avec les précautions particulières qu'exigeait le brouillard; après avoir reçu l'autorisation de décoller, il s'était assuré d'être correctement aligné sur l'axe de piste avant d'appliquer la puissance de décollage.

Le pilote de l'avion à hélices ne connaissait pas l'aéroport de Touchamp, ayant été envoyé là au pied levé pour aller chercher un avion qui avait dû se détourner sur Touchamp deux jours plus tôt pour des raisons météorologiques.

PARTIE II ANTÉCÉDENTS — LES FACTEURS HUMAINS

Même si l'ATCO était un contrôleur fort expérimenté, il n'avait effectué qu'un petit nombre de quarts en solo à la tour de contrôle (TWR) de Touchamp. Ayant validé sa qualification TWR au début de l'été, il s'était occupé depuis lors au cours de la plupart de ses quarts de dispenser la formation en cours d'emploi. Du fait du manque de personnel, il devait faire sa

part des équipes de nuit comme tous les autres contrôleurs. Le quart au cours duquel l'accident est survenu était seulement le **deuxième** qu'il effectuait à la TWR de Touchamp dans des conditions de brouillard et de faible visibilité; le premier avait eu lieu la nuit précédente, où il n'y avait guère eu de trafic car c'était le quart du samedi au dimanche.

Plusieurs années plus tôt un incident s'était produit à Touchamp, avec l'intrusion d'un véhicule sur la piste dans des conditions météorologiques analogues à celles de l'événement. Une des recommandations formulées à l'époque était l'installation d'un SMR, ainsi que la mise en place de barres d'arrêt à toutes les intersections de la piste. Les autorités avaient décidé que, vu le nombre limité de jours (de brouillard) qui justifieraient l'utilisation d'un SMR, l'avantage de disposer du SMR ne justifierait pas les coûts de son installation. Le même raisonnement s'appliquait à l'installation de barres d'arrêt; au lieu de celles-ci, des panneaux peints avaient été disposés dans l'herbe près des intersections pour informer ceux qui les apercevaient de la présence d'une «piste en avant».

Lorsque le trafic du petit matin commença à s'animer, l'ATCO et son G/C travaillaient chacun sur une fréquence R/T indépendante. Quand le G/C annonça qu'il devait se rendre un instant aux toilettes, l'ATCO lui dit d'y aller, pensant prendre lui-même en charge les deux fréquences. Pour ce faire, l'ATCO devait se déplacer physiquement entre deux positions de contrôle dans la TWR, séparées entre elles d'environ 3 m; en effet, l'aéroport de Touchamp n'était pas équipé d'une installation de couplage de fréquences. Les transmissions effectuées sur l'une des fréquences ne pouvaient pas être entendues par les stations à l'écoute sur l'autre fréquence.

Le pilote de l'avion à hélices était arrivé à Touchamp la veille, tard dans la nuit. Après un court somme, il s'était rendu rapidement à l'aéroport pour perdre le moins de temps possible. Après le minimum de préparatifs nécessaires, il avait rejoint son avion et appelé l'ATC pour obtenir l'autorisation de rouler au sol en direction de la piste. Il avait obtenu l'autorisation mais s'était bientôt trouvé perdu dans le brouillard sur cet aéroport qu'il ne connaissait pas. Le fait qu'il n'y ait pas de panneaux indiquant la dénomination des diverses intersections de la piste ne l'aidait pas.

Les enregistrements R/T ont révélé que le pilote de l'avion à hélices avait alors appelé le G/C (par R/T) et avait demandé des «consignes pour roulage au sol progressif». Le G/C avait répondu en demandant sa position. Le pilote avait dit: «Je pense que j'approche de l'intersection Foxtrot», sur quoi le G/C avait répondu: «À Foxtrot roulez tout droit». En fait, le pilote avait déjà dépassé Foxtrot, et il aurait dû virer sur la voie de circulation parallèle. La consigne du G/C, bien que techniquement correcte, avait amené le pilote à se diriger en roulant au sol vers la piste où le biréacteur avait entrepris sa course au décollage. Étant donné que les communications avec les deux avions avaient lieu sur des fréquences différentes, aucun des deux pilotes n'était averti de ce qui se passait.

Après la collision, il a fallu plusieurs minutes à l'ATCO pour se rendre compte que quelque chose n'allait pas. Bien

sûr, il n'avait pas vu passer le biréacteur en partance sur la section de la piste qui lui était visible, mais il avait d'abord pensé que c'était à cause des bancs de brouillard et/ou parce qu'il avait été distrait par le trafic sur la fréquence du G/C.

À part le brouillard, l'ATCO ne pouvait pas voir la partie de la piste où la collision s'était produite parce que la nouvelle extension de l'aérogare lui bloquait la vue. Ainsi, c'est seulement lorsqu'il voulut transférer le biréacteur partant au contrôleur suivant (contrôle départ) qu'il se rendit compte que les choses ne se passaient pas comme il l'aurait fallu, car ses transmissions au biréacteur restaient sans réponse.

Au même moment le G/C, revenu peu après l'accident, signalait n'avoir plus de contact avec l'avion à hélices qui roulait au sol. L'ATCO décida alors d'alerter la brigade anti-incendie, mais comme il n'avait aucune idée où il fallait l'envoyer, on perdit encore un temps précieux pendant que les véhicules de sauvetage cherchaient à s'orienter dans le brouillard. Arrivés finalement sur le site de l'accident, ils constatèrent qu'ils ne pouvaient pas faire grand chose, l'épave étant presque entièrement carbonisée.

PARTIE III MESURES PRÉVENTIVES

Si un SMR avait été installé selon la recommandation formulée après l'autre incident, cela aurait assuré les lignes de défense suivantes (par ordre d'importance décroissante):

- des instructions de roulement au sol appropriées auraient pu être données à l'avion «perdu»;
- l'ATCO aurait observé l'intrusion sur la piste;
- le site de la collision aurait été facilement identifié;
- des instructions adéquates auraient pu être données aux véhicules de sauvetage.

Cela vaut également pour les barres d'arrêt. Si elles avaient été installées, l'avion à hélices ne serait fort probablement pas entré sur la piste.

Tout au moins, des procédures spéciales pour Opérations par faible visibilité à Touchamp auraient dû être élaborées et être en vigueur pour limiter le nombre de mouvements à l'aéroport. Les ATCO auraient dû recevoir un entraînement à l'application de ces procédures spéciales, idéalement sur simulateur, pour les aider à faire face à une situation inhabituelle susceptible de se produire.

En s'entretenant avec les autorités aéroportuaires, les responsables de l'ATC auraient dû s'opposer fermement aux projets d'extension de l'aérogare. Or, n'ayant reçu aucun avis des ATCO opérationnels (qui n'étaient pas disponibles pour assister aux réunions à cause de la pénurie de personnel), les autorités ne savaient même pas que cela poserait un problème de ligne de vision depuis la TWR.

L’ATCO n’aurait pas dû se trouver dans une situation où il était obligé de travailler seul à deux positions. Pour que le trafic soit pris en charge en toute sécurité, il faut que toutes les positions ATC soient constamment occupées par un personnel suffisant.

L’installation d’un coupleur de fréquences aurait pu contribuer à éviter que la collision se produise. Or, les autorités aéronautiques considèrent ces systèmes comme «facultatifs», de sorte que peu d’installations ATC en sont dotées.

Les responsables devraient veiller à ce que les instructeurs de formation en cours d’emploi aient l’occasion de maintenir leurs habiletés aux positions où ils sont censés enseigner, en les affectant régulièrement à des tâches sans stagiaires. Ces tâches devraient être suffisamment stimulantes pour permettre à l’instructeur de pratiquer ses habiletés (autrement dit: des quarts sans trafic, pouvant sembler corrects dans un tableau de service, sont sans intérêt pour ce qui est de maintenir les habiletés).

S’il y avait eu un programme d’entraînement bien conçu, en corrélation avec le tableau de service, les responsables se seraient rendu compte que l’ATCO, bien que qualifié, n’avait pu se familiariser avec le travail à TWR Touchamp par faible visibilité. Idéalement, ils n’auraient pas dû programmer qu’il soit de quart sans supervision alors que des conditions de faible visibilité étaient prévues.

Une formation spécialisée aux opérations par faible visibilité aurait sensibilisé l’ATCO aux dangers existants, l’incitant à être plus positif en guidant l’avion perdu qui roulait au sol. Il n’aurait tout au moins pas donné au pilote des informations non pertinentes.

Il est scientifiquement établi que lorsque des personnes engagées dans des tâches cognitives (comme l’ATC) sont de service plusieurs nuits consécutives, leur performance diminue

fortement la deuxième nuit et les suivantes, surtout entre 3 heures et 7 heures du matin. L’ATCO de Touchamp était à sa troisième nuit consécutive, ce qui peut expliquer pourquoi il ne s’est pas rendu compte d’une situation potentiellement dangereuse qui dans d’autres circonstances ne lui aurait pas échappé. En établissant les quarts pour les ATCO, il est à conseiller de limiter au minimum absolu le nombre de nuits de service consécutives.

Sur la base des prévisions météorologiques et en tenant compte du fait que le pilote du bimoteur à hélices ne connaissait pas Touchamp, on peut soutenir que l’exploitant aurait mieux fait d’envoyer **deux** pilotes pour aller chercher l’avion. Même avec une connaissance limitée des principes CRM, un second pilote aurait pu éviter que le pilote aux commandes agisse comme il l’a fait.

ÉPILOGUE

Il y a dans la Partie III une longue liste de défaillances latentes qui ont toutes contribué à créer la fenêtre d’opportunité dans laquelle l’accident a pu se produire. Mais y a-t-il aussi dans l’histoire des défaillances actives? D’après la théorie il faut qu’il y en ait, sans quoi il n’y aurait pas d’accident.

Et il y a effectivement deux défaillances actives: une de la part du pilote de l’avion à hélices et une de l’ATCO. Le pilote n’a pas remarqué qu’il entrait sur la piste et l’ATCO n’a pas réagi adéquatement à l’indication du pilote disant qu’il s’était perdu en roulant au sol.

Il est important de noter que la défaillance active du pilote n’aurait pas pu se produire sans que celle de l’ATCO survienne en premier lieu. En d’autres mots: une seule défaillance active était tout ce qu’il fallait pour amener l’accident à se produire, puisque l’opportunité qui a permis qu’il se produise avait été créée longtemps à l’avance.

CHAPITRE 2

FORMATION À LA GESTION DES RESSOURCES EN ÉQUIPE DANS LE POSTE DE PILOTAGE (CRM)

2.1 INTRODUCTION

2.1.1 Le présent chapitre s'adresse aux responsables des administrations de l'aviation civile et des exploitants dans le but de les aider à inclure la formation en matière de performances humaines dans leurs programmes de formation de personnel d'exploitation, c'est-à-dire des personnes participant à la conception, à l'administration et à la recherche en matière de formation en facteurs humains et en CRM, et notamment des gestionnaires responsables de formation, de facteurs humains ou de CRM. Bien qu'il s'agisse ici surtout de formation de l'équipage de conduite, les notions de base présentées s'appliquent également aux équipages de cabine et aux agents techniques d'exploitation.

2.2 FORMATION À LA GESTION DES RESSOURCES EN ÉQUIPE DANS LE POSTE DE PILOTAGE (CRM)

Spécifications de l'Annexe 6 relatives aux facteurs humains

2.2.1 En 1994, la Commission de navigation aérienne de l'OACI a examiné l'Annexe 6 (*Exploitation technique des aéronefs*) et adopté une proposition visant à insérer dans cette annexe une norme relative à l'instruction initiale et à l'instruction périodique des équipages de conduite en matière de performances humaines. Cette norme, faisant l'objet de l'Amendement n° 21 de l'Annexe 6, est devenue applicable en novembre 1995.

2.2.2 Le texte de l'amendement, figurant dans la 1^{re} Partie de l'Annexe, Chapitre 9 (Équipage de conduite des avions), 9.3.1, indique que:

«... Le programme d'instruction portera également sur les connaissances et les aptitudes relatives aux performances humaines...»

Il est stipulé en outre que:

«... Ce programme d'instruction sera répété à intervalles réguliers, déterminés par l'État de l'exploitant...»

2.2.3 En 1995, la Commission de navigation aérienne a réexaminé l'Annexe 6 et adopté une proposition visant à y

insérer des normes supplémentaires et une pratique recommandée relatives à l'instruction du personnel de maintenance, des agents techniques d'exploitation et du personnel de cabine en matière de performances humaines. Les diverses normes et pratiques recommandées, promulguées au titre de l'Amendement n° 23 de l'Annexe 6, sont devenues applicables en novembre 1998.

2.2.4 Le texte de l'amendement, figurant dans la 1^{re} Partie de l'Annexe, Chapitre 8 (Entretien des avions), 8.7.5.4, indique que:

«... Le programme de formation établi par l'organisme de maintenance comprendra une formation théorique et pratique sur les performances humaines, y compris la coordination avec les autres membres de personnel de maintenance et avec les équipages de conduite.»

2.2.5 De plus, la 1^{re} Partie de l'Annexe, Chapitre 10 (Agent technique d'exploitation), 10.2, indique que:

«Il est recommandé qu'un agent technique d'exploitation ne reçoive une affectation que s'il a:

...

- d) prouvé à l'exploitant qu'il possède les connaissances et les aptitudes en matière de performances humaines qui sont applicables aux fonctions d'agent technique d'exploitation;».

Il est recommandé en outre en 10.3 que:

«... tout agent technique d'exploitation qui a reçu une affectation se maintienne au courant de tous les aspects de l'exploitation qui se rapportent à son affectation, y compris les connaissances et les aptitudes en matière de performances humaines.»

2.2.6 Enfin, la 1^{re} Partie de l'Annexe, Chapitre 12 (Équipage de cabine), 12.4, indique que l'exploitant veillera, par son programme de formation des équipages de cabine:

«... à ce que chaque personne:

...

- f) soit bien informée des performances humaines intéressant les fonctions remplies en cabine qui sont

liées à la sécurité, y compris en ce qui concerne la coordination entre les membres de l'équipage de conduite et les membres de l'équipage de cabine.»

Il est aussi stipulé en 12.4 que les membres des équipages de cabine suivront chaque année un programme de formation.

Incidences des spécifications de l'Annexe 6 relatives aux facteurs humains

2.2.7 Les amendements n^{os} 21 et 23 de l'Annexe 6 ont d'importantes conséquences pour le monde de l'aviation internationale. L'obligation de développer chez les membres d'équipage de conduite et autres membres du personnel d'exploitation des connaissances et des aptitudes relatives aux facteurs humains a le même poids que les obligations qui ont trait aux systèmes et aux procédures, dans les situations normale, anormale et d'urgence. Le défaut de se conformer à l'obligation de dispenser un enseignement en matière de performances humaines équivaldrait à l'inobservation d'une norme internationale. La plupart des exploitants se conforment à cette obligation, principalement en donnant une formation en gestion des ressources en équipe dans le poste de pilotage (CRM) et entraînement type vol de ligne (LOFT).

Évolution de la CRM

2.2.8 Pour commencer, il est important de placer la CRM dans le cadre de la formation en matière de facteurs humains: la CRM n'est que l'une des applications pratiques de cette formation, visant à soutenir les réactions de l'équipage aux menaces et aux erreurs qui se manifestent dans le contexte de l'exploitation. La formation en CRM a pour objet de renforcer la prévention des incidents et des accidents.

2.2.9 La CRM est une stratégie largement appliquée dans le monde de l'aviation en tant que formation visant à contrecarrer les conséquences de l'erreur humaine. Jusqu'à récemment, la CRM était définie comme étant le recours à toutes les ressources dont l'équipage disposait pour gérer l'erreur humaine. Les transporteurs aériens ont consacré des moyens considérables à la mise au point de programmes de CRM caractérisés par une multiplicité de formes et de conceptions. On trouvera ci-dessous une brève description de l'évolution de la CRM illustrant l'évolution du concept depuis ses débuts et sa mise en application pratique.

2.2.10 L'origine de la CRM remonterait à un atelier commandité par la NASA en 1979, Resource Management on the Flight Deck (Gestion des ressources du poste de pilotage), rejeton de recherches effectuées par la NASA sur les causes des accidents d'avion. Les recherches présentées lors de cet atelier attribuaient les erreurs humaines ayant causé la majorité de ces accidents à des défaillances dans les communications entre personnes, dans les processus de décision et dans le commandement. C'est là que l'appellation «Cockpit Resource Management» ou CRM a été employée pour désigner le

processus d'instruction des équipages au sujet des «erreurs-pilote», qui fait appel à une utilisation améliorée des ressources disponibles dans le poste de pilotage. Nombre de transporteurs aériens représentés à cet atelier se sont engagés à mettre sur pied de nouveaux programmes de formation visant à renforcer les aspects interpersonnels des activités en vol. Depuis lors, les programmes d'instruction CRM prolifèrent partout dans le monde. Les façons de l'aborder ont aussi évolué au cours des années écoulées.

Première génération de la CRM

2.2.11 United Airlines a mis en route le premier programme complet de CRM en 1981. La formation a été mise au point avec l'aide d'experts-conseils qui avaient déjà élaboré des apprentissages pour des entreprises désirent accroître l'efficacité de leurs gestionnaires. Ce programme a été réalisé dans un cadre de formation intensive incluant l'analyse diagnostique, par chaque participant, de son propre style de gestion. Dans ce domaine, d'autres programmes reposaient largement sur les principes de la formation de gestionnaires. Ces programmes mettaient l'accent sur la modification des styles personnels et la correction de faiblesses du comportement individuel, par exemple le manque d'assertivité chez les subalternes et l'autoritarisme chez les commandants de bord; le National Transportation Safety Board insistait particulièrement sur le refus d'un commandant de bord d'accepter l'opinion d'un membre subalterne de l'équipage (ce qu'on désigne parfois sous le terme «wrong stuff») et sur le manque d'assertivité d'un mécanicien navigant, comme facteurs déterminants lors de l'accident aérien d'un appareil d'United Airlines en 1978.

2.2.12 Les séminaires CRM de la première génération étaient fondés sur la psychologie et largement centrés sur les tests psychologiques et sur des notions générales de gestion comme celle d'aptitude au commandement. Ils préconisaient des stratégies de comportement interpersonnel sans définir clairement un comportement approprié dans le poste de pilotage. Beaucoup de ces séminaires faisaient appel, à titre d'illustration, à des jeux et à des exercices sans rapport avec l'aviation. On était aussi conscient du fait que l'instruction CRM ne devrait pas être une expérience isolée dans la carrière d'un pilote, mais que des stages annuels de CRM devraient faire partie du programme. Outre des cours théoriques, certains programmes comportaient des exercices complets sur simulateur de mission (entraînement type vol de ligne ou LOFT), destinés à permettre aux équipages de pratiquer les relations interpersonnelles sans être pénalisés. Cependant, bien qu'ils fussent acceptés dans l'ensemble, certains de ces cours ont suscité la résistance de quelques pilotes qui les dénoncèrent comme «écoles de charme» ou tentatives de manipulation de la personnalité.

Deuxième génération de la CRM

2.2.13 La NASA a organisé, pour l'industrie, un autre atelier en 1986. Dès cette époque, un grand nombre de

transporteurs aériens, dans le monde entier, avaient mis sur pied une formation CRM et nombre d'entre eux avaient décrit les succès et les défauts de leurs programmes. Certains groupes de travail présents en ont tiré la conclusion que l'instruction CRM explicite (ou isolée) finirait par disparaître en tant qu'élément de formation distinct et qu'elle serait incorporée à la structure de l'instruction en vol et des opérations aériennes.

2.2.14 À la même époque, une nouvelle génération de cours de CRM commençait à voir le jour. En même temps qu'un changement d'orientation en faveur de la dynamique de groupe dans le poste de pilotage, il s'est produit un glissement d'appellation de «Gestion des ressources de cockpit» à «Gestion des ressources en équipe». Les nouveaux cours traitaient de notions reliées plus spécifiquement aux questions d'aviation; ils devenaient plus modulaires et plutôt basés sur le travail en équipe. La formation de base faisant l'objet de séminaires intensifs englobait des notions comme la synergie de groupe, les stratégies de briefing, la prise de conscience des situations et la gestion du stress. Des modules spécialisés traitaient des stratégies de prise de décision et de la rupture de l'enchaînement des erreurs susceptibles d'aboutir à une catastrophe. Beaucoup de ces cours, pour démontrer des concepts, étaient encore basés sur des exercices sans rapport avec le domaine de l'aviation. Les participants, dans l'ensemble, les acceptaient mieux que ceux de la première génération, tout en maintenant quelques critiques à l'encontre de leur contenu trop lourdement psychologique pour certains. Les cours de deuxième génération sont encore dispensés dans de nombreux pays.

Troisième génération de la CRM

2.2.15 Au début des années 90, la formation CRM a commencé à suivre de multiples voies. L'enseignement dispensé a commencé à refléter les caractéristiques du système d'aviation dans lequel chaque équipage doit fonctionner, y compris les paramètres à entrées multiples — comme la culture d'entreprise — déterminants pour la sécurité. À cette époque, on s'efforçait d'intégrer la CRM à la formation technique et de mettre l'accent sur les aptitudes et comportements spécifiques permettant aux pilotes de fonctionner efficacement. Plusieurs lignes aériennes ont commencé à intégrer des modules traitant de questions relatives à la CRM dans l'utilisation des automatismes du poste de pilotage. Des programmes ont aussi commencé à s'intéresser à la reconnaissance et à l'évaluation¹ de questions relatives aux facteurs humains. Simultanément, une formation CRM avancée a vu le jour, s'adressant aux pilotes inspecteurs et autres responsables d'enseignement, de perfectionnement et d'évaluation de compétences en matière de techniques et de facteurs humains.

2.2.16 La CRM étant spécialisée dans la formation des équipages de conduite, des transporteurs aériens ont décidé de l'étendre à d'autres groupes, tels que les agents de bords, les agents techniques d'exploitation et le personnel de maintenance. Un grand nombre de compagnies aériennes ont commencé à donner des stages CRM conjoints aux équipages de conduite et de cabine. Certaines ont aussi mis au point des stages CRM

spécialisés s'adressant aux nouveaux commandants de bord et axés sur le rôle de chef caractérisant les responsabilités du commandement.

2.2.17 Les cours de troisième génération répondaient au besoin évident de généraliser le concept appliqué à l'équipage de conduite; cependant, en élargissant la portée de la formation CRM, ces cours peuvent aussi avoir comme conséquence involontaire de diluer la concentration originale désirée sur la gestion de l'erreur humaine.

Quatrième génération de la CRM

2.2.18 En 1990, la Federal Aviation Administration des États-Unis a apporté une modification importante à la formation et à la qualification des équipages de conduite, sous la forme d'un «Advanced Qualification Program» (AQP), programme volontaire permettant aux transporteurs aériens d'élaborer des formations novatrices répondant aux besoins d'une organisation particulière. En échange d'une flexibilité accrue, il est demandé aux transporteurs de soumettre tous les équipages de conduite à des formations CRM et LOFT et d'intégrer les notions de la CRM à la formation technique. Pour compléter l'introduction de l'AQP, il est exigé des transporteurs aériens qu'ils fournissent l'analyse détaillée des besoins en formation pour chaque type d'aéronef et qu'ils mettent au point des programmes traitant des questions de CRM dans chaque aspect de la formation. De plus, il est exigé de fournir une formation spéciale aux personnes chargées de la certification des équipages et de leur évaluation à l'entraînement en vol simulé (*Line Operational Evaluation* ou LOE).

2.2.19 Dans le cadre de l'intégration de la CRM, plusieurs compagnies aériennes ont entrepris de «procéduriser» les concepts en cause en ajoutant des comportements spécifiques à leurs listes de vérification en situation normale et anormale. Il s'agit, en fonction de limites impératives, de s'assurer que les décisions prises et les actions entreprises le soient de façon éclairée et que les principes de base de la CRM soient respectés, notamment dans les situations atypiques.

2.2.20 À première vue, il semble que la quatrième génération de CRM peut résoudre les problèmes associés à l'erreur humaine en faisant de la CRM un élément intégrant de toute instruction en vol. Il semble aussi qu'on commence à atteindre le but visé — faire disparaître la formation CRM explicite. Bien que l'on ne dispose pas encore de données empiriques, il est généralement admis, chez les transporteurs aériens des États-Unis, que l'approche AQP entraîne des améliorations dans la formation et les qualifications des équipages de conduite. La situation est, cependant, complexe et la solution n'est pas simple. Avant d'envisager l'ultime version de la CRM, il serait bon de s'arrêter ici et d'examiner ce qui a été accompli en vingt ans de formation CRM.

1. L'évaluation consiste à déterminer le degré de conformité à certains comportements, *non* à évaluer formellement les aptitudes liées aux facteurs humains.

Les succès et les échecs de la formation CRM

Validation de la CRM

2.2.21 La question fondamentale de savoir si la formation CRM permettra d'atteindre l'objectif d'augmentation de la sécurité et de l'efficacité des vols ne comporte pas de réponse simple. Le critère de validation le plus évident — le taux d'accidents par million de vols — ne peut pas servir, car le taux d'accidents général est si faible et les programmes de formation si variés qu'il ne sera jamais possible de tirer des conclusions des données sur l'impact de la formation au cours d'une période finie. En l'absence d'un critère unique et impératif, les investigateurs sont forcés de recourir à d'autres critères fournissant une indication de façon plus indirecte. Les rapports d'incidents n'ayant pas abouti à des accidents sont un autre critère possible. Toutefois, les rapports d'incident sont facultatifs et il est impossible d'en connaître le véritable taux d'occurrence, qui serait nécessaire pour la validation.

2.2.22 Les deux critères les plus accessibles sont le comportement dans le poste de pilotage et les attitudes d'acceptation ou de rejet des concepts de la CRM. Une évaluation formelle au cours d'une simulation de mission complète (LOE) serait un début. Toutefois, le fait que les équipages puissent faire preuve d'une coordination efficace en équipe au cours d'une évaluation dans des conditions «de pénalité» ne signifie pas qu'ils pratiquent effectivement ces concepts dans les conditions de vol normales. Les données les plus utiles s'obtiennent à partir d'audits en service de ligne au cours desquels les équipages sont sous observation dans des conditions «non punitives». Les données provenant de ces audits, appelés audits de sécurité en service de ligne (LOSA)², montrent que la formation CRM, comportant l'entraînement type vol de ligne (LOFT) et des stages réguliers, produit effectivement les comportements désirés. Cette constatation est conforme aux évaluations de la formation par les participants. Les équipages qui soumettent un rapport d'évaluation des cours signalent que cette formation est efficace et souhaitable.

2.2.23 Les attitudes sont d'autres indicateurs de l'effet obtenu, car elles reflètent les aspects cognitifs des concepts adoptés au cours de la formation. Bien que les attitudes ne prédisent pas parfaitement le comportement, il est bien évident que les personnes dont l'attitude indique le rejet de la CRM sont peu susceptibles d'en suivre les préceptes dans leur comportement. Les attitudes mesurées pour évaluer l'impact de la CRM étaient identifiées comme jouant un rôle dans les accidents et les incidents aériens.

Refus de se conformer aux préceptes de la CRM en service de ligne

2.2.24 Depuis l'époque des premiers cours, certains pilotes rejettent les concepts de la CRM. Ce rejet se retrouve chez tous les transporteurs aériens et les efforts visant à corriger la formation de ces pilotes ne se sont pas, pour l'instant, avérés particulièrement efficaces.

2.2.25 Alors que les pilotes sont, dans leur majorité, en faveur de la CRM, tous les préceptes de cette formation ne sont pas encore passés de la salle de cours au poste de pilotage. Par exemple, un certain nombre de transporteurs aériens ont introduit des modules de CRM visant l'utilisation de l'automatisation dans le poste de pilotage. Cet enseignement recommande la vérification et la confirmation des changements de programmation et le passage au vol manuel plutôt que de reprogrammer des ordinateurs de gestion de vol dans les situations de charge de travail élevée ou dans un espace aérien congestionné. Toutefois, une importante proportion des pilotes observés en service de ligne omettent de se conformer à ces préceptes.

L'adhésion aux concepts de base de la CRM peut se relâcher avec le temps

2.2.26 On a malheureusement constaté, lors de recherches, un relâchement dans l'acceptation des concepts de base de la CRM, même avec une formation périodique. Les raisons n'en sont pas immédiatement apparentes, mais il est possible de spéculer sur ses causes probables. L'une de celles-ci est l'appui insuffisant donné par les dirigeants à la CRM et le défaut d'évaluateurs, comme les pilotes inspecteurs, d'en renforcer la pratique. Une autre cause possible est le fait qu'en évoluant d'une génération à la suivante, on puisse perdre de vue le but original implicite — la gestion des erreurs. La procédurisation de la CRM (c'est-à-dire le fait d'imposer de façon structurée les préceptes de la CRM) peut également obscurcir le but du comportement. À l'appui de ce point de vue, des conversations avec des membres d'équipages auxquels on avait demandé: «En quoi consiste la CRM?» ont fait ressortir la réponse typique suivante: «Une formation pour nous faire travailler mieux ensemble.» La réponse est juste, mais ne représente qu'une partie de l'histoire. Il semble que dans ses efforts pour enseigner aux gens *comment* travailler en équipe, l'industrie pourrait avoir perdu de vue *pourquoi* le travail en équipe est si important. La justification essentielle de la CRM — soutenir les réactions de l'équipage aux menaces et aux erreurs qui se manifestent dans le contexte du service — semble s'être perdue.

La formation CRM ne s'exporte pas bien

2.2.27 Alors que les programmes de formation CRM de première et de deuxième génération commençaient à proliférer, nombre de transporteurs aériens ont commencé, un peu partout dans le monde, à acheter des cours auprès d'autres compagnies aériennes ou organismes de formation. Dans un même pays, les cours provenant d'autres organisations avaient moins d'impact que ceux qui avaient été créés pour refléter la culture d'entreprise et les problèmes d'exploitation du transporteur. La situation devenait encore pire lorsqu'il s'agissait d'acquiescer les cours de formation d'un autre pays.

2. Voir le Doc 9803, *Audit de sécurité en service de ligne (LOSA)*.

Très souvent, les concepts présentés restaient étrangers à la culture nationale des pilotes.

2.2.28 Le scientifique hollandais, Geert Hofstede, a défini des dimensions de la culture nationale dont plusieurs sont pertinentes à l’acceptation de la formation CRM. Des cultures caractérisées par un grand éloignement de l’autorité (EA), telles que les cultures orientales et latino-américaines, insistent sur l’autorité absolue des chefs. Dans ces cultures, les subordonnés hésitent à remettre en question les décisions et les actes de leurs supérieurs parce qu’ils ne veulent pas leur manquer de respect. Ainsi, l’invitation faite aux membres d’équipage subalternes à se montrer plus assurés en discutant avec leur commandant de bord peut fort bien n’avoir aucun écho. Nombre de cultures de ce type sont également collectivistes. Dans les cultures collectivistes, où l’on insiste sur l’interdépendance et la priorité des objectifs de groupe, le concept de travail en équipe et la formation accentuant la nécessité d’un comportement de groupe efficace s’acceptent aisément.

2.2.29 Par contraste, des cultures extrêmement individualistes, telles que la culture nord-américaine, insistent sur l’indépendance par rapport au groupe et sur la priorité des objectifs personnels. Des individualistes peuvent s’accrocher au stéréotype du pilote solitaire bravant les éléments et se révéler moins sensibles aux aspects d’équipe de gestion dans le poste de pilotage. Une troisième dimension, éviter l’incertitude (EI), se rapporte à la nécessité d’un comportement réglementé et de procédures clairement définies. Les cultures caractérisées par un fort EI, telles que les cultures latino-américaines, peuvent accepter plus facilement les concepts de CRM qui sont définis en termes de comportements exigés. Les Anglo-Saxons ont un faible EI, ce qui se reflète pratiquement sous la forme d’une plus grande flexibilité comportementale, mais aussi sous celle d’une adhésion moins forte aux procédures d’exploitation normalisées (SOP).

2.2.30 La gestion de l’automatisation du poste de pilotage est également influencée par la culture nationale. Les pilotes originaires de cultures à fort EA et/ou EI n’hésitent pas à recourir aux systèmes automatiques alors que ceux qui sont originaires de cultures à faible EA et/ou EI vont plus volontiers «découpler». Le faible degré d’EI des pilotes nord-américains peut partiellement expliquer le fréquent refus d’exécuter les listes de vérification et l’acceptation imparfaite de la CRM «procédurisée» dans ce contexte.

2.2.31 Chez les transporteurs internationaux, on constate une tendance croissante à inclure la culture nationale dans la formation CRM et à personnaliser les programmes pour les harmoniser avec sa propre culture. Il s’agit là d’un développement important qui devrait renforcer l’impact de la CRM dans ces organisations.

2.2.32 Étant donné les limitations observées de la CRM et les réactions différentes d’autres cultures à la formation CRM, il faut maintenant passer à la cinquième génération qui prend en compte les insuffisances des méthodes d’enseignement antérieures.

Cinquième génération de la CRM

2.2.33 Pour revenir au concept original de la CRM, on en a conclu que sa justification essentielle devait être la *gestion des erreurs*. Alors que la gestion des erreurs humaines avait déjà imprimé l’élan original à la première génération de la CRM, sa réalisation et son articulation étaient encore imparfaites. Même lorsque la formation recommandait des comportements spécifiques, la raison donnée pour y recourir n’était pas toujours explicite. Ce qu’il faut encourager, c’est une justification mieux définie accompagnée du soutien dynamique de l’organisation.

CRM et gestion des erreurs

2.2.34 La proposition voulant que l’erreur humaine soit universelle et inévitable, et qu’elle soit aussi une source précieuse d’informations, est l’une des prémisses de la CRM à la cinquième génération. Si l’erreur est inévitable, la CRM peut être considérée comme une chaîne de contre-mesures comportant trois lignes de défense. La première est l’évitement de l’erreur. La deuxième consiste à intercepter les erreurs dès qu’elles apparaissent. La troisième consiste à atténuer les conséquences des erreurs qui se sont produites sans avoir été interceptées. On en trouvera la représentation graphique à la Figure 2-1. Le même ensemble de contre-mesures de la CRM s’applique à chaque situation, la différence résidant dans le délai de détection. À titre d’exemple, on peut envisager le cas d’un aéronef de technologie avancée subissant un accident avec impact sans perte de contrôle (CFIT) dû à un point de cheminement erroné introduit dans l’ordinateur de gestion de vol (FMC). Une bonne séance d’instruction sur les procédures d’approche et les pièges possibles, combinée à la communication et à la vérification des données d’entrée aurait probablement éliminé l’erreur. La vérification des données d’entrée avant exécution et le contrôle de position devraient permettre d’identifier les données erronées. Finalement, à titre d’ultime défense, demande et vérification de position devraient aboutir, avant que se produise le CFIT, à une réduction des conséquences d’une commande exécutée par erreur.

2.2.35 Pour faire accepter l’approche «gestion des erreurs», les organisations doivent indiquer qu’elles comprennent que des erreurs se produisent et devraient adopter une attitude non punitive à cet égard (ce qui ne signifie pas qu’elles doivent accepter les violations délibérées de leurs règles et procédures). Outre l’«acceptation» des erreurs, elles devraient prendre des mesures visant à identifier la nature et l’origine d’erreurs dans leurs activités. L’audit de sécurité en service de ligne (LOSA) est l’outil actuellement utilisé par les transporteurs aériens dans ce but. On trouvera une description complète du LOSA dans le manuel *Audit de sécurité en service de ligne (LOSA)* (Doc 9803).

Remarques touchant la cinquième génération de CRM

2.2.36 La cinquième génération de CRM vise à présenter les erreurs comme des événements normaux et à mettre au point

des stratégies pour les gérer. Elle a pour base un enseignement théorique sur les limites des performances humaines, expliquant la nature des erreurs et comportant des observations empiriques qui démontrent les effets dévastateurs d'éléments de stress comme la fatigue, la surcharge de travail et les urgences. Ce sont des sujets qui, naturellement, nécessitent une formation théorique, ce qui montre bien que la CRM devrait continuer à tenir sa place dans la formation initiale et périodique. On en trouvera une illustration remarquable dans les exemples d'accidents et d'incidents dans lesquels l'erreur humaine a joué un rôle déterminant. L'analyse de la performance humaine est naturellement commune à toutes les générations de la formation CRM. Toutefois, on tirera un enseignement encore plus convaincant de l'utilisation d'exemples positifs illustrant la façon dont les erreurs sont détectées et gérées.

2.2.37 On trouve, dans toutes les régions du monde, des pilotes ayant une attitude peu réaliste concernant les effets des facteurs de stress sur leur performance. La majorité d'entre eux, par exemple, estiment qu'un pilote véritablement

expérimenté peut laisser derrière lui ses problèmes personnels lorsqu'il est aux commandes et que sa capacité de décision est la même en cas d'urgence et en cours de vol normal. Un enseignement qui démontrerait qu'il s'agit là d'une croyance erronée ou exagérément confiante, et qu'au contraire, chacun est sensible au stress, pourrait favoriser des attitudes plus réalistes en réduisant le fardeau de la vulnérabilité personnelle. À leur tour, les pilotes qui reconnaissent la dégradation de performance associée au stress devraient adopter plus volontiers la formation CRM en tant que contre-mesure essentielle.

2.2.38 Au moment même où la gestion des erreurs devient la cible primaire de l'enseignement CRM, les instructeurs et les évaluateurs devraient faire l'objet d'une formation visant à reconnaître et renforcer la gestion des erreurs. Cette formation devrait souligner le fait que l'efficacité dans la gestion des erreurs est la marque d'efficacité de la performance en équipe et que des erreurs bien gérées sont les signes d'une performance efficace.

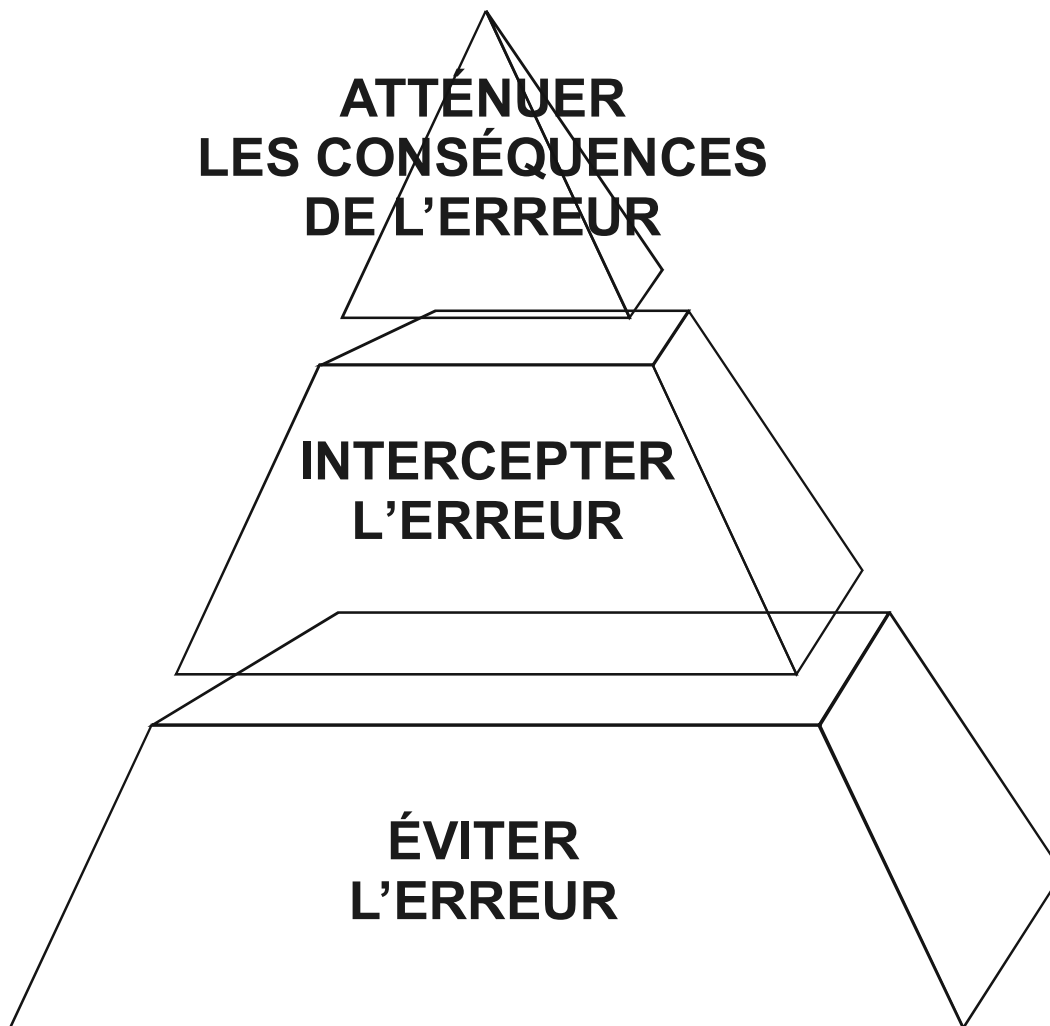


Figure 2-1. Buts primaires de la CRM

Comment la CRM-gestion des erreurs se compare à ses versions antérieures?

2.2.39 La cinquième génération de CRM est née des générations antérieures. Par exemple, la formation spéciale à l’utilisation des automatismes et le rôle dirigeant du commandant de bord, soulignés dans la troisième génération, peuvent être facilement dégagés de ce modèle. L’approche «gestion des erreurs» devrait renforcer l’enseignement en montrant de façon convaincante pourquoi il faut mettre l’accent sur la CRM dans tous les aspects de l’instruction en vol. Dans le même ordre d’idées, l’intégration de la CRM à l’enseignement technique et sa «procédurisation» sont à envisager et sont susceptibles d’être mieux comprises et acceptées quand les buts en sont clairement définis et acceptés par l’organisation. Les pilotes devraient aussi être mieux en mesure de développer des stratégies efficaces de gestion des erreurs dans les situations où les procédures manquent et de regrouper les compétences en CRM qui ne peuvent être «procédurisées».

2.2.40 Des modules de formation, par exemple sur la nature et l’importance des briefings, peuvent être considérés comme des techniques de base de la gestion des erreurs. De même, la formation conjointe des équipages de cabine et de poste de pilotage peut être considérée comme augmentant la portée de la gestion des erreurs constituant l’une des bases de la culture de sécurité. Enfin, l’explication des objectifs de base de la formation CRM pourrait être la meilleure façon de convaincre les sceptiques qui trouveront difficile de nier l’importance de la gestion des erreurs.

La CRM dans son contexte

2.2.41 La CRM n’est pas et ne sera jamais le mécanisme éliminant les erreurs pour assurer la sécurité dans une entreprise à hauts risques telle que l’aviation. L’erreur est le résultat inévitable des limitations naturelles de la performance humaine et une fonction de systèmes complexes. La CRM n’est que l’un des nombreux outils que les organisations peuvent utiliser pour gérer l’erreur humaine.

2.2.42 La sécurité d’exploitation est soumise à l’influence de cultures propres à la profession, à l’organisation et à la nationalité; elle exige d’orienter chacune de ces cultures vers une *culture de sécurité* organisationnelle traitant les erreurs de façon non punitive, mais dynamique. En considérant la CRM dans le contexte de l’aviation, on peut comprendre ses qualités et ses limitations. Ce que nous savons, c’est que la raison d’être de l’enseignement CRM est aussi forte à l’heure actuelle qu’elle l’était quand elle a pris forme sous ce nom.

Résumé des qualités positives de la CRM

2.2.43 En résumé, on voit que ces générations successives de CRM révèlent l’existence des trois bases sur

lesquelles se fonde toute action stratégique visant à assurer sa pertinence et son succès continu:

- des erreurs opérationnelles se produisent dans toutes les entreprises à caractère sociotechnique (humains + technologie);
- une réponse non punitive à une erreur opérationnelle est le meilleur moyen d’identifier des conditions endémiques générant des erreurs au sein d’une organisation;
- les transporteurs aériens tolérant des erreurs opérationnelles et mettant en œuvre des politiques non punitives sont les mieux susceptibles de doter leurs équipages de contre-mesures appropriées aux erreurs opérationnelles.

2.2.44 En se concentrant sur les qualités positives des programmes de CRM, les transporteurs aériens ont remarqué que des programmes efficaces et pertinents sont déterminés par certaines qualités positives:

- a) **Pertinence opérationnelle.** Éviter délibérément les simulations en salle de classe, les activités non opérationnelles et les évaluations de personnalité.
- b) **Recours à l’expérience acquise.** Utiliser les incidents et accidents vécus, qui reflètent des problèmes de sécurité typiques du transporteur. Celui-ci est déterminé à apprendre de ses propres erreurs.
- c) **Permission aux équipages d’évaluer les menaces et leur gestion.** Discuter ouvertement des menaces au sein de la compagnie aérienne et de la façon dont elles sont détectées, traitées et réduites.
- d) **Examen de la gestion efficace ou inefficace des erreurs.** Les contre-mesures efficaces et inefficaces sont soulignées de façon à optimiser l’apprentissage.

2.2.45 Le but essentiel de la formation CRM est d’améliorer la sécurité aérienne grâce à une utilisation efficace de stratégies de gestion des erreurs dans les domaines d’influence individuelle aussi bien que systémique. En conséquence, il est raisonnable de réorienter la CRM comme formation en gestion de menaces et d’erreurs (TEM). L’objectif à atteindre serait donc d’intégrer la TEM à la CRM.

2.3 FORMATION EN GESTION DE MENACES ET D’ERREURS (TEM)

Perspectives de l’analyse des accidents/incidents

2.3.1 À la suite d’accidents et d’incidents aériens, des questions inévitables se posent: «Pourquoi l’équipage ne s’est-il aperçu de RIEN? S’il avait fait ce qu’il est censé faire,

l'accident aurait-il eu lieu?» Et la question la plus décourageante: «Pourquoi une équipe professionnellement formée a-t-elle commis une telle erreur?»

2.3.2 La réplique traditionnelle consiste à analyser l'incident *de l'extérieur et a posteriori*; exemple: l'équipage n'a pas su répondre aux contraintes à cause de compétences de vol insuffisantes ou inappropriées. À partir de cette constatation, la réaction la plus logique, pour s'assurer que l'équipage sera à la hauteur des normes, est évidemment le cours de perfectionnement et la supervision. Les atteintes à la sécurité sont le produit d'erreurs humaines. Bien que cette réaction puisse réparer les brèches dans les défenses, dues à des actions ou à l'inaction de l'équipage, une attaque de plein front des erreurs opérationnelles, l'une après l'autre, n'apportera pas de remède durable, car le nombre et la nature des erreurs à réparer seraient sans limite. Néanmoins, s'attaquer à la moindre faille est, dans l'aviation, la façon traditionnelle de tenter de réparer les erreurs opérationnelles. Les succès limités de cette méthode sont abondamment documentés.

2.3.3 L'autre perspective consiste à considérer l'événement *de l'intérieur et dans son contexte*, en partant du principe que les menaces et erreurs opérationnelles sont inhérentes aux environnements opérationnels dans lesquels elles se manifestent. Cela signifie que des menaces et des erreurs mal gérées par l'équipage se produisent inévitablement en raison de l'imperfection des systèmes, des contextes et des procédures. Les atteintes à la sécurité sont plutôt attribuables à des gens capables, s'efforçant de donner tout son sens à un environnement opérationnellement confus, qu'à des incapables commettant des erreurs.

La perspective TEM

2.3.4 La perspective TEM admet que les menaces et les erreurs sont omniprésentes dans l'environnement opérationnel dans lequel les équipages de conduite travaillent. Les menaces sont des facteurs dont l'origine est extérieure aux moyens d'action de l'équipage de conduite, mais que celui-ci doit gérer; les menaces sont extérieures au poste de pilotage. Elles accroissent la complexité de l'environnement opérationnel et présentent ainsi, pour l'équipage de conduite, le risque de générer des erreurs. Le mauvais temps, les pressions visant à faire respecter les créneaux de départ et d'arrivée, les retards et, plus récemment, les questions de sûreté, ne sont que quelques-uns des facteurs influant sur les activités des vols commerciaux. Les équipages de conduite doivent gérer une multitude inépuisable de menaces et d'erreurs intrinsèques aux opérations aériennes et réaliser néanmoins les objectifs de sécurité et d'efficacité du transport aérien commercial. Quelquefois, ces buts sont apparemment conflictuels. Cependant, la sécurité et l'efficacité ne peuvent se présenter sous la forme d'un axe x-y, mais plutôt sous celle d'une droite continue. Alors que l'efficacité sous-tend la raison d'être de toute entreprise commerciale, les objectifs de sécurité consolident la survie des échanges commerciaux. L'articulation de ce concept, dans le cas des équipages de conduite, est le fondement de la formation TEM.

2.3.5 Pour comprendre ce qu'est la performance humaine dans le cadre opérationnel, la TEM est axée sur l'identification la plus serrée possible des menaces, à mesure qu'elles se manifestent, afin de reproduire les réactions de l'équipage; elle vise aussi à analyser la façon dont l'équipage gère l'erreur selon un point de vue naturel. C'est là la perspective *de l'intérieur et en contexte*, façon de voir présentant une pertinence opérationnelle avec la CRM.

2.3.6 Il est ainsi proposé de développer des stratégies opérationnelles et pratiques visant à habituer les équipages de conduite aux menaces et aux erreurs particulières aux activités de leur transporteur aérien. La CRM est le mécanisme de formation permettant d'atteindre l'objectif de la TEM (voir la Figure 2-2).

Le modèle TEM et l'inévitabilité des erreurs opérationnelles

2.3.7 Les notions de communication, travail en équipe, esprit de décision et aptitude au commandement restent la marque de la formation CRM. Pendant des années, ces notions ont été proposées pour «vacciner» régulièrement les pilotes contre l'erreur humaine. Pour simplifier, l'enseignement aux pilotes prescrivait des comportements CRM et la conformité à cet enseignement devait chasser l'erreur humaine. Rétrospectivement, cette approche ignorait le fait que l'erreur soit une composante normale du comportement humain et qu'elle est donc inévitable dans les contextes opérationnels. Tant que des humains seront les agents du système aéronautique, ils commettront des erreurs.

2.3.8 Le but de la CRM devrait donc être de prendre en compte les menaces visant la sécurité d'exploitation; c'est là la première ligne de défense, car ces *menaces* sont le terrain fertile donnant naissance aux erreurs opérationnelles. La seconde ligne de défense est le recours à des réponses appropriées de gestion des menaces afin de *neutraliser* celles-ci, et l'identification des erreurs que les menaces pourraient générer. La dernière ligne de défense est la mise en jeu de *réponses appropriées de la gestion des erreurs*. Cette approche structurée en quatre couches de la gestion des menaces systémiques et des erreurs opérationnelles accroît la probabilité d'obtenir des *résultats* minimisant les risques opérationnels et préservant ultimement la sécurité aérienne (voir la Figure 2-3).

2.3.9 L'analogie de la bande de film illustre ce processus. Une image unique du film représente une vue fixe d'une scène — un instantané. L'image unique ne dépeint pas le mouvement. Sans mouvement, il n'y a pas d'intrigue. Sans intrigue, il n'y a pas d'histoire. Finalement, sans histoire, il n'y a pas de film, pas de message, pas d'enseignement.

2.3.10 La TEM est analogue à une bande de film. Le mouvement et l'entrecroisement constants des menaces, des réactions de l'équipage et des résultats désirés de la sécurité aérienne sont du ressort de la TEM. Alors que le point de vue traditionnel était de séparer la CRM des aspects techniques de

la conduite d’un aéronef, la gestion des menaces et des erreurs ne fait pas de distinction de ce genre. La TEM englobe le processus total de gestion des erreurs dans les opérations aériennes.

Gestion des menaces

2.3.11 Les menaces agissent sur la capacité de l’équipage à gérer la sécurité en vol. Un événement ou facteur ne devient une menace que s’il est extérieur au poste de pilotage, c’est-à-dire que son origine se trouve hors de l’influence de l’équipage (voir le Tableau 2-1). Les équipages doivent traiter les menaces tout en poursuivant les objectifs commerciaux sous-jacents aux activités du transporteur aérien. Les menaces ne sont pas nécessairement des déficiences du système d’aviation, mais des événements extérieurs accroissant la complexité des opérations aériennes et donc présentant un potentiel de génération d’erreurs. La gestion des menaces dans les opérations aériennes est nécessaire au

maintien de la performance dans un contexte exigeant. L’élimination totale des menaces ne serait possible qu’en supprimant le vol des avions. Ce qui est important, c’est que les équipages reconnaissent les menaces et appliquent les contre-mesures nécessaires pour éviter, minimiser ou réduire leurs effets sur la sécurité aérienne.

2.3.12 Les menaces peuvent être explicites ou latentes. Les menaces explicites sont celles qui sont tangibles et peuvent être observées par l’équipage. On peut mentionner, par exemple, le mauvais temps, des anomalies de fonctionnement de l’aéronef, des événements visant les automatismes, les événements se produisant au sol, le trafic aérien, les installations de terrain ou d’aéroport. Les menaces explicites sont une caractéristique de l’aviation et, du point de vue de l’équipage de conduite, il y a peu que l’on puisse faire pour les éviter. Cependant, dans des combinaisons données de circonstances opérationnelles, les équipages de conduite doivent gérer les menaces explicites parce qu’elles présentent un risque opérationnel.

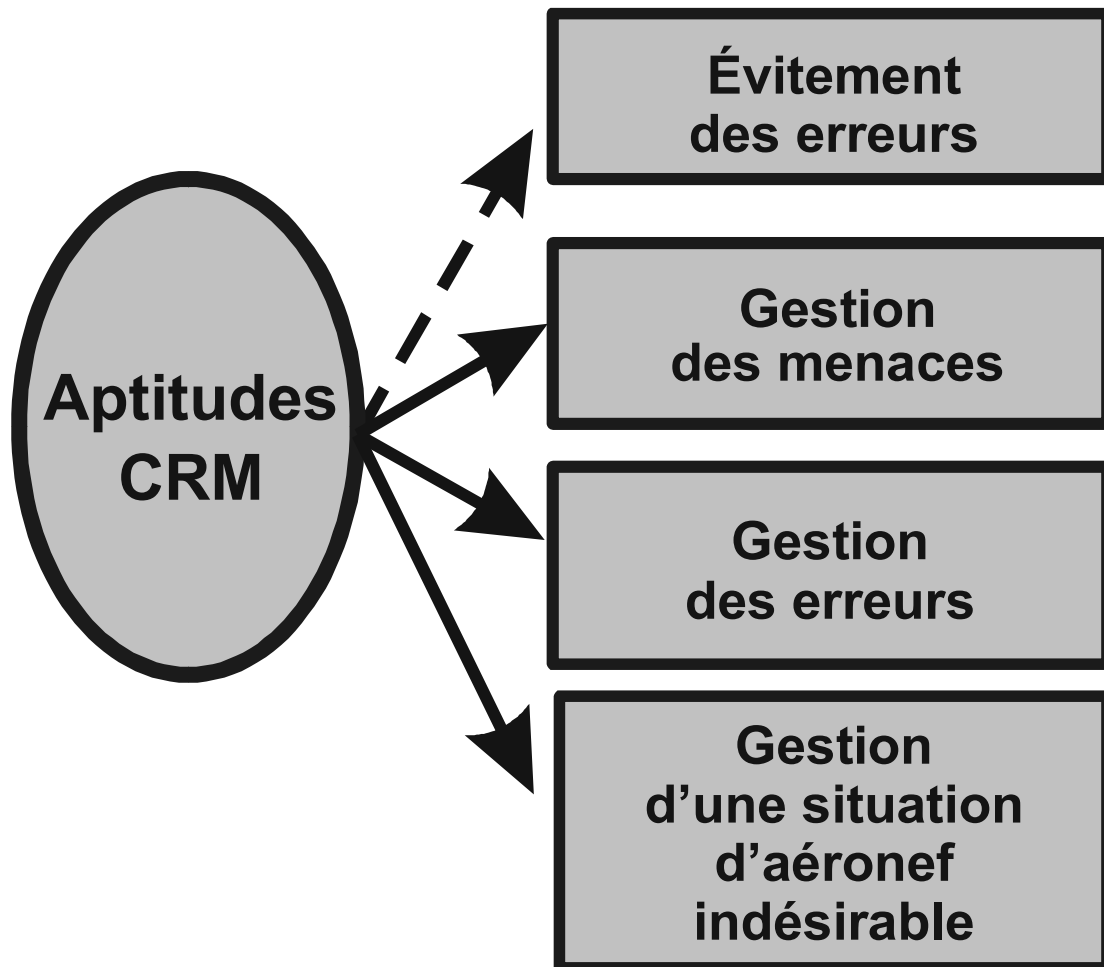


Figure 2-2. La TEM — Outil de formation opérationnel

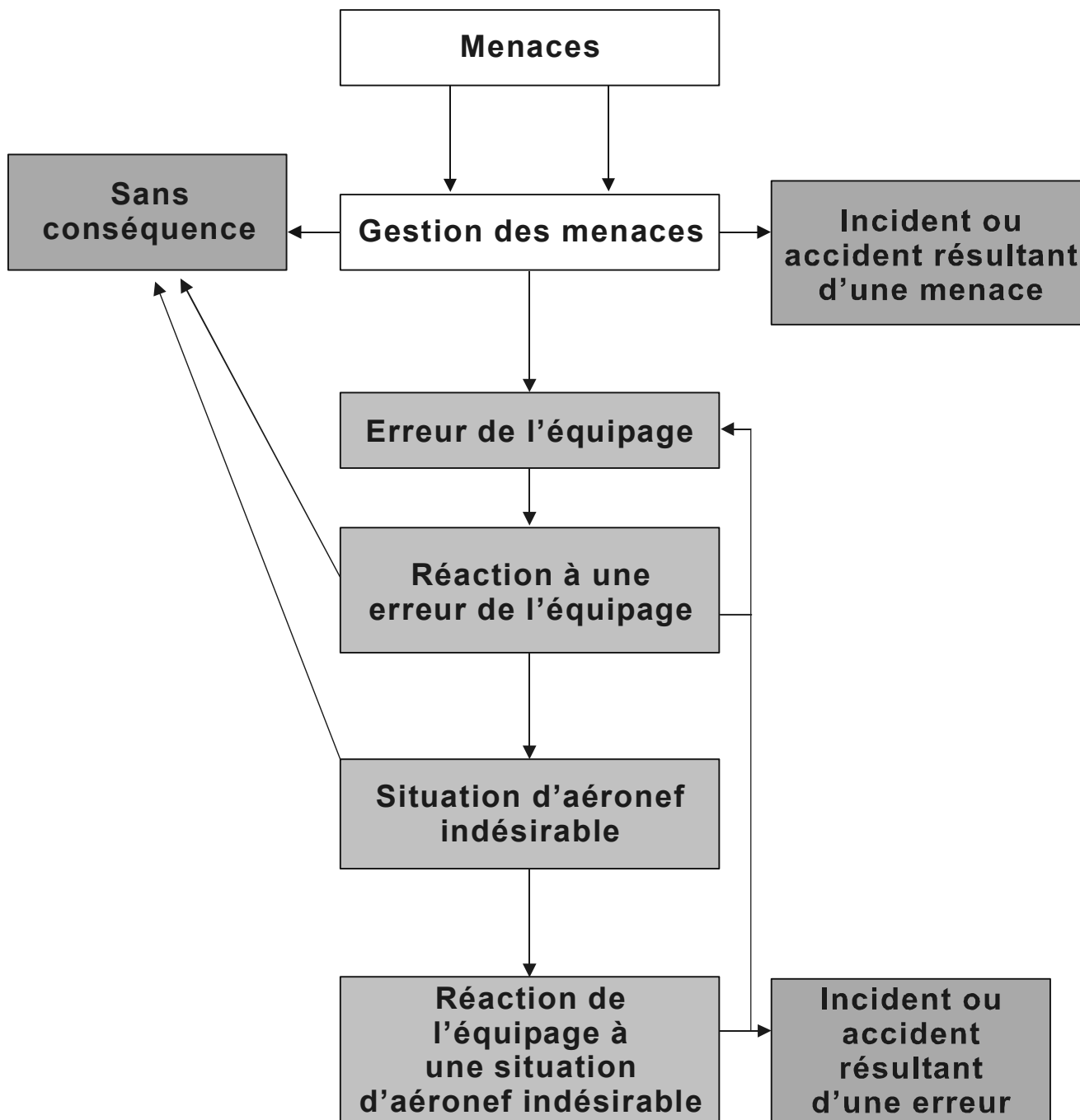


Figure 2-3. Modèle de gestion de menaces et d'erreurs (TEM)

2.3.13 Les menaces latentes ne sont pas observables facilement par l’équipage, mais elles sont dissimulées dans le tissu même du système ou de l’opération en cours. Elles peuvent aussi être propres à la culture, sur le plan national comme sur le plan de l’organisation, ainsi qu’au niveau professionnel. Leur existence peut, par exemple, se manifester dans le contexte de politiques et procédures de l’organisation. Les menaces latentes sont des aspects du système prédisposant à l’erreur ou pouvant mener à un état indésirable de l’aéronef. On trouvera comme exemples de ces menaces latentes des pratiques d’ATC, des normes de qualification, des éléments industriels, l’état des relations entre les dirigeants et le personnel d’exécution ainsi que les visées conflictuelles des objectifs commerciaux et des objectifs de la sécurité.

2.3.14 Bien que la genèse des menaces soit hors du domaine d’influence de l’équipage, il est important que la formation soit conçue pour mettre à la disposition des équipages de conduite les outils permettant de reconnaître les menaces prévalantes et caractéristiques des activités de leur compagnie aérienne. Les équipages bien équipés pour reconnaître les menaces parviendront à gérer avec plus de succès les erreurs générées par ces menaces en cours de vol.

Gestion des erreurs

2.3.15 Dans le domaine de la TEM, une erreur opérationnelle de l’équipage de conduite est définie comme une action ou un défaut d’agir de l’équipage provoquant une dérive par rapport aux intentions ou attentes de l’organisation ou de l’équipage. Les erreurs opérationnelles ont parfois des conséquences néfastes. La TEM définit cinq catégories d’erreurs:

- a) **Erreur de non-conformité intentionnelle.** Infraction délibérée aux règles ou aux procédures d’exploitation.
- b) **Erreur de procédure.** Écart de conformité aux règlements ou procédures d’exploitation L’intention était bonne, mais l’exécution mauvaise. Cette catégorie inclut également les erreurs dues à un oubli de la part de l’équipage.
- c) **Erreur de communication.** Communication erronée, mauvaise interprétation ou défaut de communiquer des renseignements pertinents entre membres de

Tableau 2-1. Menaces — Événements externes hors de l’influence de l’équipage, mais devant être gérés par celui-ci

Type de menace	Exemple
Environnementale	Météo adverse Terrain État de l’aéroport Circulation intense/événements TCAS Aéroports inhabituels
ATC	Événements/erreurs de commande Difficultés d’expression Indicatifs d’appel analogues
Aéronef	Défectuosités de l’aéronef Événements automatismes
Soutien équipage	Événements/erreurs services techniques Événements/erreurs au sol Événements/erreurs MNT
Exploitation	Pressions du temps Opérations inhabituelles Déroutement de vol Approches interrompues
Cabine	Événements cabine Erreurs personnel cabine Événements passagers

l'équipage ou entre l'équipage et un agent externe (p. ex. l'ATC ou le personnel d'exploitation au sol).

- d) **Erreur de compétence.** Manque de connaissances ou d'aptitudes psychomotrices (pilotage).
- e) **Erreur de décision opérationnelle.** Erreur dans le processus de décision, qui n'est pas normalisé par les règlements ou les procédures d'exploitation et compromet cependant inutilement la sécurité. Pour qu'on puisse classer cette erreur parmi les erreurs de décision, au moins une des trois conditions qui suivent doit être remplie. Premièrement, l'équipage doit avoir eu à sa disposition d'autres options plus prudentes dans les limites de la raison opérationnelle, et avoir décidé de ne pas les retenir. Deuxièmement, la décision n'a pas été verbalisée et n'a donc pas été communiquée entre les membres de l'équipage. Troisièmement, l'équipage a eu le temps d'évaluer la décision, mais ne l'a pas fait efficacement. Si l'une de ces conditions est remplie, on peut alors considérer qu'une erreur de décision s'est produite dans le cadre de la TEM. Exemple: décision par l'équipage de traverser une zone connue de cisaillement du vent, lors d'une approche, au lieu de la contourner.

2.3.16 Si l'équipage est incapable d'éviter, d'intercepter ou de réduire l'erreur (qui devient donc une erreur non gérée), ses répercussions peuvent entraîner une situation d'aéronef indésirable. Les cas typiques définissant une situation indésirable sont les configurations incorrectes, les approches instables, les déviations verticales, les déviations latérales et les écarts de vitesse.

2.4 GUIDE D'INTÉGRATION DE LA TEM À LA CRM

Le concept menace-erreur-réponse-résultat

2.4.1 Le concept menace-erreur-réponse-résultat décrit le processus de reconnaissance, par l'équipage, de menaces soit présentes (explicites), soit cachées (latentes) dans des circonstances opérationnelles spéciales. Grâce à des contre-mesures, dont les compétences CRM, l'équipage doit pouvoir déterminer la voie à suivre pour gérer les menaces, contenir les erreurs et, finalement, amener l'aéronef en sécurité à destination — c'est le bon résultat. Dans la plupart des cas, les équipages parviennent au bon résultat. Grâce à une base saine de compétences techniques ou d'aptitudes «acquises» de coordination entre les membres de l'équipage, les menaces sont identifiées et les erreurs sont gérées. Il s'agit là d'un vol normal typique.

2.4.2 La TEM s'intéresse à ce qui se passe au cours des vols «normaux» typiques pendant lesquels de nombreuses occasions d'apprendre se présentent. L'utilisation du concept menace-erreur-réponse-résultat identifie les aspects de la façon dont l'équipage gère la situation en utilisant (bien ou mal) des

contre-mesures. Ce concept définit la structure de la formation CRM.

2.4.3 En se reportant à l'exemple de la page 2-2-15, les événements qui se déroulent au cours d'un vol autrement normal peuvent être analysés au moyen du concept menace-erreur-réponse-résultat. Quelles sont les menaces dans cet exemple? Comment l'équipage a-t-il détecté les menaces et appliqué en réponse les contre-mesures appropriées? Quelles erreurs les menaces ont-elles entraînés? Finalement, quel est le résultat du vol? Ce sont les questions de base qu'il faut se poser pour intégrer la TEM au programme de CRM. L'exemple propose également une analyse basée sur la TEM de ce vol normal typique en utilisant le concept menace-erreur-réponse-résultat.

CRM: phases de l'enseignement et du perfectionnement

Portée

2.4.4 Le développement systématique d'un programme de CRM exige un processus discipliné de rassemblement des données opérationnelles, de conception, d'application et d'évaluation de la formation et, finalement, d'intégration de systèmes ou de changements aux procédures, destinés à améliorer la sécurité aérienne. La section qui suit décrit les pratiques recommandées pour le développement et l'intégration de la CRM dans tous les aspects des opérations aériennes. Ces pratiques sont particulièrement utiles à la planification et au maintien des programmes de CRM. Les quatre phases du développement d'un programme de formation en CRM sont:

- a) évaluation de l'expérience opérationnelle;
- b) sensibilisation;
- c) pratique et retours d'information;
- d) renforcement et développement continu.

Évaluation de l'expérience opérationnelle

2.4.5 L'expérience opérationnelle définit les besoins en formation et prépare la voie aux autres phases de développement de la formation. Un élément clé de cette phase est l'identification ou l'évaluation des menaces et erreurs importantes qui se produisent particulièrement dans le système d'exploitation du transporteur. Une telle évaluation devrait fournir un diagnostic complet des opérations aériennes.

2.4.6 La meilleure méthode diagnostique consiste à s'assurer la participation conjointe du personnel d'exécution et des dirigeants et à les encourager à des discussions libres et franches. Nombre d'exploitants dispensant une formation CRM ont mis en place un comité d'orientation pour évaluer l'expérience opérationnelle.

2.4.7 Pour obtenir un diagnostic complet, un exploitant doit explorer les éléments suivants:

- a) menaces et erreurs susceptibles d'accroître les risques pour la sécurité aérienne;
- b) contre-mesures employées par les membres des équipages en réponse aux menaces et aux erreurs;
- c) enquête sur les attitudes de performance des équipages (peut englober tout le service des opérations aériennes);
- d) données des autres services (aire de trafic, services à la clientèle, services personnel de cabine et ingénierie) indiquant des risques pour les opérations aériennes;
- e) données sur la sécurité dans la base de données des incidents ou événements de l'exploitant.

2.4.8 Rien ne peut remplacer un bon diagnostic. Une évaluation globale des menaces et des erreurs est à la base de la conception et du développement de la formation et assure également que l'exploitant, lors de la planification du programme de formation CRM, disposera d'un point de vue équilibré. L'audit de sécurité en service de ligne (LOSA) aide à effectuer une revue globale des menaces et erreurs d'exploitation, maximisant ainsi l'efficacité de la formation CRM.

2.4.9 Une bonne évaluation de l'expérience opérationnelle inclut les données sur la manière dont le transporteur gère ses opérations aériennes. Les données sur l'expérience opérationnelle représentent des facteurs qui modulent les opérations aériennes de l'entreprise. De quel type de structure de routes dispose le transporteur aérien? Existe-t-il une prépondérance des opérations à courte distance ou long-courriers? Quelle est la combinaison de pilotes expatriés et de pilotes nationaux dans les postes de pilotage? Quel est l'historique des relations entre les dirigeants et le personnel d'exécution? Existe-t-il des modes d'erreur identifiables à partir des bases de données d'incidents aériens? Les employés s'expriment-ils au sujet des questions de sécurité? Ce sont quelques-unes des sources de données typiques concernant l'expérience opérationnelle d'un transporteur aérien. L'expérience opérationnelle est importante parce qu'elle reflète la façon dont une organisation se comporte face aux menaces.

2.4.10 L'intégration de la TEM à la CRM révèle quelle discipline d'acquisition de données sur l'expérience opérationnelle déterminera l'efficacité de la formation CRM (voir le Tableau 2-2).

Sensibilisation

2.4.11 Cette phase définit la formation CRM de base. L'objectif est d'enseigner aux équipages les contre-mesures CRM. C'est un élément critique de la formation, car cette phase dessine la conception et la méthodologie du programme

de formation CRM. La phase de sensibilisation comprend les stratégies suivantes:

- acceptation/adoption du programme par la haute direction;
- adoption et participation des gestionnaires;
- adoption et participation des syndicats;
- adoption et participation des employés de ligne;
- réalisation d'une conception fondamentale de la formation CRM;
- sélection, formation, assurance de la qualité et perfectionnement d'instructeurs en CRM;
- planification de stratégies de formation;
- participation de l'organisme de réglementation au développement de la CRM;
- planification des évaluations de la formation CRM.

2.4.12 L'élément le plus essentiel pour la mise sur pied efficace de programmes de CRM est l'acceptation délibérée de la haute direction de l'entreprise. Celle-ci non seulement fournit les ressources nécessaires à la formation CRM, mais encore, ce qui est plus important, fournit le support de l'organisation à l'appui du programme de CRM.

2.4.13 L'acceptation est plus facile si la haute direction de l'entreprise est au courant du rôle de la CRM dans la gestion des menaces et des erreurs. C'est dans ce contexte que la TEM est remarquée comme option rentable pour le transporteur aérien — une organisation qui connaît les menaces visant ses activités et en assure une gestion délibérée en recourant à des contre-mesures CRM en tirera certainement des avantages économiques. En ce sens, la CRM fondée sur la gestion des menaces et des erreurs a l'avantage de s'appuyer sur un bon argument commercial.

2.4.14 L'expérience montre que l'utilisation de pilotes de ligne comme instructeurs de formation CRM donne des résultats extrêmement positifs, car ces pilotes ont l'habitude des menaces et erreurs permanentes dans leurs activités. Dans une grande mesure, l'incorporation de l'expérience de pilotes de ligne à la formation CRM renforce l'efficacité de cette formation. Toutefois, l'avantage de l'utilisation de pilotes de ligne dépend de la définition de bons critères de sélection. Les instructeurs de CRM doivent être crédibles, techniquement compétents et faire preuve d'une bonne aptitude à l'enseignement. Le choix d'instructeurs inefficaces aura des effets dommageables à long terme sur la formation CRM. Les exploitants doivent adopter des critères de sélection pour leurs instructeurs de CRM qui doivent être régulièrement réexaminés. À part la définition de critères de sélection, il convient d'établir un processus visant à surveiller constamment la formation CRM et à lui conserver ses qualités. Après avoir choisi des instructeurs de CRM, il faut les inscrire à des stages de perfectionnement pour qu'ils conservent leurs compétences d'animateurs.

Pratique et retours d'information

2.4.15 La phase de pratique et de retours d'information comprend deux processus. Le premier comporte la démonstration des compétences en contre-mesures CRM dans des contextes opérationnels appliqués. Ce qui a été mentionné plus tôt nécessite maintenant une discussion approfondie. La validation du succès de la formation CRM exprimée par la diminution des taux d'accidents par million de secteurs de vol n'est pas très utile, car les taux d'accidents sont très faibles. De plus, il existe de grandes variations dans la formation des pilotes et il est impossible de repérer le programme qui aura eu un effet positif (ou négatif) sur un accident donné. Ce que l'on sait par la recherche, c'est que les équipages qui acceptent la formation et font preuve de compétence en contre-mesures CRM pour gérer les erreurs ont les meilleures chances d'éviter les accidents et les incidents.

2.4.16 Dans les cas extrêmes, lors d'accidents graves, tels que celui-ci du DC-10 qui a subi une défaillance hydraulique totale, catastrophique, les compétences en contre-mesures CRM ont été citées comme ayant évité un plus grand nombre de pertes de vies. Le second processus, et peut-être le plus important, est la démonstration de l'utilisation de l'information en retour sur les performances d'équipages dans un contexte opérationnel. À cet égard, on peut souligner la valeur de l'entraînement type vol de ligne (LOFT) dans le cadre d'un cours de formation sans pénalisation. La formation sans pénalisation est essentielle, afin que les équipages puissent manifester des attitudes qui ressemblent le plus possible à celles dont ils feraient preuve dans des conditions non surveillées, lors de vols normaux. Dans ces conditions, un évaluateur ou inspecteur entraînés peut détecter le degré d'acquisition de compétences en contre-mesures CRM par un stagiaire. Par ailleurs, l'organisme de formation peut faire preuve de souplesse en simulant des

scénarios typiques et caractéristiques du transporteur aérien, qui soient représentatifs de ses activités et qui soient ainsi fructueux pour les stagiaires.

2.4.17 Depuis quelques années, un nouveau programme, destiné à vérifier la sécurité en vol des lignes aériennes, est apparu — l'Audit de sécurité en service de ligne (LOSA) —, qui paraît très prometteur pour évaluer l'utilité et la validité des compétences professionnelles et des compétences en contre-mesures — CRM et techniques — pour résoudre le problème de l'erreur humaine.

2.4.18 Le LOSA examine ou vérifie opérationnellement une «tranche» des opérations de vol d'un transporteur aérien, y compris la performance de l'équipage de conduite — la façon dont l'équipage reconnaît et traite les menaces et les erreurs en vol normal. En bout de ligne, le transporteur aérien reçoit un rapport de «vérification de santé». L'un des éléments du LOSA est l'évaluation de l'utilisation par l'équipage de la CRM dans le but d'éviter, de repérer et de réduire les erreurs. On y parvient par l'observation systématique, sans pénalité et non biaisée, d'échantillons de vols par un observateur LOSA compétent. Outre l'identification de l'efficacité de la formation CRM, un LOSA a une valeur inestimable, car il renforce le programme d'assurance de la qualité des opérations aériennes d'un transporteur. La pratique et l'information en retour incluent en outre:

- la démonstration de la compétence en CRM au cours de la formation sur simulateur de vol;
- des vérifications en ligne effectuées par le service des normes de vol;
- des cours de CRM/LOFT;

Tableau 2-2. Données sur l'expérience opérationnelle du transporteur aérien

<i>Expérience opérationnelle</i>	<i>Sources de données</i>
Comment l'entreprise gère:	
Menaces	Comptes rendus/risques opérationnels Comptes rendus trajet/voyage Rapports confidentiels d'incident Événements cabine; horaires de vols Événements entretien Données aérodromes/aéroports Enquêtes auprès des équipages
Erreurs	Rapports d'enquête sur les incidents Évaluations entraînement sur simulateur Données liées à l'assurance de la qualité des opérations aériennes (FOQA) Rapports confidentiels d'incident LOSA

EXEMPLE

Au cours de la séquence après démarrage, le copilote a oublié de pressuriser la cabine. Cet oubli aurait été découvert dans la liste de vérification après départ, mais cette étape a été omise par inadvertance; ce vol avait été retardé de deux heures et prenait du retard sur son créneau de départ assigné. À 8 000 pieds, les deux pilotes se sont aperçus que l'avion n'était pas pressurisé. Le copilote a immédiatement rectifié cette erreur. Le commandement de bord et le copilote se sont mutuellement livrés à une analyse critique après le vol. Le personnel de cabine en a été dûment informé.

Menace/réponse

Quelles ont été les menaces? Quelles étaient les menaces explicites? Quelles étaient les menaces latentes?
Vol déjà retardé — pression de l'horaire — charge de travail accrue pour l'équipage — menace explicite.

L'équipage a-t-il reconnu la menace ou non?
Il n'a pas reconnu la menace.

Quelles mesures l'équipage a-t-il prises pour répondre à la menace?
Aucune.

Résultat

La menace a été mal gérée.

Erreur/réponse

Quelles erreurs la menace a-t-elle produites? Comment les décrire? (procédures/communications/pilotage/décision/non-conformité intentionnelle)?
— Le copilote a omis par inadvertance un élément de pressurisation dans la liste de vérification après départ (procédure).
— Le commandant n'a pas pu repérer et vérifier l'omission (procédure/communications).

L'équipage a-t-il reconnu ou non l'erreur/l'état indésirable de l'avion?

Les deux pilotes n'ont remarqué le manque de pression dans l'appareil qu'après avoir omis d'exécuter la liste de vérification, provoquant ainsi un état indésirable de l'avion, à cause d'une défaillance dans les contre-mesures des procédures.

Qu'a fait l'équipage pour éliminer l'erreur? Qu'est-il arrivé après qu'il a agi? Y a-t-il eu des répercussions (une autre erreur)? Aucune répercussion? Quelles autres mesures l'équipage a-t-il prises?
— Le copilote a corrigé immédiatement l'erreur en établissant la pressurisation.
— L'équipage a pu intercepter l'erreur.
— La question de pressurisation a été résolue.
— Les erreurs ont eu des répercussions, mais l'état indésirable de l'avion a été géré.
— L'équipage de cabine a été mis au courant.
— Les membres de l'équipage se sont mutuellement livrés à une analyse critique après le vol.

Résultat

L'erreur a été mal gérée; l'état indésirable de l'avion a été géré.

Résultat d'ensemble

Sécurité de vol maintenue.

- l'utilisation du LOSA comme processus permettant de valider l'apprentissage des contre-mesures CRM;
- la mise sur pied de cours de rappel de CRM (périodiques) comprenant l'intégration de la CRM dans les programmes de perfectionnement aux commandes et son approfondissement sous la forme de perfectionnement des copilotes.

2.4.19 Alors que la pierre angulaire de la formation CRM est l'utilisation de pilotes de ligne comme instructeurs, la personne la plus importante dans la phase de pratique et de retours d'information est l'inspecteur ou pilote inspecteur. Les inspecteurs et pilotes inspecteurs doivent recevoir une forme d'instruction plus spécialisée. Cette formation devrait se concentrer sur les compétences en matière de compte rendu de vol, connaissance des menaces particulières au transporteur et techniques de compte rendu de vol LOFT, par exemple l'utilisation de caméras vidéo pour examiner le comportement de l'équipage. Les rappels de formation CRM doivent également avoir lieu au cours de la phase de pratique et de retours d'information. C'est là que les sujets spécifiques de la CRM sont discutés, et c'est là que des thèmes complémentaires, tirés de la phase de sensibilisation à la CRM, doivent être particulièrement soulignés.

Renforcement et développement continus

2.4.20 L'efficacité de la TEM est fonction de l'expérience opérationnelle. Il est essentiel d'avoir recours à cette expérience pendant le renforcement et le développement de la formation CRM. L'expérience opérationnelle de chaque transporteur aérien lui est particulière et, souvent, diffère beaucoup de celle des autres. Les transporteurs aériens ont chacun une culture distincte, ils empruntent des routes différentes avec un matériel volant différent et relèvent de différentes autorités de l'aviation civile, caractérisées par des pratiques particulières dans la mise en œuvre des normes et pratiques recommandées (SARP). L'utilisation des données propres à chaque exploitant produit un programme de formation qui lui est pertinent. Un examen complet des événements, et leur inclusion dans la formation CRM, permet d'obtenir les meilleurs résultats.

2.4.21 Le recours à la TEM comme base du développement de la CRM permet aux équipages de conduite d'évaluer et de gérer les menaces. Les équipages devraient, en cours de formation, avoir un nombre maximal d'occasions d'explorer les erreurs et examiner les techniques efficaces ou inefficaces de gestion des erreurs. C'est là l'une des caractéristiques clés de la formation CRM basée sur la TEM. Pour y parvenir, il est important d'assurer un lien direct entre, d'une part, la performance du transporteur en matière de sécurité et, d'autre part, le développement et l'amélioration continue de la formation CRM. La pertinence du programme de formation est renforcée lorsque des événements réels vécus par le transporteur aérien sont intégrés à la formation CRM sous la forme d'études de cas. Ce faisant, on sensibilise les pilotes aux menaces particulières que connaissent d'autres transporteurs. Le plus important, c'est que

la formation CRM devient un moyen de partager des contre-mesures qui ont déjà fonctionné.

2.4.22 La façon dont la formation est dispensée est également un impératif important. La CRM devrait être toujours centrée sur l'exécution. Cela signifie qu'il faut absolument éviter les activités de formation qui n'ont rien à voir avec l'environnement opérationnel. Les «jeux» de salle de classe doivent être bannis. Les techniques d'instruction à employer dans la formation CRM tournent autour d'un contexte d'apprentissage pour adultes. Cela signifie qu'il faut créer un équilibre entre «raconter» et «faciliter» l'apprentissage. En général, les techniques d'instruction telles que les discussions en petits groupes, l'utilisation d'incidents/accidents filmés et des présentations centrées sur l'expérience réelle offrent les meilleures occasions d'apprentissage aux stagiaires.

Sommaire

2.4.23 Le Tableau 2-3 résume les quatre phases du développement et de la mise en œuvre de la formation CRM; il présente au responsable de l'élaboration de cette formation une liste de vérification des éléments et paramètres clés dans le but de guider la conception et le développement de la formation CRM.

Arguments en faveur de la TEM

2.4.24 Il existe deux raisons principales à l'utilisation de la TEM comme outil de conception d'un cours de CRM. Premièrement, les menaces et les erreurs existent dans toutes les phases des opérations aériennes. À partir du moment où un vol est autorisé, jusqu'au moment où il prend fin, les pilotes ont à faire face à des menaces et à des erreurs. Deuxièmement, il s'ensuit que la sécurité aérienne exige que les menaces soient reconnues comme telles et qu'on utilise de façon appropriée des contre-mesures de gestion des erreurs pour éviter, intercepter et réduire les effets des erreurs humaines. Mettre sur pied la conception d'un cours au moyen de la TEM crée une adaptation naturelle aux contre-mesures de la CRM. Le Tableau 2-4 résume la façon dont la TEM peut être utilisée comme guide pour souligner la teneur des cours de CRM ainsi que les résultats de cet apprentissage.

2.4.25 Le Tableau 2-4 peut servir à établir la base de connaissances et d'aptitudes qu'il faudra incorporer à un cours de CRM du transporteur aérien. Les contre-mesures CRM indiquées représentent les compétences combinées des praticiens et de la recherche dans différents pays. L'aviation est une activité globale et, bien qu'il puisse y avoir des différences dans la façon dont les transporteurs gèrent leurs opérations aériennes, les processus de base se ressemblent beaucoup. Les aptitudes CRM proposées sont applicables à n'importe quel transporteur, quels que soient son envergure et son équipement. En outre, alors que les schémas culturels diffèrent d'un exploitant à l'autre et d'un pays à l'autre, les aptitudes CRM ne varient que par leur degré d'importance relative.

Tableau 2-3. Éléments et thèmes clés pour orienter la conception et le développement de la CRM

<i>Phase</i>	<i>Élément</i>	<i>Thèmes clés</i>
Évaluation de l’expérience opérationnelle	<ul style="list-style-type: none"> Évaluer/diagnostiquer les menaces et erreurs représentant l’expérience opérationnelle, y compris les contre-mesures typiques utilisées dans les activités en ligne Obtenir des données sur la performance des équipages par entraînement sur simulateur, sondages et discussions orientées entre pilotes, instructeurs et dirigeants Présenter les données disponibles sur la sécurité opérationnelle tirées de la base de données de sécurité de l’exploitant, du LOSA et du FOQA 	<ol style="list-style-type: none"> Identifier les menaces explicites ou latentes relevées au cours des opérations aériennes: <ul style="list-style-type: none"> — utiliser les données LOSA pour élaborer des scénarios pour modules de formation CRM; — utiliser les données FOQA pour élaborer une vue d’ensemble du dossier des vols de l’exploitant. À défaut de données LOSA ou FOQA, utiliser les comptes rendus d’incident significatifs, soulignant les menaces et la façon dont les équipages gèrent les erreurs. À défaut de données historiques et documentées, recourir à des discussions de groupe thématiques pour repérer les menaces et erreurs représentatives et la façon dont elles sont gérées dans les opérations aériennes. Classer selon leur priorité les questions de sécurité urgentes au cours de la formation CRM et intégrer ces priorités dans la conception de la formation CRM. Recueillir les données d’autres groupes de l’exploitation — équipages de cabine, ingénierie, services de piste, services à la clientèle, etc. — relatives aux menaces et erreurs touchant les vols et les incorporer à la conception de l’entraînement CRM. Intégrer un groupe d’étude qui sera le mieux à même d’élaborer la formation CRM et désigner un gestionnaire de programme pour en diriger la conception.
Sensibilisation	<ul style="list-style-type: none"> Obtenir de la haute direction un engagement à implanter la CRM Parfaire la conception et l’exécution de la formation CRM comprenant un plan de sélection et d’entraînement pour les instructeurs Prévoir des évaluations de la formation CRM 	<ol style="list-style-type: none"> Souligner l’impact de la CRM sur les objectifs commerciaux, p. ex. l’effet des contraintes de respect des horaires sur la sécurité et la CRM. Intéresser l’autorité de l’aviation civile au développement de la CRM, notamment par un processus de liaison et de mise au courant. Créer un système de gestion de la sécurité et une méthode de maintien de l’apprentissage CRM au niveau des activités en ligne, ce qui comprend le transfert des compétences CRM aux activités en ligne.
Pratique et retours d’informations	<ul style="list-style-type: none"> Intégrer les compétences en CRM à l’entraînement sur simulateur et en ligne Faire en sorte que les cours de perfectionnement de commandant de bord et copilote comportent une évaluation des compétences en CRM S’assurer que les instructeurs de vol et sur simulateur comprennent et appliquent la CRM à l’instruction et à la vérification 	<ol style="list-style-type: none"> Instituer un processus d’évaluation des aptitudes CRM ainsi que des critères de compétence technique. Coordonner l’intégration des compétences CRM au perfectionnement des pilotes et copilotes. Planifier et mettre en œuvre un programme de collecte continue des données sur les menaces et erreurs observées pendant l’entraînement sur simulateur ou les vérifications en ligne. S’assurer que les instructeurs en vol et sur simulateur observent les normes en vigueur lors de l’évaluation des compétences CRM.
Renforcement et développement continus	<ul style="list-style-type: none"> Créer un plan pour communiquer les menaces et erreurs au cours des activités en ligne Lier la performance relative à la sécurité au développement continu de la formation CRM Utiliser efficacement les données de la recherche pour améliorer et rajeunir la formation CRM 	<ol style="list-style-type: none"> Créer un processus de retour d’informations permettant de communiquer à tous les pilotes des contre-mesures aux menaces et erreurs. Identifier des options d’utilisation d’incidents touchant la sécurité de l’exploitant afin de maintenir la fiabilité et la pertinence de la formation CRM. Envisager l’utilisation des données de sondages et de sécurité pour améliorer la formation CRM. Utiliser les données de performance sur simulateur et en ligne pour améliorer la formation CRM.

Tableau 2-4. Intégration de la TEM dans la conception du cours

Module d'instruction CRM	Résultats de l'apprentissage
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center; width: fit-content; margin: 0 auto;"> MENACE </div> <div style="text-align: center; margin: 10px 0;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center; width: fit-content; margin: 0 auto;"> RÉPONSE </div>	<p><i>Reconnaissance des menaces</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Latente Faire preuve de compréhension des cultures, politiques et réglementations nationales, professionnelles et organisationnelles, et de leurs relations, en termes de menaces possibles pour les opérations aériennes. • Explicite Être sensibilisé aux menaces visant le groupe, les personnes, l'organisation, les systèmes et l'aéronef, par la connaissance de l'expérience d'exploitation particulière du transporteur.
	<p><i>Contre-mesures — Esprit d'équipe et atmosphère de travail</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Autorité/sens du commandement Faire preuve d'esprit de décision, même dans les situations ambiguës. Rechercher unanimité et participation. • Communication Énoncer clairement les messages et pratiquer l'écoute active. S'assurer d'être compris et obtenir des retours d'information. • Esprit d'équipe Définir les responsabilités des membres de l'équipage et fixer une orientation. Utiliser des techniques d'«entraîneur» pour les motiver.
<p><i>Contre-mesures — Exécution</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Gestion de la charge de travail Être capable d'établir les priorités et vérifier en permanence les risques de surcharge de l'équipage. • Vigilance Rester conscient de l'environnement et de la position de l'aéronef. • Gestion de l'automatisation Maintenir l'équilibre entre la charge de travail et les automatismes. Laisser à ces derniers les tâches les moins prioritaires. • Performance et erreur humaines Rester vigilant, mais conscient des limites individuelles. Reconnaître les signes de stress et demander de l'aide s'il y a lieu. 	
<p><i>Planification</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Briefings Effectuer des briefings opérationnels complets et inclure les autres membres de l'équipage, p. ex. le personnel de cabine. S'assurer d'être compris. • Définir l'essentiel et les limites Reconnaître les exigences de la tâche. Accorder le temps suffisant pour l'accomplir et ne pas se laisser distraire des objectifs visés. • Gestion des imprévus Anticiper et planifier en vue des événements imprévus. 	
<p><i>Révision et surveillance</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Évaluation des plans Revoir et modifier les plans s'il y a lieu. Rechercher la participation d'autres membres de l'équipage. • Demande de renseignements Rechercher les informations et poser des questions si celles-ci sont vagues ou incomplètes. • Assertivité Donner une opinion appropriée sur une décision et exprimer au besoin ses préoccupations. 	

Aptitudes CRM à développer

2.4.26 On trouvera ci-dessous la liste des différentes aptitudes et compétences régissant la formation CRM:

- **Autorité, aptitude au commandement.** Faire preuve d'une autorité suffisante pour assurer la concentration sur les tâches et les préoccupations des membres de l'équipage. Aider les autres à mener à bien leurs tâches.
- **Esprit de décision.** Repérer les écarts par rapport à l'état désiré, évaluer le problème, concevoir des actions différentes, identifier les risques et sélectionner la meilleure voie à suivre. Par la suite, revoir le mode d'action choisi pour des raisons d'apprentissage et de modification des comportements.
- **Communications.** Faire preuve de clarté et d'efficacité dans l'utilisation du langage et réagir aux informations en retour; expliciter les plans et résoudre les ambiguïtés. Ces aptitudes et compétences sont particulièrement illustrées par le caractère interactif des briefings et les analyses critiques après les vols.
- **Conscience de la situation.** Comprendre le système courant et les conditions environnementales; anticiper les changements au cours du vol. Avoir la faculté de prévoir les changements susceptibles de se produire à mesure que le vol progresse.
- **Esprit d'équipe.** Établir les priorités des tâches et utiliser les ressources de l'équipage pour réaliser les objectifs. Contribuer à l'amélioration des relations interpersonnelles dans l'équipage.
- **Gestion de la charge de travail.** Établir les priorités et déléguer de façon efficace pour maintenir la concentration sur les tâches essentielles. Savoir mettre chacun «dans le bain» en communiquant de façon active. Surveiller continuellement le déroulement du vol.
- **Vigilance.** Éviter consciemment l'excès de confiance en soi pendant le vol. Surveiller les changements dans les systèmes et l'environnement et informer les autres membres de l'équipage des menaces et erreurs éventuelles.
- **Gestion des automatismes.** Utiliser les automatismes pour aider à gérer le vol, surtout dans les situations où la charge de travail est importante. Surveiller les changements de mode et ne pas se laisser surprendre.
- **Performance humaine.** Avoir conscience des limitations personnelles et humaines, reconnaître les motifs de stress et faire preuve d'assertivité à l'approche des limites personnelles et humaines.
- **Briefings.** Établir des communications franches et interactives. Vérifier la compréhension des autres membres de l'équipage en sollicitant questions ou commentaires de leur part. Concentrer les briefings sur les questions opérationnelles.
- **Définition de limites impératives.** Se tenir au courant des faits et gestes de l'équipage, notamment des risques de transgression des minima. Faire part de ses préoccupations et de ses opinions si des risques augmentent la vulnérabilité aux erreurs en cours de vol.
- **Gestion des situations critiques.** Avoir conscience en permanence des changements au cours du vol. Évaluer les menaces et prévoir des dispositions d'urgence pour répondre aux contraintes éventuelles pendant le vol.
- **Évaluation des plans.** Examiner le mode d'action adopté. Demander l'opinion des autres membres de l'équipage pour analyser la façon dont les menaces et erreurs ont été gérées et pour améliorer à l'avenir la performance de l'équipage.
- **Assertivité.** Demander aux autres membres de l'équipage, particulièrement à l'occasion de situations ambiguës, d'expliquer les actions à entreprendre. Affirmer ses opinions de façon constructive et contribuer à l'efficacité générale de l'équipe.

2.5 ENTRAÎNEMENT TYPE VOL DE LIGNE (LOFT)

Introduction

2.5.1 On appelle entraînement type vol de ligne (LOFT) un entraînement des équipages de conduite qui comporte, dans des conditions non punitives, la simulation d'un vol complet dans des situations représentatives de l'exploitation en ligne, l'accent étant mis particulièrement sur les situations qui posent des problèmes de communication, de gestion et de commandement. En bref, LOFT signifie un entraînement de vol complet, réaliste, en temps réel. L'évaluation d'utilité de l'entraînement LOFT est telle que les administrations aéronautiques de plusieurs États autorisent son emploi en lieu et place des habituelles vérifications de compétence semi-annuelles, pourvu que certaines conditions précises soient respectées.

2.5.2 L'entraînement LOFT peut avoir une incidence sensible sur la sécurité aérienne grâce à une formation améliorée et à la validation des procédures opérationnelles. Il présente aux membres d'équipage des scénarios inspirés des opérations courantes caractéristiques de la compagnie aérienne, dans lesquels sont introduites, de façon raisonnable et réaliste, des difficultés et des situations critiques destinées à permettre la pratique et l'évaluation des techniques de gestion du poste de pilotage, des menaces dues à l'environnement

opérationnel et des stratégies de gestion des menaces et des erreurs, employées par les membres de l'équipage. Le transporteur aérien est ainsi en mesure d'évaluer les lacunes d'ordre opérationnel observées chez les équipages de ligne ainsi que la qualité des procédures utilisées dans le poste de pilotage, de même que l'efficacité d'ensemble de la formation des équipages.

2.5.3 Des scénarios LOFT peuvent être élaborés à partir de nombreuses sources, mais ce sont les comptes rendus d'accident et d'incident qui fournissent, à cet égard, un point de départ réaliste et approprié. Un programme LOFT convenablement exécuté peut fournir un très bon aperçu des rouages internes de l'exploitation et du programme de formation d'un transporteur aérien, pour les raisons suivantes:

- a) Si les mêmes erreurs semblent se reproduire périodiquement chez les pilotes, le programme LOFT peut révéler l'existence d'un problème potentiellement grave dû à des procédures incorrectes, à des manuels contradictoires ou inexacts ou à d'autres aspects de l'exploitation.
- b) Il peut faire apparaître dans les programmes de formation des équipages des aspects accusant des faiblesses ou ayant besoin d'être mis en relief.
- c) Il peut révéler l'existence de problèmes dans l'emplacement des instruments, les renseignements présentés aux pilotes ou d'autres difficultés ayant trait à l'agencement du poste de pilotage considéré.
- d) Les transporteurs aériens peuvent l'utiliser pour expérimenter et vérifier les procédures opérationnelles appliquées dans le poste de pilotage.

2.5.4 L'entraînement LOFT ne devrait pas servir de méthode de contrôle de la performance des individus. Par contre, il permet de valider les programmes de formation et les procédures opérationnelles. Une personne ou un équipage ayant besoin d'un entraînement supplémentaire après une session LOFT devrait se voir offrir immédiatement cette possibilité, sans blâme ni récrimination.

2.5.5 Une session LOFT ne devrait pas être interrompue, sauf dans des conditions extrêmes et inhabituelles. Le repositionnement du simulateur et la répétition des problèmes sont incompatibles avec les principes de l'entraînement LOFT. Une partie des avantages que l'on tire de cet entraînement réside dans le fait qu'une personne ou un équipage est en mesure d'apprécier rapidement les résultats, positifs ou négatifs, des décisions opérationnelles. Une fois la séance terminée, tous ces aspects devraient faire l'objet d'une analyse critique complète. Il peut s'agir d'une autocritique initiale faite par l'équipage lui-même, suivie de l'analyse du coordonnateur LOFT (pilote inspecteur, instructeur). Cette critique devrait inclure l'emploi de certaines aides, enregistreurs de conversations et enregistreurs vidéo, ainsi que de notes écrites.

Élaboration de scénarios

2.5.6 Les besoins en matière de formation varient selon les exploitants, les types d'exploitation et les pilotes. Il faut que la législation et la réglementation qui régissent l'entraînement LOFT laissent assez de souplesse pour permettre de répondre à ces différents besoins. Si un nombre minimal d'heures d'entraînement sur simulateur est spécifié, l'exploitant devrait être autorisé à les répartir entre l'entraînement LOFT et la formation à d'autres compétences afin de réaliser les objectifs qu'il considère lui-même comme les plus importants.

2.5.7 La simulation de vol complet peut être employée à d'autres fins que l'entraînement LOFT. Un bon nombre des directives qui suivent, applicables à l'élaboration des scénarios, peuvent également convenir à la conception d'autres tâches liées à la simulation d'un vol complet. Le principal facteur qui doit régir l'emploi de la simulation de vol complet est l'objectif spécifique en vue duquel cette simulation est utilisée et le contexte particulier dans lequel elle est appliquée.

2.5.8 Tous les scénarios et segments de vol LOFT devraient être conçus sur la base d'un exposé détaillé d'objectifs précis. Ces objectifs doivent indiquer le type de situation à traiter et la raison pour le faire.

2.5.9 Dans un scénario donné, l'origine, l'itinéraire et la destination devraient être édictés par les objectifs correspondant à ce scénario ou segment de vol. Les autres facteurs à considérer sont les conditions météorologiques, les problèmes opérationnels, les problèmes d'équipement, etc. Les systèmes visuels du simulateur ainsi que les autres limitations et possibilités doivent être pris en considération à un stade très précoce de la conception du scénario. Il faut que le secteur de navigation du simulateur soit approprié et qu'il coïncide avec les cartes en vigueur. Il faut aussi que les manuels et autres documents opérationnels en vigueur soient disponibles pour garantir le réalisme nécessaire.

2.5.10 D'autres facteurs doivent être considérés, comme les aéroports de décollage, le ravitaillement en carburant et le contrôle de la circulation aérienne. Les particularités du choix de l'emplacement seront fonction des besoins de l'exploitant. Par exemple, si une situation doit être construite pour illustrer un problème de contrôle de la circulation aérienne, il faut choisir une route sur laquelle ce problème est susceptible de se poser.

2.5.11 Il convient de choisir les problèmes et les anomalies en fonction des différents objectifs. On peut utiliser aussi bien des problèmes simples (n'ayant aucun impact sur le vol une fois qu'ils ont été identifiés et corrigés) que des problèmes complexes (affectant le reste du vol). Les problèmes ne devraient pas être combinés. La conception du scénario ne devrait pas donner lieu à la présentation simultanée de problèmes multiples, même si cela peut se produire à la suite d'une manœuvre inopportune de l'équipage. Les scénarios LOFT ne devraient pas être conçus de manière à

«submerger» ou surcharger l'équipage. Un accident ne devrait jamais être inévitable, même si cela arrive parfois.

2.5.12 Il faudrait mettre au point des sous-scénarios permettant d'anticiper autant que possible les actions de l'équipage. Il serait sage de limiter, dans une certaine mesure, les options qui s'offrent à celui-ci. L'instructeur LOFT devrait être en mesure de suivre d'autres voies vers une conclusion raisonnable. Il est admissible de choisir des problèmes qui ne peuvent pas être corrigés, si ces problèmes sont appropriés aux objectifs du scénario. Un exemple serait le cas d'un train d'atterrissage qui ne veut pas sortir, se traduisant par un atterrissage train rentré.

2.5.13 La succession et le rythme des divers éléments d'un scénario doivent correspondre à certains facteurs tels que l'emplacement, l'heure de départ et la phase de vol. Il faut aussi, et c'est le plus important, qu'ils correspondent aux objectifs particuliers de ce scénario. Les concepteurs devraient éviter de remplir totalement une période de vol, mais réserver un certain temps pour les moments de calme et des périodes de relative inactivité. Il ne faut pas que la succession des anomalies et autres événements nuisent au réalisme du scénario ou au potentiel éducatif de la situation.

2.5.14 Des scripts devraient être conçus de manière aussi détaillée que possible pour simuler le monde réel. Une insuffisance de détails oblige l'instructeur LOFT à improviser, ce qui prend beaucoup de temps qu'il faudrait consacrer à l'observation et à l'évaluation de l'équipage. Cette improvisation peut aussi avoir pour effet d'empêcher la réalisation des objectifs particuliers du scénario.

2.5.15 Les communications échangées sous le contrôle de l'instructeur LOFT devraient être spécifiées mot pour mot. La cadence et le minutage devraient être incorporés au scénario. Le minutage et l'introduction d'un problème devraient être spécifiés. Toutes les fois qu'un problème sera introduit, toutes les manœuvres attendues de l'équipage devront également figurer dans le scénario. Il conviendra, en outre, de spécifier, le cas échéant, des solutions de rechange pour modifier le minutage d'un scénario. Par exemple, si l'équipage exécute une procédure d'approche interrompue non prévue, il pourra être nécessaire de recourir à une autre ligne de conduite pour le segment suivant afin de respecter les contraintes chronologiques du simulateur de vol. L'instructeur LOFT ne peut rien ajouter à une situation prévue dans le script, ni modifier celle-ci; mais, s'il observe que l'équipage est surchargé au point qu'il lui est impossible d'en apprendre plus, il devra exercer son jugement pour empêcher que la situation de l'équipage ne se complique davantage.

2.5.16 En ce qui concerne la révision du scénario et le contrôle de qualité après élaboration, il faudra le mettre à l'essai. Des révisions seront presque toujours nécessaires. Même après un nouvel essai et, le cas échéant, l'approbation des autorités aéronautiques, l'utilisation d'un scénario peut révéler des détails qui nécessitent une nouvelle révision en fonction des données fournies par les instructeurs LOFT et les équipages de conduite en ligne.

2.5.17 Les scénarios doivent être tenus à jour en ce qui concerne la navigation, les communications, la réglementation aérienne, les procédures du transporteur aérien et les modifications apportées au matériel volant. La précision des scénarios en ce qui concerne le matériel informatique et les logiciels est essentielle à la crédibilité du système LOFT.

2.5.18 Il convient d'envisager d'inclure dans un scénario LOFT les procédures et pratiques que mentionnent les manuels d'exploitation ou les manuels destinés aux équipages de conduite, dont on sait qu'elles sont souvent mal interprétées. Dans ce but, il faut également tenir compte des comptes rendus d'accident et des rapports d'entretien, ainsi que des comptes rendus d'incident provenant d'échanges d'informations et de systèmes confidentiels de compte rendu.

2.5.19 Dans les problèmes opérationnels, on inclura l'exposé avant le vol, l'autorisation de départ, les marchandises dangereuses, les options d'avitaillement en carburant, les NOTAM, etc. Les divers articles de la liste minimale d'équipements (MEL), ainsi que les problèmes de cabine et de passagers, les questions ATC et les problèmes de masse et de centrage sont autant de bonnes sources à exploiter pour les scénarios LOFT. Dans les problèmes d'environnement, on peut inclure, selon le cas, les conditions météorologiques, le vent, la température, les pistes mouillées et glacées ou fermées ainsi que les problèmes de balisage lumineux des pistes et des zones de toucher des roues.

2.5.20 Dans la catégorie des problèmes d'équipement, on pourra inclure, selon le cas, les problèmes d'équipement de bord et les problèmes d'équipement au sol — matériel de soutien, aides radio basées au sol, etc. Dans les problèmes d'équipage, on pourra inclure ceux qui concernent le personnel de cabine et l'équipage de conduite, notamment les cas d'incapacité manifeste ou discrète.

2.5.21 On envisagera également d'autres utilisations de la simulation de vol complet. Celle-ci permet d'envisager plusieurs applications dans le domaine de la formation et dans d'autres domaines qui intéressent les exploitants. La conception des simulations de ce type sera fonction d'objectifs précis à atteindre. Parmi les domaines dans lesquels ce type de simulation peut se révéler utile, on peut citer: la formation initiale de nouveaux pilotes, la formation de transition et de passage au grade supérieur ainsi que l'évaluation de nouvelles procédures.

Évaluation et critique de la performance

2.5.22 Il existe un conflit inhérent entre l'objet de l'entraînement LOFT et son application. Pour être efficace, il faut qu'il soit accepté par les membres d'équipage et administré par les instructeurs comme entraînement pur. Il n'y a pas d'exercice d'entraînement «sans pénalité», car les exploitants ont la responsabilité de la formation continue pour

ceux qui en ont besoin. Il est, toutefois, essentiel de créer une atmosphère qui permette aux membres d'équipage d'aborder cette forme d'entraînement avec un sentiment de liberté, de franchise et d'enthousiasme. Il ne faut pas que la participation soit compromise par une attitude de réserve ou de défensive provoquée par la crainte d'un échec.

2.5.23 Un conflit peut être minimisé, dans une large mesure, par la manière dont l'instructeur présentera les choses au cours du briefing avant le vol, où il faudra mettre l'accent sur les points suivants:

- il s'agit purement et simplement d'une expérience d'apprentissage;
- il s'agit d'un concept de formation qui met l'accent sur les aspects commandement, coordination, communications au sein de l'équipage ainsi que sur la gestion complète des moyens disponibles;
- l'instructeur n'interviendra pas quelles que soient les circonstances;
- des erreurs peuvent être faites, mais l'équipe devra poursuivre sa tâche étant donné qu'il n'y a pas de solution théorique unique à un exercice LOFT;
- il sera possible de procéder à une autocritique complète au cours de l'analyse faisant suite au vol;
- l'instructeur prendra des notes au cours de l'exercice et apportera son concours à l'analyse après vol.

2.5.24 Le rôle d'un instructeur LOFT n'est pas celui d'un instructeur dans le sens classique. Par exemple, par souci de réalisme, l'instructeur n'interviendra en aucune manière dans le scénario LOFT. Ainsi, pour les besoins de l'analyse après vol, il est donc très important qu'il intervienne essentiellement comme «facilitateur» de l'apprentissage.

2.5.25 Selon l'expérience acquise par les exploitants qui utilisent avantageusement l'entraînement LOFT, les membres d'équipage ont tendance à faire leur autocritique après le vol. L'autocritique et l'auto-examen sont en principe beaucoup plus efficaces qu'une critique émanant de l'instructeur. En effet, les membres d'équipage sont souvent plus durs envers eux-mêmes que l'instructeur ne le serait. Celui-ci devrait mettre tout en œuvre pour encourager cette auto-analyse.

2.5.26 L'instructeur peut orienter le débat sur des points qui exigent une attention particulière. Des questions au sujet de certaines procédures, de certaines fautes, etc. devraient être posées chaque fois que possible. À moins d'absolue nécessité, il faudra éviter les sermons sur ce qui est correct et ce qui ne l'est pas. L'analyse critique après vol pourrait adopter la présentation suivante:

- déclaration générale à caractère positif ou de bienvenue pour ouvrir le débat;

- bref examen du scénario portant notamment sur les objectifs;
- discussion par les membres de l'équipage de l'exercice dans son ensemble et de ses différentes parties;
- examen de tous les aspects du vol, sans permettre qu'aucun point particulier ne domine l'analyse;
- mention d'éventuelles solutions de rechange et de meilleures façons de réaliser les objectifs;
- prolongement du débat par des questions posées à chaque membre d'équipage, par exemple: «Que serait-il arrivé si vous aviez...?».

2.5.27 En ce qui concerne le processus d'évaluation et de critique, il faut mettre tout en œuvre pour donner aux membres d'équipage participant à l'entraînement LOFT l'assurance qu'ils ne risquent pas de perdre leur emploi chaque fois qu'ils entrent dans le simulateur pour une séance d'entraînement. Si une exécution satisfaisante est un aspect inéluctable de l'entraînement LOFT, il est par ailleurs difficile d'imaginer un entraînement non satisfaisant. Dans certains cas, une séance LOFT peut mettre en évidence des aspects qui nécessitent une attention supplémentaire; cependant, les erreurs, même graves, commises au cours d'une séance LOFT sont souvent manifestes et n'exigent pas qu'on y porte particulièrement attention si l'enseignement apporté par l'expérience ne peut être meilleur. Dans certains cas, cependant, des erreurs peuvent indiquer des déficiences qui nécessitent un supplément de travail. La manière dont cette situation est portée à la connaissance d'un membre d'équipage est capitale, et il y a là un défi pour les exploitants et leurs instructeurs.

2.5.28 Au cours de l'analyse critique après le vol, l'instructeur devra analyser et évaluer en toute franchise la performance de l'équipe dans son ensemble et celle de ses membres. L'évaluation critique de chacun sera faite en présence de l'équipage au complet, mais le détail des mesures correctives devrait être traité séparément. Il faut user de tact pour maintenir l'ambiance appropriée de l'instruction.

2.5.29 Le LOFT est, avant tout, une expérience d'apprentissage. Le succès et le degré d'acceptation d'un programme LOFT dépendent, dans une large mesure, de la manière dont il aura été planifié et préparé. Les scénarios doivent impérativement mettre l'accent sur le réalisme. Les instructeurs doivent être soigneusement sélectionnés et instruits dans l'art du briefing, de la conduite du programme et de l'analyse critique après vol.

2.5.30 Si un entraînement supplémentaire est prescrit pour certains membres d'équipage, il faut qu'il soit assuré «en mode mineur», d'une manière détendue. Si ces conditions sont observées avec soin, la corvée d'évaluation/de critique ne nuira pas nécessairement à la qualité de l'ambiance de la formation et se traduira par une acceptation complète.

Formation et qualifications des instructeurs

2.5.31 Chaque instructeur doit avoir suivi un cours de formation spécialisé pour le LOFT. D’une manière générale, les instructeurs sont sélectionnés parmi les pilotes de ligne ou les pilotes inspecteurs qui volent sur le type d’avion utilisé pour l’entraînement LOFT.

2.5.32 Certaines compagnies aériennes recourent avec succès aux services d’anciens pilotes ayant une expérience considérable des vols de ligne, mais dont les connaissances ne sont plus à jour. Dans ce cas, ces pilotes devraient recevoir les éléments d’enseignement au sol et sur simulateur du cours de qualification correspondant au type d’avion utilisé. Les procédures opérationnelles en vigueur devraient leur être familières et ils devraient régulièrement occuper le strapontin sur des tronçons de ligne types pour observer l’application des procédures.

2.5.33 Lorsque l’entraînement LOFT s’applique à un équipage de trois membres, la compagnie devrait avoir la latitude de le faire dispenser par un instructeur convenablement entraîné à tous les postes occupés par l’équipage.

2.5.34 Le rôle de l’instructeur devrait se limiter aux tâches suivantes:

- briefing avant le vol;
- déroulement précis d’un scénario prescrit, d’une manière réaliste;
- surveillance, enregistrement et évaluation de la performance de l’équipage pour les besoins de l’analyse critique après vol;
- exécution d’une analyse critique objective, initiation à l’autocritique de la manière la plus utile possible.

Formation spécialisée des instructeurs

2.5.35 Les inspecteurs et les pilotes inspecteurs sélectionnés pour diriger les exercices LOFT devraient recevoir une formation aux concepts et à la conduite du programme LOFT. Cette formation devrait comprendre au minimum:

- briefing de l’équipage et familiarisation complète avec les procédures avant vol, notamment les plans de vol, les comptes rendus météorologiques, les listes minimales d’équipements, les données de performance de l’avion, les procédures de chargement, etc.;
- observation et compréhension de la gestion des menaces et erreurs, y compris les notions d’équipe et de coordination d’équipe;

- cadence et sélection des éléments à inclure dans le scénario LOFT et introduction de procédures ou de situations anormales ou d’urgence;
- compréhension approfondie des compétences en matière d’observation, de communication, de commandement et d’autorité;
- perfectionnement des compétences personnelles d’interaction appropriée avec l’équipage de conduite au cours du briefing avant le vol, de l’exercice LOFT et de l’analyse critique après le vol;
- instruction sur les aptitudes à l’évaluation, avec directives appropriées dans des secteurs spécifiques comme l’exercice des responsabilités de commandement, la planification, l’organisation, les communications interpersonnelles, la résolution de problèmes, l’esprit de décision, le jugement, la connaissance des systèmes et des performances de l’avion, la connaissance et l’application des règlements aéronautiques et des procédures ATC, la sensibilité, l’autorité, l’assertivité, le calme et l’aptitude au pilotage, les normes de travail et la coordination au sein de l’équipage.

Normalisation du programme LOFT

2.5.36 C’est en faisant suivre systématiquement aux instructeurs un programme complet de formation, suivi d’un contrôle périodique, que l’on parvient à normaliser l’entraînement LOFT. De plus, il est essentiel, afin que le programme puisse fonctionner, de prévoir un programme d’information en retour et de critique avec la participation de membres d’équipages de conduite. Cette normalisation est encore améliorée si les instructeurs de LOFT s’observent mutuellement. La normalisation du système peut être assurée plus facilement si le groupe d’instructeurs LOFT est peu nombreux et s’il travaille presque exclusivement sur ce programme. Celui-ci ne devrait être mené par personne d’autre que des instructeurs convenablement qualifiés pouvant éventuellement exercer d’autres fonctions dans un service de formation, s’il y a lieu. Il convient d’organiser des séances régulières de normalisation. Au cours de ces séances, les scénarios LOFT peuvent être évalués et réévalués afin de les améliorer.

Autres utilisations d’une simulation de vol complet

2.5.37 Les autres utilisations d’une simulation de vol complet sont les suivantes:

- formation de transition ou formation initiale;
- familiarisation avec des aéroports particuliers;
- entraînement correctif;
- problèmes de cisaillement du vent;

- enquêtes sur les accidents et incidents;
- présentation aux nouveaux pilotes des communications, des autorisations ATC, des listes de vérification et du pilotage d'avion de ligne;
- évaluation des commandes et instruments de vol et prise en compte des facteurs humains dans le poste de pilotage;
- formation de copilote: techniques d'approche et de départ VFR, schémas de circulation, etc.;
- répartition et gestion du carburant;
- élaboration de techniques et procédures;
- perfectionnement des compétences au décollage et à l'atterrissage;
- révisions de scénarios d'accident et d'incident;
- entraînement et qualifications aux vols de convoyage avec un moteur en panne;
- révisions avant le vol pour les opérations spéciales;
- entraînement aux manœuvres spéciales de pilotage, p. ex. en cas de décrochage à haute altitude.

Exemples de scénarios LOFT

2.5.38 On trouvera ci-après deux exemples de scénarios LOFT pouvant aider à réaliser la conception CRM/LOFT. Il faut noter que celle-ci varie d'une société à l'autre et qu'il faudrait préciser la description du scénario, y compris son minutage.

2.5.39 Les exemples sont divisés en trois parties. Chaque exemple commence par une brève description du scénario, suivie de celle des menaces sur l'équipage, qu'il faudra identifier et éliminer. Il comporte aussi une liste de compétences et résultats CRM/LOFT correspondant à l'enseignement tiré du scénario proprement dit. Cette liste est un élément clé de la conception du scénario, car le facilitateur ou instructeur LOFT peut baser l'analyse critique après vol sur cet élément.

Scénario 1

Alerte à la bombe à bord. Il s'agit d'un court vol de secteur entre Singapour et Penang. Environ dix minutes avant le début de la descente (TOD), le personnel de cabine signale la présence d'un paquet fermé dans le compartiment toilette arrière. Examiné de près, ce paquet s'avère contenir une bombe.

Phase du vol	Scénario	Menaces	Compétences et résultats CRM/LOFT
Avant le vol	L'avion est survitaillé en carburant, mais sans effet adverse sur la masse à l'atterrissage. L'équipage en est informé quinze minutes avant l'heure de départ prévue.	Changement dans les performances de l'avion Pression sur l'équipage pour prendre le départ	<i>Gestion de la charge de travail.</i> Nouvel état de charge exigé, en tenant compte des contraintes et de la pression de départ. Départ du vol. <i>Communication.</i> Annonce générale aux passagers et à l'équipage, s'il y a lieu.
Croisière	Turbulences modérées	Risque de blessures pour passagers et équipage	<i>Vigilance.</i> Informer à l'avance passagers et équipage au sujet des turbulences. Risque de blessures évité. <i>Conscience de la situation.</i> L'équipage de cabine est informé de devoir avertir le poste de pilotage en cas de conséquences des turbulences.
Dix minutes avant TOD	Le personnel de cabine signale qu'un passager a trouvé dans la toilette arrière un paquet contenant une bombe.	Alerte à la bombe Crainte croissante chez les passagers et l'équipage	<i>Prise de décision.</i> Option optimale choisie, en se guidant sur les procédures de l'entreprise; celle-ci et l'ATC sont dûment notifiés. <i>Gestion des urgences.</i> L'équipage suit la meilleure voie pour éviter la panique chez les passagers. <i>Conscience de la situation.</i> Surveillance étroite pour signes de danger croissant dans la cabine.
Descente	Le personnel de cabine signale que les passagers à l'arrière de la cabine sont devenus incontrôlables et que l'un d'eux vient d'avoir une crise cardiaque.	Décès à bord Tâches multiples et temps comprimé Passagers incontrôlables	<i>Autorité et commandement.</i> Annonce générale appropriée. <i>Prise de décision.</i> Décision prise d'atterrir au plus tôt. <i>Communication.</i> L'ATC et la société sont avertis de la situation et les services au sol nécessaires sont mis en place. <i>Gestion de la charge de travail.</i> Tâches réparties entre les deux membres d'équipage; définition des limites; exécution des briefings et des listes de vérification.
Approche et atterrissage	Défaut d'alignement de descente sur ILS avec plafond à 1000 pieds	Contrôle continu des passagers à bord Pression due au défaut d'alignement de descente sur ILS	<i>Briefings.</i> Autres mesures discutées au cours du briefing: mesures à prendre selon la situation après atterrissage et au sol. <i>Gestion de la charge de travail.</i> Rétablissement des minima et poursuite de l'atterrissage.

Scénario 2

Vol de Zurich à Milan sur biréacteur gros-porteur, le copilote aux commandes. Panne de réacteur au décollage. Aspects essentiels du scénario: transfert ordonné de la conduite du copilote au commandant de bord; recours aux automatismes pour prendre en charge les objectifs de vol sans conséquence pour la sécurité. D'autres menaces auraient un effet sur la performance de l'équipage.

<i>Phase du vol</i>	<i>Scénario</i>	<i>Menaces</i>	<i>Compétences et résultats CRM/LOFT</i>
Avant le vol	Normal; aucun impact notable sur la suite. Exécution de vérifications et procédures normales. Secteur du copilote.	Décollage à pleine charge	<i>Briefings</i> . Discussion de questions de performance en fonction du terrain.
Décollage	Panne de réacteur après V ₁	Impact évité Inversion des rôles Conduite de vol asymétrique due à la panne de réacteur Craintes manifestées par les passagers et l'équipage	<i>Autorité et commandement</i> . Transfert en douceur des commandes du copilote au commandant. <i>Communication</i> . Compagnie et ATC avertis. <i>Gestion de la charge de travail</i> . Vérification selon les listes appropriées.
Montée	Fermeture de l'aéroport de Zurich pour des raisons de sûreté. ATC recommande déroutement sur Francfort.	Impossibilité d'atterrir immédiatement, ajoutant au stress Augmentation du temps écoulé après panne Craintes manifestées par les passagers et l'équipage	<i>Gestion des automatismes</i> . Tâches secondaires laissées aux automatismes. <i>Communication</i> . Coordination des mesures avec la compagnie et l'ATC; annonce aux passagers pour les rassurer au sujet de la situation et de leur sécurité.
Croisière	Déroutement sur Francfort	Grosse charge de travail avec court délai de déroutement Pression pour atterrir au plus vite après panne de réacteur	<i>Briefings</i> . Plans communiqués. Encouragement à poser des questions. <i>Communication</i> . Les passagers et l'équipage de cabine sont mis au courant du déroutement et de la situation. Avis rassurants dispensés.
Approche	Réacteur en panne pour l'approche et l'atterrissage	Approche et atterrissage anormaux	<i>Gestion des automatismes</i> . Utiliser les automatismes pour aider aux manœuvres d'approche et d'atterrissage.

LISTE D'OUVRAGES RECOMMANDÉS

- Dekker, S. et E. Hollnagel. 1999. *Coping with Computers in the Cockpit*. Aldershot, England: Ashgate Publishing.
- Hawkins, F. 1993. *Human Factors in Flight*. 2^e éd. Brookfield, VT: Ashgate Publishing Co.
- Hayward, B.J. et A.R. Lowe, éd. 1996. *Applied Aviation Psychology: Achievement, Change and Challenge*. Aldershot, England: Ashgate.
- Helmreich, R.L., A.C. Merritt et J.A. Wilhelm. 1999. «The Evolution of Crew Resource Management Training in Commercial Aviation». *International Journal of Aviation Psychology*. 9(1), 19-32. (UTHFRP Pub 235).
- Helmreich, R.L. 1999. «Formation CRM: première ligne de défense contre les risques aériens, y compris l'erreur humaine». *Journal OACI, Revue de l'Organisation de l'aviation civile internationale*. 54(5), 6-10, 29.
- Helmreich, R.L. 1999. «Ten Years of Change: Crew Resource Management 1989–1999». In *Proceedings of the Fourth ICAO Global Flight Safety and Human Factors Symposium* (p. 139-149). Santiago, Chili: OACI.
- Helmreich, R.L., J.R. Kline et J.A. Wilhelm. 1999. «Models of Threat, Error, and CRM in Flight Operations». In *Proceedings of the Tenth International Symposium on Aviation Psychology* (p. 677-682). Columbus, OH: The Ohio State University. (UTHFRP Pub 240).
- Maurino, D.E., J. Reason, N. Johnston et R. Lee. 1995. *Beyond Aviation Human Factors: Safety in High Technology Systems*. Brookfield, VT: Avebury Aviation.
- Organisation de l'aviation civile internationale. *Facteurs humains, Étude n° 10 — Les facteurs humains, la gestion et l'organisation* (Cir 247). 1993. Montréal, Canada: Organisation de l'aviation civile internationale.
- Orlady, H.W. et L.M. Orlady. 1999. *Human Factors in Multicrew Flight Operations*. Aldershot, England: Ashgate Publishing.
- Reason, J. 1990. *Human Error*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Reason, J. 1997. *Managing the Risks of Organizational Accidents*. Aldershot, England: Ashgate Publishing.
- Salas, E., C.A. Bowers et E. Edens, éd. 2001. *Applying Resource Management in Organizations*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Inc.
- Wiener, E.L., B.G. Kanki et R.L. Helmreich, éd. 1993. *Cockpit Resource Management*. San Diego, CA: Academic Press.
- Wiener, E. 1989. *Human Factors of Advanced Technology («Glass Cockpit») Transport Aircraft*. NASA Contractor Report 177528. NASA Ames Research Center, Moffett Field, CA.
- Wiener, E. 1993. «Crew Coordination and Training in the Advanced-technology Cockpit». In *Cockpit Resource Management*. E. Wiener, B. Kanki et R. Helmreich, éd. San Diego, CA: Academic Press.

CHAPITRE 3

QUESTIONS DE FORMATION EN RAPPORT AVEC L'AUTOMATISATION ET LES POSTES DE PILOTAGE DE TECHNOLOGIE AVANCÉE

3.1 INTRODUCTION

3.1.1. Le présent chapitre traite des incidences de l'automatisation et des postes de pilotage à technologie avancée en matière de facteurs humains. Son objet est d'identifier les questions qui se posent en ce qui concerne l'exploitation et la formation et de faire comprendre les problèmes d'interface entre les êtres humains et les automatismes, en insistant sur la façon dont l'automatisation influe sur la performance humaine.

3.1.2 Ce chapitre a une orientation opérationnelle. Il ne traite pas des questions de conception et de certification, car la conception du poste de pilotage et des systèmes est traitée dans la 1^{re} Partie, Chapitre 3. Ces deux chapitres devraient assurer une meilleure compréhension des problèmes que rencontre le personnel de formation lors de la mise en place de nouvelles technologies.

3.1.3 L'automatisation a été introduite progressivement, au fil des ans, dans le poste de pilotage et dans le système aéronautique. Dans le poste de pilotage, elle a le potentiel de rendre l'exploitation aérienne plus sûre et plus efficace (rien que pour les transporteurs IATA d'un certain pays, une réduction de 1 % de la consommation de carburant se traduit par une économie de 100 millions de dollars), en assurant une plus grande précision de manoeuvre, en donnant de la souplesse aux affichages et en optimisant l'agencement du cockpit. Cependant, dans la perspective de la sécurité de vol, ce chapitre s'attachera aux problèmes qui résultent ou pourraient résulter de l'automatisation. Il faut en effet définir ces problèmes et les comprendre, sans qu'il s'agisse de critique de la technologie elle-même. Pour rester dans une juste perspective, il faut dire que les avantages de l'automatisation l'emportent de loin sur les problèmes.

3.1.4 Bien qu'il n'y ait pas encore de consensus international sur le bon usage des automatismes, la diminution du nombre d'accidents liés à l'erreur humaine peut être attribuée en partie à leur introduction dans le poste de pilotage. Cependant, l'expérience révèle aussi des défaillances des automatismes; plus souvent, des inadéquations à l'interface homme-machine restent des éléments cruciaux de l'enchaînement causal qui conduit aux accidents et incidents.

3.1.5 Une des raisons du recours à l'automatisation était le souci d'éliminer l'erreur humaine. Jusqu'à présent, on a réussi à éliminer certains types d'erreur; dans d'autres cas, ce qui s'est produit est un déplacement de l'erreur. L'expérience montre que l'automatisation peut éliminer les erreurs mineures mais risque d'accroître le potentiel d'erreurs majeures. Ce sont là des exemples des messages qui se dégagent de ce chapitre.

3.1.6 Le présent chapitre:

- fait l'historique de l'automatisation en aviation, en propose une définition, explique son caractère évolutif et souligne la nécessité d'une philosophie de l'automatisation;
- aborde certains problèmes de l'automatisation; il montre ce qui a bien fonctionné et ce qui n'a pas fonctionné, par rapport aux attentes;
- traite de la formation du personnel d'exploitation, en insistant sur la formation des équipages de conduite;
- traite des techniques de gestion et des stratégies qui ont été ou pourraient être employées, mise à part la formation, pour résoudre les problèmes liés à l'automatisation;
- résume des études de terrain sur l'automatisation;
- présente un ensemble de principes en matière d'automatisation;
- présente, à titre d'exemple, la philosophie de l'automatisation que propose un transporteur;
- donne une liste de références.

3.2 INTRODUCTION À L'AUTOMATISATION

3.2.1 Le Grand Larousse encyclopédique définit l'automatisation comme la «suppression totale ou partielle de l'intervention humaine dans l'exécution de tâches diverses». La définition qu'en donne le dictionnaire d'Oxford peut se

traduire: «conduite automatique de la fabrication de produits par étapes successives; emploi de procédés automatiques en vue de réduire le travail mental et manuel nécessaire». Aux fins de la présente étude, nous proposons la définition suivante de l'automatisation du poste de pilotage: «Attribution à des mécanismes, par choix de l'équipage, de l'exécution de certaines tâches ou de certaines parties des tâches de l'équipage humain. Cette définition englobe les systèmes d'avertissement et d'alarme qui remplacent ou renforcent la surveillance et la décision humaines (cette intervention peut ne pas être du choix de l'équipage mais être préassignée, comme c'est le cas, par exemple, des systèmes de surveillance des automatismes, de surveillance de la progression de vol ou de détection d'incendie).»

3.2.2 À l'origine, les automatismes ont été employés pour stabiliser l'assiette de l'avion par action sur les surfaces aérodynamiques; des dispositifs gyroscopiques ont été utilisés à cette fin pendant de nombreuses années pour stabiliser l'assiette autour des trois axes spatiaux (boucle interne de contrôle de l'aéronef). Pendant la seconde guerre mondiale, on a beaucoup utilisé les gyroscopes commandés par dépression, qui fournissaient aussi dans le cockpit des indications de cap et d'assiette, de sorte que l'équipage était mieux informé et se fatiguait moins, ayant moins besoin d'utiliser les commandes manuelles.

3.2.3 Les progrès se sont accélérés après la guerre. Des circuits électriques et des amplificateurs électroniques ont remplacé les gyroscopes à dépression. L'avènement des radiophares omnidirectionnels à très haute fréquence (VOR) et du système d'atterrissage aux instruments (ILS) a permis de coupler des pilotes automatiques aux signaux émis par ces appareils ainsi qu'aux axes radiaux de poursuite et aux faisceaux de radioalignement de piste et d'alignement de descente. Les données précises sur les repères extérieurs qui étaient intégrées au système de pilotage automatique amélioreraient la surveillance dans la boucle externe¹. Tel était l'état des techniques lors de la mise en ligne des premiers avions de transport à réaction, à la fin des années 1950.

3.2.4 Avec les possibilités accrues de vitesse et d'altitude des nouveaux avions de transport, une plus grande précision de la boucle interne de commande devenait nécessaire, surtout à haute altitude; il fallait aussi des instruments de vol plus précis. C'est à cette époque que furent introduits les amortisseurs de lacet, pour amortir les oscillations et contrecarrer la tendance au mouvement de lacet lors des virages inclinés, et les compensateurs de Mach, pour contrecarrer la tendance au piqué qui se manifeste lorsque le nombre de Mach atteint des valeurs élevées; ce sont là de bons exemples d'automatismes employés sans que l'équipage ait à intervenir. L'introduction des directeurs de vol², intégrant en un seul instrument les renseignements d'assiette et de navigation, assura un meilleur contrôle de la boucle interne mais fit craindre que les pilotes ne perdent de vue les «données brutes» dont provenaient ces renseignements.

3.2.5 Les progrès de l'électronique au cours des années 1960, avec l'avènement des semi-conducteurs, favorisèrent

l'apparition de systèmes de pilotage automatique et de directeurs de vol rendant possibles les atterrissages automatiques et permettant un contrôle intégré de la puissance et de la trajectoire de vol au moyen d'automatismes. Les équipages de conduite ayant signalé des difficultés d'apprentissage des aspects complexes de l'utilisation de ces systèmes, il fut exigé que les pilotes, lors de leur certification, démontrent leur habileté en la matière, alors que l'on insistait précédemment sur l'aptitude à piloter sans ces aides. Les systèmes avertisseurs de proximité du sol (GPWS) et, plus récemment, l'équipement embarqué d'évitement des collisions (ACAS/TCAS), qui donne au pilote des avis de manoeuvre plutôt que d'employer simplement des automatismes pour conserver la maîtrise de la situation aérodynamique et de la navigation, représentent une nouvelle extension du concept des «instructions automatisées». Ce concept d'émission automatisée d'avis/avertissements au pilote est appliqué de nos jours dans les systèmes d'avertissement de cisaillement du vent et les systèmes anticollision. La mise en oeuvre de la navigation de surface (RNAV) et de systèmes de gestion de vol en quatre dimensions intégrés avec le pilote automatique a accru le niveau de complexité de l'automatisation réalisée dans les avions de transport civils. Elle permet une utilisation plus efficace de l'espace aérien par les aéronefs et par le contrôle de la circulation aérienne.

3.2.6 Des considérations économiques — on cherchait à réduire la charge de travail dans le poste de pilotage pour permettre l'utilisation sûre et efficace d'équipages à deux au lieu des équipages à trois — ont été déterminantes pour une nouvelle grande étape de l'automatisation: les visualisations électroniques à écrans cathodiques et les dispositifs automatiques de gestion des systèmes. (Le rapport entre automatisation et charge de travail reste cependant à déterminer; il serait erroné d'admettre d'une façon générale que l'automatisation réduit la charge de travail, car il y a des cas où l'inverse se produit.) D'autres objectifs majeurs étaient de réduire les risques d'erreur humaine en surveillant la gestion des systèmes de bord et la conduite du vol par l'opérateur humain, ainsi que d'optimiser les performances de vol et la gestion du carburant. Du point de vue opérationnel, les nouveaux systèmes permettaient la navigation et le guidage automatisés dans les plans vertical et horizontal, ainsi qu'une gestion entièrement automatisée de la poussée. Cependant, on commençait seulement à comprendre les incidences de cette nouvelle technologie. Avec la mise en service d'avions dotés de ces moyens, il devint bientôt évident que le système ATC n'avait pas une capacité d'adaptation suffisante pour permettre d'exploiter de façon pleinement satisfaisante les possibilités du système de gestion de vol (FMS) de ces avions.

3.2.7 Les avions les plus récents (A320/330/340; B-747-400; B-777; MD-11) sont dotés de formes avancées d'automatisation, dont les systèmes de commande comportent une logique de protection contre toute sortie du domaine de vol sûr de l'appareil. La technologie des microprocesseurs a permis d'automatiser les tâches de navigation et de gestion des systèmes de bord, ce qui a marginalisé l'équipage par rapport au pilotage réel de l'avion. Alors que les pilotes avaient jadis directement autorité sur tous les aspects de la conduite et de la

gestion de leur appareil, ils ont maintenant à gérer des interfaces complexes avec du matériel et des logiciels, à travers lesquelles ils doivent piloter l'avion (voir Figure 3-1). Ces progrès techniques ont cependant fait apparaître de nouvelles formes d'erreur. La complexité du panneau de commande et de visualisation (CDU) pose des problèmes et on a envisagé de supprimer l'insertion des données sur le clavier CDU, bien qu'il puisse être difficile de trouver un bon système de remplacement.

3.2.8 Les avions de la nouvelle génération sont en outre caractérisés par des évolutions radicales dans les échanges d'informations entre l'équipage et l'avion. Le volume d'informations échangées a augmenté considérablement; ainsi, le moniteur électronique de bord centralisé (ECAM) de l'A320 peut afficher sur son écran cathodique plus de 200 rubriques de listes de vérification. Par ailleurs, les interfaces entre l'équipage et l'avion sont maintenant tellement centralisées et intégrées que d'énormes quantités d'informations très diverses sont échangées à travers une même interface. Dans la technologie EFIS (système d'instruments de vol électroniques), les écrans cathodiques permettent de combiner des informations de sources multiples sous une forme très synthétisée, en présentant quatre visualisations essentielles de la situation de l'avion: contrôle primaire de trajectoire de vol, navigation, surveillance des moteurs et des commandes de vol et surveillance des systèmes. Les volants, manettes, commutateurs et boutons-poussoirs classiques ne sont plus les principaux moyens de transmission des informations entre l'avion et l'équipage. Leurs fonctions sont maintenant assumées par un système de commandes de vol pour les instructions à court terme en temps réel (tactiques) et par un panneau de commande et de visualisation pour l'insertion de données à long terme (stratégiques).

3.2.9 Cette dernière étape de l'évolution du poste de pilotage n'est pas couverte par la définition de l'automatisation présentée en 3.2.1, mais est liée aux questions qui seront examinées dans le présent chapitre. En fait, il est souvent difficile — ou assez artificiel — de séparer les automatismes des processus complexes d'échange d'informations. De plus, les technologies avancées (cockpit tout écrans) ont tendance à poser des problèmes de facteurs humains analogues à ceux qui sont liés à l'automatisation (excès de confiance, marginalisation de l'opérateur humain, etc.).

3.2.10 Ce sont essentiellement les raisons suivantes, déjà évoquées dans les paragraphes qui précèdent, qui ont motivé l'automatisation dans le poste de pilotage:

- *L'existence des technologies*, surtout avec l'essor des microprocesseurs. La vitesse et les possibilités grandissantes des avions à réaction, l'accroissement du trafic aérien, le coût des accidents (en vies humaines et en responsabilité civile) et la prise de conscience des limites humaines sont parmi les raisons pour lesquelles on a fait appel à des mécanismes. Il est à noter que si certaines des promesses de l'automatisation ont été promptes à se réaliser, on n'a pris conscience que récemment de beaucoup des problèmes qu'elle pose.
- *La persistance des préoccupations de sécurité*, devant la mention persistante de l'erreur humaine dans les comptes rendus d'accidents et d'incidents. Le but était d'éliminer l'erreur à sa source — de remplacer le fonctionnement humain par le fonctionnement d'automatismes (Figure 3-2). Or, les automatismes demandent à être surveillés par des humains, et ceux-ci sont tout au mieux de piètres surveillants. L'interface entre l'opérateur humain et l'automatisme comporte un potentiel de génération d'erreurs qui est susceptible de mener à des accidents; parfois, les automatismes n'ont réussi qu'à déplacer l'erreur et non à l'éliminer. La mesure dans laquelle la sécurité générale a été améliorée est toujours débattue dans de nombreux milieux.
- *L'objectif d'améliorer l'économie d'exploitation* en optimisant la navigation et la gestion générale du vol ainsi que la consommation de carburant. La fiabilité et la facilité d'entretien peuvent être mentionnées sous ce titre. D'une manière générale, ces aspects sont assez impressionnants dans les avions de la nouvelle génération.
- *Les efforts pour réduire la charge de travail, et donc l'effectif des équipages*, permettant de mettre en service des avions gros-porteurs qui demandent seulement un équipage à deux. On a vu dans l'automatisation un moyen de réduire la charge de travail dans le poste de pilotage. Or, l'expérience montre que si la charge de travail manuel a pu être réduite, la charge de travail mental ne l'a pas été autant. En fait, elle a peut-être même augmenté. L'expérience acquise en exploitation donne aussi à penser que l'automatisation ne réduit peut-être pas toujours la charge de travail pendant les phases du vol au cours desquelles cette charge est généralement élevée, par exemple les arrivées et les départs aux aéroports très actifs.
- *L'objectif de gagner de la place dans le poste de pilotage* en profitant de la flexibilité que les systèmes numériques donnent aux visualisations et aux commandes de vol. Ces systèmes permettent aussi de mettre une bien plus grande abondance d'informations à la disposition des équipages de conduite et des stations au sol.

3.2.11 Il ressort de ce qui précède que la mise en oeuvre des automatismes a été progressive (ou *évolutionnaire*) et ne s'est pas inscrite dans une stratégie globale, fondée sur une conception systémique (*révolutionnaire*). Autrement dit, la mise au point de divers éléments indépendants a conduit à leur introduction progressive dans le poste de pilotage lorsqu'ils sont devenus disponibles, pour parvenir peu à peu au niveau présent d'automatisation. Lorsque, par exemple, les progrès de la technologie du stabilisateur gyroscopique ont permis d'assurer la correction d'assiette, cet automatisme a été introduit dans le poste de pilotage en étant toujours environné d'instruments et de commandes non automatisés. Lorsqu'il est

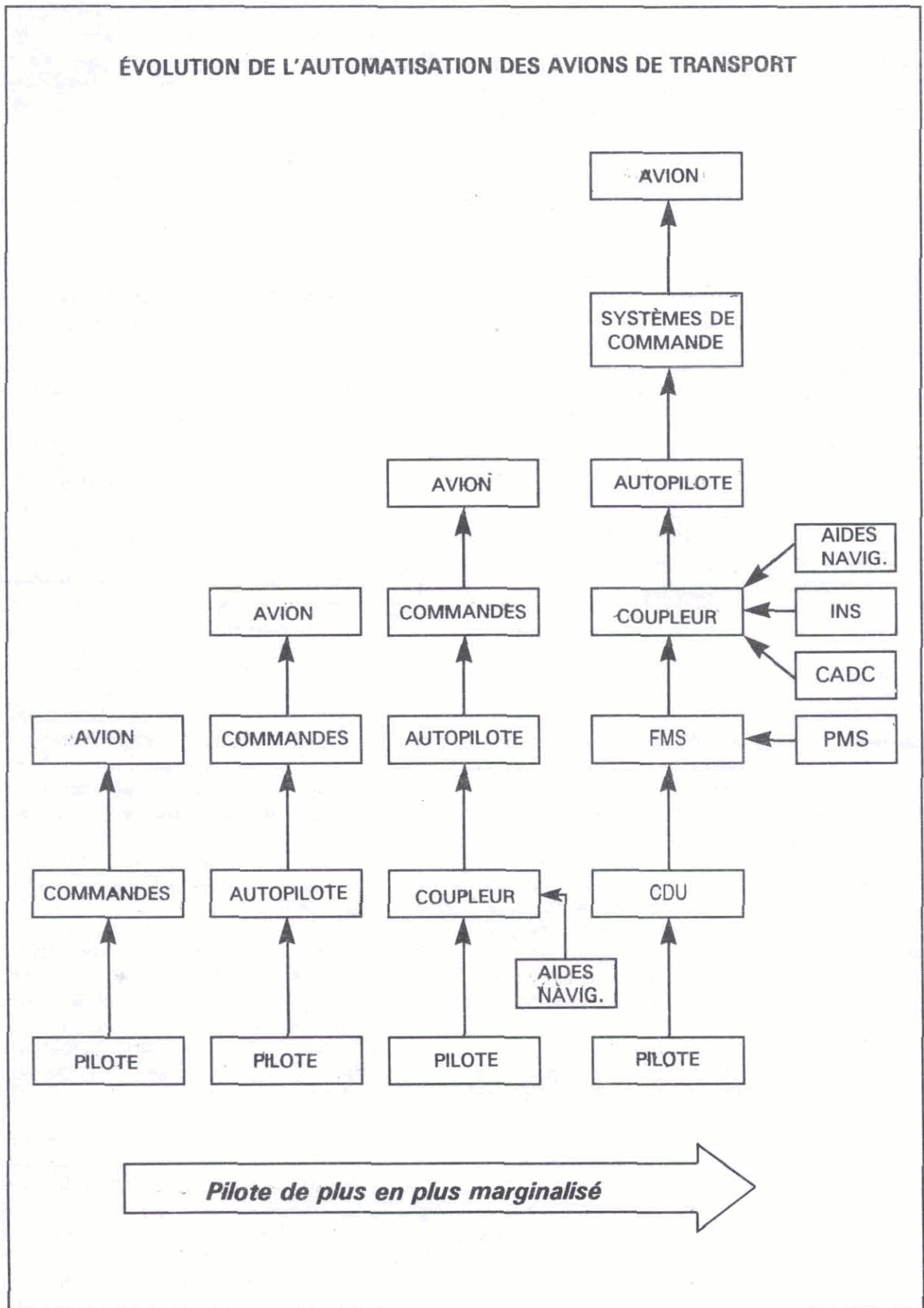


Figure 3-1

Comité de conception des postes de pilotage – Boeing

Exemples de données d'accidents examinés

• Accidents liés à la gestion de sous-systèmes — Transporteurs aériens mondiaux 1968-1980

Cause ayant contribué à un accident

- L'équipage a omis le réchauffage Pitot
- Mauvaise position commutateur alimentation secours
- Le mécanicien de bord et le pilote ont effectué dépannage non autorisé
- Commutation alimentation électrique pas coordonnée avec pilotes
- Le mécanicien de bord a débranché l'avertisseur de proximité du sol
- Gestion du carburant défectueuse
- Volets de bord d'attaque pas sortis au décollage
- Confusion sur position correcte interrupteur déporteurs
- Le copilote n'a pas suivi une instruction du pilote
- Mauvaise gestion de la pressurisation cabine

Action corrective (au niveau conception)

- Fonction automatisée au démarrage moteurs
- Automatisation de l'alimentation de secours et principale
- Une simplification des systèmes élimine des fonctions de maintenance
- Commutation et délestage automatiques, ne nécessitant aucune intervention de l'équipage
- Arrêt sur tableau avant, bien visible des deux pilotes
- Gestion carburant automatisée, avec alarme pour bas niveau, mauvaise configuration ou déséquilibre
- Alarme décollage améliorée, avec calculateur numérique
- Double commande électrique déporteurs
- Système avertisseur et alarme en fonctionnement permanent
- Double système automatique avec transfert automatique

Attribution des fonctions du mécanicien de bord du 747-200 à l'équipage de conduite du 747-400

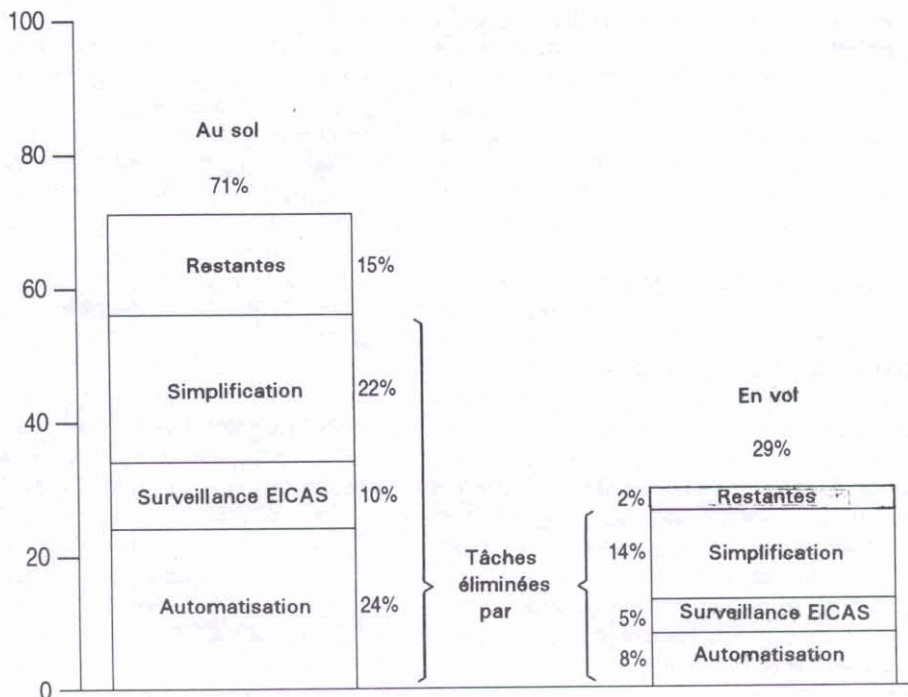


Figure 3-2

devenu possible de confier à des systèmes la conduite du vol et l'utilisation du carburant, les postes de pilotage électromécaniques ont été dotés de calculateurs de performances/ systèmes de commande. Lorsque le développement des aides au sol l'a permis, des systèmes automatisés de navigation (atterrissage automatique, par exemple) ont été mis en place. Enfin, avec la technologie des microprocesseurs et des écrans cathodiques, on a vu l'avènement du «cockpit tout écrans». À l'heure actuelle, les travaux sont axés sur le processus d'intégration décrit en 3.2.8 (Figure 3-3).

3.2.12 À propos d'une évolution de ce type, les chercheurs parlent d'une approche axée sur la technologie, par opposition à l'approche axée sur l'être humain. Dans cette dernière, l'être humain est l'élément central qui dirige et gère le système; les automatismes sont là pour aider l'équipage. La valeur de l'automatisation tient très largement au fait qu'ils ne font que cela. La différence entre les deux approches est importante, en l'absence d'une philosophie coordonnée de l'automatisation dans le poste de pilotage. L'expérience montre que beaucoup de problèmes liés à l'introduction des technologies avancées dans le cockpit des avions de transport commercial sont dus à l'inexistence d'une philosophie cohérente en la matière (Figure 3-4). Un énoncé de philosophie dans des lignes directrices indépendantes permet que tout dispositif, toute technique d'exploitation, toute doctrine ou tout programme d'entraînement nouveau soit confronté à une «matrice», au lieu d'être conçu, mis en oeuvre et justifié nouvellement dans chaque cas.

3.2.13 Les questions opérationnelles particulières liées à l'automatisation seront examinées de façon assez détaillée dans la section 3.3. Lorsque l'on considère les avantages et les inconvénients du caractère évolutionnaire de l'automatisation, par rapport à ce que pourrait être son introduction révolutionnaire, on peut soutenir que les modifications de la tâche de pilotage d'un avion ont eu un caractère évolutif tout au long de l'histoire de l'aviation commerciale. Il serait dès lors possible de traiter des problèmes découlant de l'automatisation par les moyens traditionnels d'instruction et de formation, adaptés pour répondre à ce besoin particulier. (Cette question sera examinée assez longuement en 3.4.) Du côté négatif, un des postulats de base d'une approche axée sur la technologie est que l'automatisation va réduire ou éliminer certaines exigences en matière d'habiletés nécessaires. Or, il n'en est pas toujours ainsi: l'expérience montre que ce qui se produit, du fait de l'évolution du rôle de l'être humain, c'est que ces habiletés sont modifiées, plutôt que réduites. Les exigences sont souvent plus grandes. On voit apparaître, par exemple, plus de tâches de diagnostic et de détection des erreurs, et il faut davantage procéder à des choix entre différentes options. Une autre possibilité encore est que les compétences qu'exige une automatisation généralisée soient simplement des compétences supplémentaires.

3.2.14 On a parfois tendance à comparer l'être humain et la machine en regardant les fonctions pour lesquelles l'homme est supérieur à la machine et vice versa. Ceux qui proposent ce genre de comparaison soutiennent que pour

planifier, concevoir et utiliser les systèmes complexes, il faut appliquer le même ensemble de paramètres à la description des fonctions humaines et des fonctions mécaniques. Cela implique de décrire les fonctions humaines en termes mathématiques, comparables à ceux que l'on emploie pour décrire les fonctions mécaniques. Ce qu'il y a de fallacieux dans cette idée, c'est que dans n'importe quel cas où les fonctions humaines peuvent être réduites à une formule mathématique, il est possible de construire une machine qui sera capable de les accomplir mieux que l'être humain.

3.2.15 Le présent chapitre ne soutient pas de comparaisons; il appuie l'idée que l'être humain et les machines sont non pas *comparables* mais *complémentaires*. Au lieu de comparer les aptitudes des humains et celles des machines à accomplir une certaine tâche, il faut se demander comment l'humain et la machine peuvent accomplir cette tâche en étant complémentaires l'un pour l'autre. Les automatismes devraient servir de *complément* à la fonction humaine de gestion et de commande dans le transport aérien civil, non la *supplanter*.

3.3 QUESTIONS ET PRÉOCCUPATIONS RELATIVES À L'AUTOMATISATION

3.3.1 Les systèmes d'information sur les manquements à la sécurité et les comptes rendus d'accidents fournissent suffisamment d'éléments pour illustrer les effets d'une approche de l'automatisation axée sur la technologie. En 1985, le Comité G-10 (*Human Behavioural Technology Committee*) de la Society of Automotive Engineers (SAE) a chargé un sous-comité d'examiner les questions d'automatisation du poste de pilotage. Le G-10 est constitué de pilotes, d'ingénieurs et de spécialistes des facteurs humains, représentant des compagnies aériennes, la Federal Aviation Administration (FAA), la National Aeronautics and Space Administration (NASA), la United States Air Force (USAF), le Department of Transportation (DOT), le National Transportation Safety Board (NTSB) et des constructeurs aéronautiques.

3.3.2 Le sous-comité du G-10 sur l'automatisation s'est réuni plusieurs fois et a mis en évidence plus de soixante préoccupations relatives à l'automatisation, qu'il a groupées en neuf catégories, articulées autour des thèmes suivants:

- conscience de la situation
- relâchement de la vigilance en présence des automatismes
- intimidation par les automatismes
- maintien de l'autorité du commandant de bord sur la conduite du vol
- conception de l'interface équipage
- sélection des pilotes
- formation et procédures
- rôle du pilote dans un avion automatisé
- autres questions

Automatisation du cockpit du MD-11	
<i>SYSTÈMES D'UN AVION TYPIQUE</i>	<i>SYSTÈMES DU MD-11</i>
<ul style="list-style-type: none"> ● Pilote automatique ● Directeur de vol ● Automanette 	<ul style="list-style-type: none"> ● Système de pilotage en mode automatique
<ul style="list-style-type: none"> ● Compas (asservi) ● Auto nav - latérale ● Auto nav - verticale ● PMS (vitesse auto) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Système de gestion de vol
<ul style="list-style-type: none"> ● Indicateur directeur d'assiette ● Indicateur situation horizontale ● Instruments moteurs ● Alarmes de bord 	<ul style="list-style-type: none"> ● Système d'instruments de vol électroniques
<ul style="list-style-type: none"> ● Circuit carburant ● Circuit hydraulique ● Circuit conditionnement d'air ● Circuit électrique 	<ul style="list-style-type: none"> ● Systèmes de commande des systèmes de bord

Figure 3-3

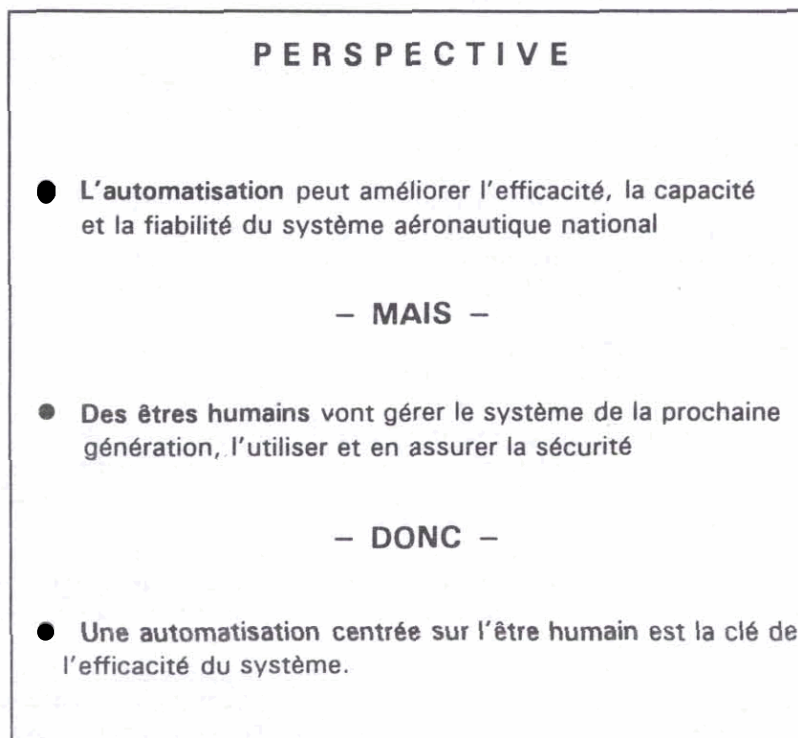


Figure 3-4

3.3.3 Cette liste de base est développée dans les paragraphes qui suivent, l'accent étant mis surtout sur les questions qui concernent le personnel d'exploitation. Il sera fait exception pour la catégorie «formation et procédures», qui sera traitée en détail dans la section 3.4.

- **La conscience de la situation** se perd si le pilote en arrive à ne plus percevoir ou à mal percevoir la situation de l'appareil et sa relation au monde extérieur. Peu après la mise en ligne des premiers avions de transport à réaction, un Boeing B-707 qui survolait Terre-Neuve à 35 000 pieds amorça une spirale descendante à la suite d'un désengagement du pilote automatique. L'équipage ne s'en rendit compte qu'après un début de perte de contrôle et il ne parvint à reprendre le contrôle qu'à 6 000 pieds au-dessus de l'Atlantique. Une quinzaine d'années plus tard, l'équipage d'un Lockheed L-1011 cherchait à intercepter un signal avertisseur de train lorsque survint un désengagement du pilote automatique — sans doute parce qu'un membre d'équipage avait heurté le levier de commande; l'avion descendit lentement depuis l'altitude de 2 000 pieds pour s'écraser dans une zone marécageuse, l'équipage ayant compris trop tard ce qui s'était produit.
- **La conscience des systèmes** se perd si le pilote ne connaît pas bien les possibilités et les limites des automatismes ou se fait une fausse idée de la façon dont ils fonctionnent dans certaines circonstances. En 1985, un Boeing B-747 qui survolait le Pacifique à 41 000 pieds subit une perte partielle de puissance dans son réacteur n° 4, sans réaction de l'équipage; lorsque le pilote automatique n'eut plus l'autorité nécessaire pour corriger le mouvement de lacet, l'appareil bascula d'abord sur la droite, en se renversant presque, puis piqua du nez en plongeant quasiment à la verticale. C'est à 9 500 pieds que l'équipage en reprit le contrôle. Il avait cru tout d'abord que c'était à cause d'un dysfonctionnement que les instruments indiquaient une assiette anormale. Il est à noter qu'avant la perte de contrôle l'avion était resté environ deux minutes et demie à une altitude qu'il ne pouvait maintenir sur trois moteurs. Le compte rendu reproduit ci-après, tiré de la banque de données ASRS (*Aviation Safety Reporting System*), illustre également ce genre de problème:

«Lors de la course au décollage à Newark, automanettes armées et réglage sur puissance de décollage, le Contrôle départ nous a dit de nous mettre en palier à 4 000 pieds — ce que j'ai fait. Je pensais que les automanettes allaient réduire la puissance lorsque l'appareil serait en palier, mais elles ne l'ont pas fait. Je les ai repoussées manuellement, mais elles revenaient à la puissance de montée. Pendant que je me débattais avec les manettes, l'ATC m'a dit de virer cap 230 degrés et d'intercepter l'axe radial 335 du VOR Colts Neck — ce que j'ai fait. J'ai alors

débrayé les automanettes au moyen d'un bouton-poussoir situé sur le côté et un voyant rouge s'est mis à clignoter sur le tableau de bord. Il faut appuyer sur ce voyant pour l'éteindre. En cherchant à le faire, j'ai, par inadvertance et sans m'en rendre compte, appuyé sur le voyant voisin. C'était le commutateur du système de navigation Omega et l'aiguille du VOR est aussitôt passée en position centrale. En la voyant dans cette position, j'ai viré à gauche pour intercepter ce que je croyais être l'axe radial 335 de Colts Neck. Peu après, le Contrôle départ a contesté cette décision et m'a averti que je me trouvais dans l'espace aérien de La Guardia ...»

- **Une conception insatisfaisante de l'interface** est observée dans un système qui s'adapte à un changement de la situation opérationnelle (changement de la piste d'atterrissage assignée, par exemple) avec un dialogue homme-machine si compliqué et demandant tellement de temps que l'efficacité de ce système se trouve limitée au moment même où il pourrait être le plus utile. Une piètre conception de l'interface peut se combiner au délai de transfert nécessaire à l'opérateur humain pour prendre la relève d'un automatisme, et cela peut devenir un facteur important, la qualité d'exécution ou de pratique d'une manoeuvre étant abaissée faute d'échauffement. Si cela se conjugue à une perte de conscience de la situation, une situation dangereuse risque d'en résulter. Pour fonctionner avec le maximum d'efficacité, l'être humain a normalement besoin d'établir un cadre mental et un état neuromusculaire appropriés. Du fait de l'inactivité relative qu'entraîne l'automatisation, il n'est plus aussi prêt à agir d'emblée avec compétence, ni aussi capable de le faire. Voyons encore un compte rendu tiré de la banque de données ASRS:

«L'automanette (qui était armée) n'a pas réagi à une baisse de vitesse alors qu'elle était réglée sur le mode IAS/Mach. L'avion s'est mis en palier en mode ALT HOLD, mais les manettes n'avançaient pas et une chute de vitesse s'est produite pendant que je tentais d'engager le mode VERT SPEED (sans y parvenir). J'ai débrayé le pilote automatique et, à peu près au même moment, l'avertisseur de décrochage s'est déclenché. J'ai augmenté manuellement la puissance et ramené l'avion manuellement sur l'alignement de descente ...»

On notera qu'il n'était pas nécessaire de débrayer le pilote automatique. Il aurait suffi d'accroître manuellement la poussée du moteur.

- **Le retour à la conduite manuelle** s'explique par la crainte, bien compréhensible, qu'éprouvent certains pilotes d'avions automatisés de voir s'éroder leurs compétences de pilotage fondamentales. Bien des pilotes choisissent la conduite manuelle afin de maintenir ces habiletés. D'autres, par contre, peuvent

hésiter à prendre la relève de systèmes automatiques s'ils craignent d'avoir perdu les habiletés nécessaires. L'adéquation ou l'inadéquation de l'entraînement sur les nouveaux avions, des procédures et de la philosophie de la compagnie jouent un rôle déterminant en la matière. On en reparlera en 3.4.

- **La coordination de l'équipage peut être modifiée par l'automatisation**, beaucoup des fonctions que l'équipage exécutait précédemment (comportement humain observable) étant transférées à des calculateurs (comportement mécanique, caché et difficilement observable). Il est donc nécessaire d'améliorer la communication au sein de l'équipage. On reviendra sur ce point en 3.4, à propos de la formation CRM et de l'entraînement LOFT. Le compte rendu que voici, tiré de la banque de données ASRS, montre à quel moment la programmation d'un système a pris le pas sur la connaissance élémentaire de la navigation et de la position:

«Alors que nous utilisons le système de gestion de vol (FMS) pour navigation directe vers DQO, nous avons reçu l'autorisation de virer 15 degrés gauche pour nous mettre sur le circuit d'attente à l'ouest de PAILS sur la J42 ... Le temps de repérer PAILS sur la carte et d'insérer le circuit d'attente dans le calculateur de gestion de vol, et nous l'avions déjà dépassé ...»

- **Les attitudes à l'égard de l'automatisation** qu'expriment certains pilotes révèlent de l'insatisfaction devant le fonctionnement des systèmes automatiques dans un environnement non convivial. Des améliorations apportées à l'interface homme-machine atténueraient sans doute ce sentiment, résumé on ne peut mieux dans la question que posent certains pilotes: «Qui est aux commandes, l'avion ou moi?» L'automatisation n'est pas acceptée sans critique par les équipages, et il ne faudrait pas qu'elle le soit. Si certains de ses aspects sont acceptés tandis que d'autres sont rejetés, la raison en est parfois que les pilotes n'ont pas utilisé les équipements convenablement dans l'environnement réel. Tel fut le cas, en particulier, de certaines des premières versions des automanettes. Certains pilotes ont dans l'ensemble accepté l'automatisation, tandis que d'autres l'ont rejetée. En général, les pilotes déclarent aimer piloter les avions modernes mais expriment quand même des préoccupations en ce qui a trait à la sécurité, à cause des possibilités d'erreurs qu'introduisent les automatismes. L'exemple provenant de la banque de données ASRS, cité pour illustrer une «perte de la conscience des systèmes», s'applique ici également.
- **Des problèmes de motivation et de satisfaction liée au travail** pourraient être, par exemple, que le pilote perde le sentiment de sa propre importance, qu'il ait l'impression d'une baisse de son niveau de compétence professionnelle ou qu'il ne reçoive aucun

retour d'information sur sa performance. On a beaucoup parlé de mutation du rôle du pilote, mais bien des gens sont d'avis que la tâche fondamentale consistant à transporter en toute sécurité de A en B des passagers et du fret reste inchangée et que l'automatisation fournit tout simplement des outils supplémentaires pour l'accomplir. Il devrait être bien clair que cette question ne peut être résolue seulement au moyen d'une série de consignes ou de bulletins d'exploitation.

- **Trop se fier aux automatismes** peut être un résultat de la facilité de s'accoutumer à l'utilité et à la qualité des nouveaux systèmes automatisés — si les choses tournent mal, l'équipage craindra peut-être de les débrancher (certains soutiennent qu'il y a ici aussi un élément de perte de vigilance dû au sentiment de sécurité). Il existe par ailleurs une tendance à employer les automatismes dans des circonstances en évolution rapide, même si l'on n'a pas le temps d'insérer les données nouvelles dans l'ordinateur. On peut citer le cas d'un DC-10 qui, en 1984, dépassa l'extrémité de piste à New York JFK et s'immobilisa dans la boue. L'avion avait fait un atterrissage trop long et trop rapide (point d'atterrissage à 4 700 pieds, sur piste de 8 000 pieds) à la suite d'une approche automatique pendant laquelle l'équipage avait laissé l'automanette maintenir une vitesse supérieure de 40 noeuds à la vitesse d'approche de référence. Pourtant, des indications valables de vitesse se trouvaient à quelques centimètres seulement de l'indicateur que l'équipage surveillait et qui ne fournissait que des indications limitées (lent-rapide). Un excès de confiance fut aussi reconnu comme un des facteurs de l'incident déjà mentionné, survenu à haute altitude à un B-747. Un autre exemple est un incident survenu en 1979 à un DC-10 qui décrocha pendant la montée à son altitude de croisière. Dans ce dernier cas, le pilote automatique avait été programmé pour le mode vitesse verticale de montée au lieu du mode vitesse. Alors que la vitesse ascensionnelle était maintenue constante, la vitesse propre diminua à tel point que la poussée du moteur devint insuffisante pour maintenir la vitesse de vol et l'avion fut pris d'un tremblement précurseur d'un décrochement. Cela fut interprété à tort comme une vibration dans le réacteur n° 3, qui fut alors coupé. À ce moment, l'appareil décrocha, roula sur la droite et perdit 11 000 pieds avant que l'équipage n'en reprenne le contrôle. On peut citer encore ce compte rendu d'un pilote, tiré de l'étude de Wiener de 1989:

«Commandant de bord aux commandes tard dans la nuit à FL 410 par dessus phénomène météorologique violent. À cause d'un problème d'EPR sur réacteur droit, l'automanette repoussait lentement la manette. Le réacteur gauche est passé très lentement en régime maximal continu, mais une chute de vitesse s'est produite. J'ai constaté que la vitesse était inférieure de 20-25 noeuds à celle correspondant au

curseur et j'en ai avisé le commandant. Sommes arrivés très près de la vitesse de déclenchement de l'avertisseur de décrochage/vitesse de décrochage, au-dessus d'un orage. Même en croisière, il est nécessaire de maintenir le balayage visuel.»

- **Des erreurs de décision systématiques** peuvent se produire. Il arrive que les opérateurs humains s'écartent des pratiques de décision optimales, surtout sous la pression de contraintes temporelles ou autres. L'existence de partis pris chez l'être humain peut limiter son aptitude à prendre les meilleures décisions. L'emploi d'aides automatiques à la décision lorsque des décisions sont à prendre est un moyen de réduire ou de supprimer la tendance aux décisions biaisées. Dans un système de cette sorte, il y a deux stratégies que l'humain peut adopter: accepter ou rejeter la recommandation de la machine. D'après les éléments recueillis jusqu'à présent, il semble que ces systèmes de décision machine-opérateur humain nuisent souvent à la performance de décision au lieu de l'améliorer. Des erreurs systématiques peuvent provenir aussi de procédures mal conçues. Le cas du B-737 qui s'écrasa à son décollage de l'aéroport de Washington National à cause de la formation de givre sur les ailes peut être cité pour illustrer certaines limites classiques de la prise de décision humaine.
- **L'ennui et le relâchement de la vigilance en présence des automatismes** peuvent apparaître parce que certaines parties du vol sont si complètement automatisées que les pilotes deviennent inattentifs et se laissent aller à la passivité. Dans le cas particulier de la baisse de vigilance, les opérateurs humains peuvent être tellement certains que les systèmes automatiques fonctionneront bien qu'ils deviennent hypovigilants et/ou trop tolérants à des erreurs dans la réalisation de la performance voulue. Par moments, ils risquent d'être moins en éveil (voir Figures 3-5 et 3-6). Il est souhaitable que le pilote intervienne et comprenne ce qui se passe à toutes les phases du vol, tout en maintenant l'efficacité qu'assure l'automatisation. Mieux vaut maintenir les pilotes dans la boucle de contrôle, ne fût-ce qu'à intervalles rapprochés, que de leur demander de rester de longues périodes à simplement surveiller le fonctionnement du système. Voyons ce compte rendu d'un pilote, tiré de l'étude de 1989 de Wiener:

«Se fier à la fonction VNAV (navigation verticale) pour ramener automatiquement la vitesse sur le curseur à 10 000 pieds, c'est devenir passif. En utilisant pour descendre le mode FLCH (changement de niveau de vol), je me suis retrouvé bien au-dessous de 10 000 pieds avant de réaliser que ma vitesse était toujours de 300 noeuds.»

- **L'intimidation par les automatismes** provient notamment de la multiplication des éléments des

systèmes. Il en résulte un problème de fiabilité, car plus les éléments sont nombreux et plus les probabilités de défaillance de l'un d'eux augmentent. Or, certains pilotes hésitent toujours à intervenir dans le fonctionnement de processus automatisés, même s'il est manifestement défectueux, ce qui s'explique en partie par des lacunes de la formation et en partie par des pressions de la direction. C'est parce que le commandant de bord avait décidé d'accepter et de maintenir pendant l'approche une vitesse excessive provenant du système de commande par automanette qu'un DC-10 atterrit environ 900 mètres au-delà du seuil déplacé de la piste de 3 060 mètres envahie d'eau de Boston Logan. Dépassant l'extrémité départ de la piste, l'appareil glissa dans une faible profondeur d'eau. Voyons encore ce compte rendu d'un pilote, tiré de l'étude de Wiener de 1989:

*«Le copilote allait atterrir avec une vitesse de franchissement du seuil moins 10 noeuds décroissant, en cabré 12 degrés croissant, parce qu'il était en entraînement d'atterrissage automatique. Non seulement nous aurions atterri sur la queue, mais nous nous serions sans doute écrasés. Quand je lui ai dit d'intervenir, il a répondu que c'était un atterrissage automatique. J'ai pris les commandes et j'ai réussi à me poser, d'environ cinq pieds. Un régulateur électronique était défectueux du côté droit, ce que nous avons constaté au poste de stationnement. Mais le facteur principal était l'attitude de l'officier pilote: **il pensait que tout serait fait par ordinateur, sans qu'il doive respecter les sept degrés de cabré et la vitesse seuil [recommandés par la compagnie]** [souligné par nous]. Le système automatique c'est extra, mais nous les pilotes, nous sommes la glace à briser devant l'extincteur, et si tout le reste tombe en panne, c'est à nous d'éteindre le feu ...»*

- **De la méfiance** peut provenir de ce que l'évaluation humaine d'une situation n'est pas la même que celle d'un système automatique. Si le système ne fonctionne pas comme l'être humain, ou pas comme l'équipage s'y attend, ou si l'opérateur humain n'a pas suffisamment d'entraînement, cela conduit souvent soit à une action inopportune, soit à de l'inquiétude chez l'opérateur. La situation sera aggravée si des erreurs de conception du système provoquent des avertissements intempestifs, comme cela fut le cas de la première génération des systèmes avertisseurs de proximité du sol (GPWS).³
- **Les procédures de sélection des pilotes** devront être réexaminées en ce qui a trait à la valeur relative de l'expérience en vol et des heures de vol. Certains soutiennent que l'automatisation conduira à ce qu'on se soucie moins de la sélection des membres d'équipage. En réalité, il faudra porter plus d'attention aux procédures de sélection à cause de l'automatisation dans les cockpits modernes. La répartition des fonctions entre l'humain et la machine

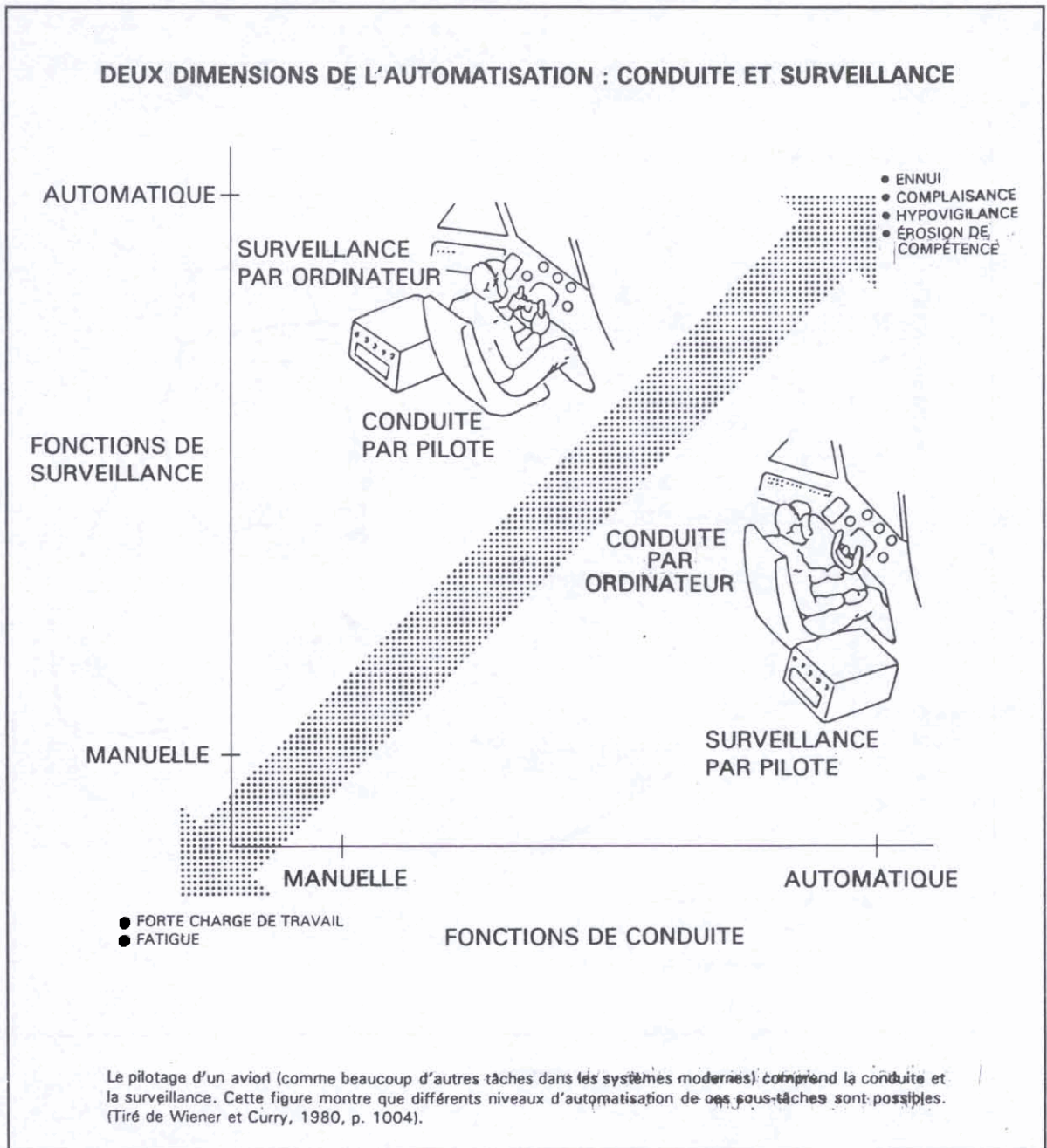


Figure 3-5

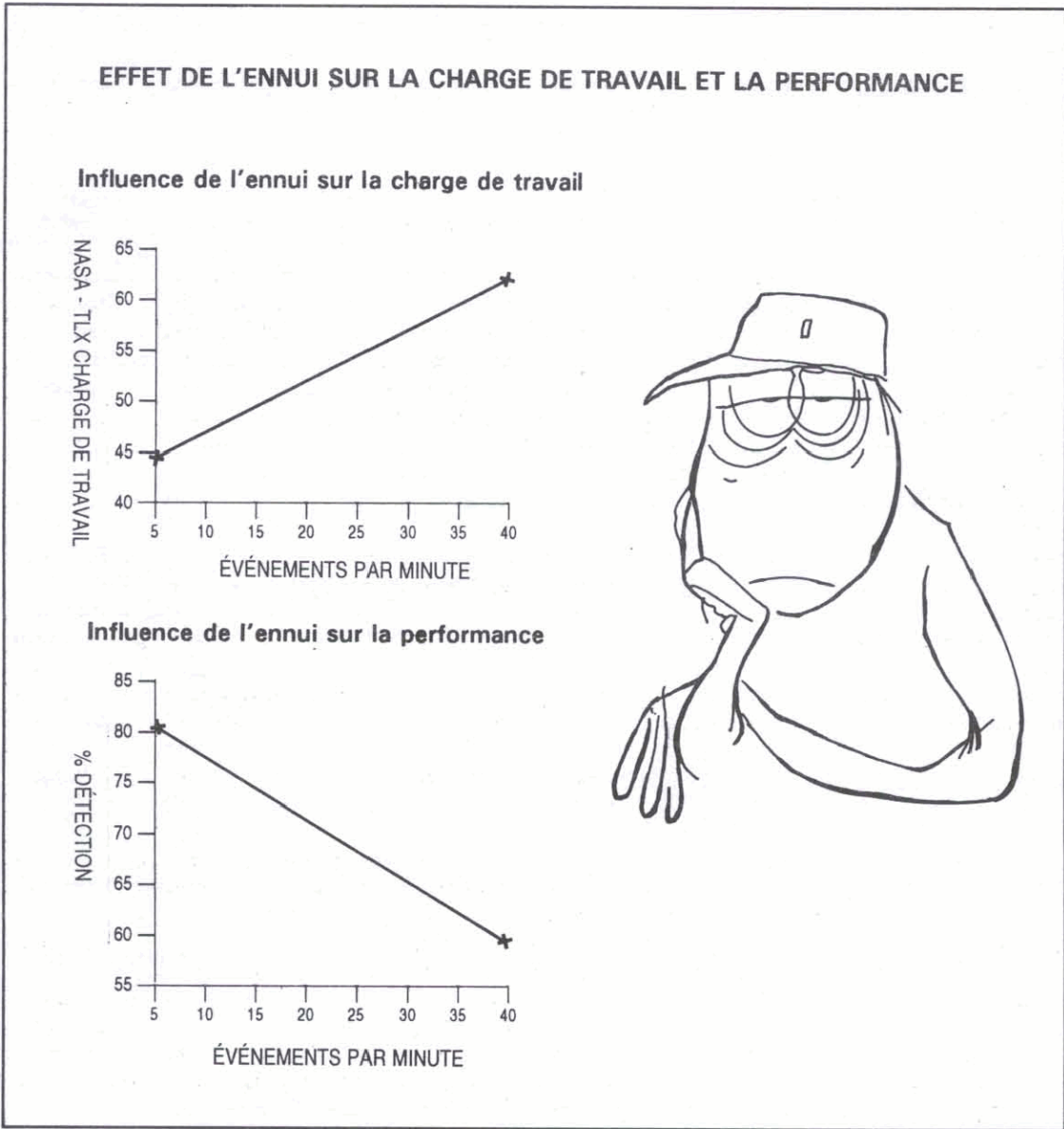


Figure 3-6

devra être faite sur la base de la connaissance des implications profondes de cette répartition. Un important aspect de ces implications est l'ensemble de conditions requises que le pilote doit amener au travail pour remplir son rôle tel que défini. Cela implique la nécessité de réévaluer les critères de sélection existants, ou le développement de critères plus avancés et spécifiques, afin de bien filtrer et recruter les candidats les plus aptes pour les postes de pilotage à technologie avancée. Des méthodes de sélection soigneuses et systématiques, employant des procédures de sélection validées, se traduiront par une réduction de l'entraînement en vol et par une sécurité et une efficacité opérationnelles accrues.

- **La confusion entre modes et l'emploi de modes inappropriés** sont des résultats de la multiplicité des possibilités qu'offre l'automatisation, ainsi que de lacunes de la formation. Avec la nouvelle technologie informatisée, l'équipage pense parfois que l'avion évolue dans un certain mode de fonctionnement alors que ce n'est pas le cas. Il peut y avoir là un problème de formation ou de procédures. Il faut toujours que le mode utilisé et les changements de mode soient annoncés clairement à l'équipage. Il ne convient pas que les modes offerts soient trop nombreux, ni que les différences entre modes soient trop subtiles. C'est un point qu'illustre ce compte rendu tiré de la banque de données ASRS:

«L'avion montait à FL 410 sous le contrôle du pilote automatique et des manettes, qui étaient appliquées. À FL 350 approximativement, on a constaté que la vitesse était inférieure à 180 noeuds et diminuait encore. On a désengagé le pilote automatique et réduit l'inclinaison longitudinale. L'avertisseur de décrochage s'est déclenché et on a senti un léger tremblement. La vitesse est revenue à la normale lorsqu'on a appliqué la pleine puissance et réduit l'inclinaison longitudinale. La suite du vol s'est déroulée sans incident.»

Pendant la phase de montée, je pensais que le pilote automatique était réglé sur le mode Flight Level Change (puissance de montée maximale et maintien de la vitesse/nombre de Mach pendant la montée). En y réfléchissant, je pense maintenant que le mode sélectionné pour le pilote automatique était le mode Vertical Speed et non Flight Level Change. Avec ce mode, en ayant choisi de monter de 2 500/3 000 pieds par minute, la vitesse aurait été à peu près normale vers FL 300; à ce point, elle aurait diminué, tandis que le pilote automatique aurait maintenu la vitesse verticale.»

- **L'interface avec le système ATC existant** est facilement réalisée tant qu'il n'y a pas de modifications du plan de vol; par contre, lorsque des changements sont nécessaires, comme ils le sont dans chaque vol, l'insertion des données risque de prendre plus de

temps que ne le permet l'environnement ATC, surtout à faible altitude. Il faut que les contrôleurs comprennent bien les possibilités des avions de la nouvelle génération (et il faut aussi que les pilotes comprennent les dilemmes des contrôleurs). Avec les avions modernes, une modification d'itinéraire ne peut pas être immédiate, car l'équipage doit d'abord insérer les données nouvelles dans le calculateur de gestion de vol, au lieu d'exécuter directement la modification. Par ailleurs, il existe des différences entre avions de technologie avancée (A-320, MD-11, B-747-400, etc.). Il convient que la conception des systèmes permette de modifier l'itinéraire rapidement et facilement ou permette une intervention directe du pilote pour les changements de cap, d'altitude et de vitesse. L'exemple qui suit, présenté par Wiener (Cockpit Automation Issues in CRM and LOFT Training, 1989) illustre ce point:

«Après le décollage de SJC et l'exécution de la première partie du départ LOUPE FIVE, nous avons reçu l'autorisation que voici: après Wilson Creek, directement 37 degrés 45 minutes nord, 112 degrés 05 minutes ouest, direct Farmington selon plan de vol déposé. Lorsque l'équipage a tenté d'introduire ces données dans le système, il a constaté que l'autorisation ne correspondait pas au format requis. Il a finalement trouvé le bon format (sur une autre page du CDU) et l'a utilisé comme modèle. On ne sait pas pourquoi l'ATC avait jugé bon d'indiquer un point de cheminement en latitude et longitude, au lieu d'un gisement et de la distance à un VOR proche (ce qu'il est facile d'introduire dans le système).»

- **La vulnérabilité à l'erreur grossière** est liée au fait que l'automatisation élimine les erreurs mineures mais crée des possibilités d'erreurs graves. Un exemple simple illustre ce propos: celui du réveil-matin numérique. Celui-ci peut être réglé avec une grande précision mais, contrairement au réveil analogique, il a un cycle de 24 heures, de sorte qu'il est possible de le régler par erreur sur 7 heures du soir au lieu de 7 heures du matin. L'introduction d'un système numérique engendre une erreur précise: l'erreur précise de 12 heures. Les avions de transport étant de plus en plus automatisés, la plupart des erreurs grossières sont liées à une erreur d'insertion des données numériques ou à un défaut de surveillance du système de pilotage et de gestion de vol (FMCS).
- **La gestion de la charge de travail** pose des problèmes, car cette charge peut être très lourde, surtout pour le pilote qui assure la surveillance, en particulier à faible altitude en région terminale. On peut passer rapidement d'une charge insuffisante à une charge excessive, car le fonctionnement des systèmes ne se dégrade pas forcément lentement. L'essor de l'automatisation s'est fondé en partie sur l'idée que la charge de travail serait réduite; or, à ce

qu'il semble, cet objectif n'est pas encore atteint. En fait, d'après les résultats de certaines études, les pilotes ont l'impression que l'automatisation ne réduit pas la charge, puisqu'elle nécessite davantage de surveillance. Comme l'a dit un pilote «... bien des fois, nous débrayons le pilote automatique et revenons aux commandes manuelles si la charge devient lourde».

- **Le temps passé tête basse** est un élément à étudier. Il s'agit des activités qui orientent l'attention de l'équipage à l'intérieur du poste de pilotage — par exemple scruter les instruments, programmer l'ordinateur, consulter les cartes, etc. Ces activités empêchent l'équipage de regarder l'environnement extérieur. On se préoccupe du temps que les pilotes y consacrent, surtout lorsque l'avion évolue à moins de 10 000 pieds, en région terminale. Les changements d'attribution de piste, les écarts par rapport aux arrivées standard et aux départs standard aux instruments, les changements de vitesse et les restrictions de franchissement font passer beaucoup de temps tête basse (et alourdissent la charge de travail). Tout cela fait normalement partie de l'environnement d'aujourd'hui, avec des incidences qui concernent la formation, les procédures et l'automatisation.
- **La supervision appropriée de l'entraînement** pose, parmi bien d'autres, des questions concernant le choix d'utiliser ou non les automatismes, comme le stagiaire le juge opportun pendant l'entraînement ou comme l'examineur le spécifie pendant la vérification. Il a été observé que la réglementation existante ne répond pas entièrement aux besoins techniques et opérationnels des opérations modernes et qu'une révision est nécessaire.

3.3.4 Une des questions les plus controversées concernant le poste de pilotage automatisé a trait au rôle du pilote. Certains soutiennent qu'il s'est produit une mutation de la tâche essentielle du pilote, que celui-ci n'est plus avant tout un manipulateur de commandes de vol mais un gestionnaire de systèmes; d'autres pensent que la tâche essentielle qui consiste à transporter en toute sécurité des passagers et du fret reste inchangée et que tous les changements ont été purement évolutionnaires. L'OACI estime cette dernière façon de voir plus proche de la vérité. De nos jours, avec les automatismes, les pilotes disposent simplement d'outils supplémentaires. Ces nouveaux outils représentent manifestement de nouveaux défis.

3.4 FORMATION EN RAPPORT AVEC L'AUTOMATISATION

3.4.1 La formation des pilotes est très importante mais elle est aussi fort coûteuse. Nul n'en conteste l'importance, mais on ne s'entend pas toujours sur le type et l'ampleur de la formation nécessaire pour piloter d'une façon sûre et efficace des avions nouveaux et différents.

3.4.2 La controverse en ce qui concerne les incidences de l'automatisation sur la formation est une question entièrement distincte. Tandis que certains prétendent que l'automatisation exige des habiletés supplémentaires, d'autres soutiennent qu'elle réduit les coûts de formation et exige un niveau d'habiletés de pilotage moins élevé que pour les avions à cockpit classique. D'autres encore affirment qu'une des idées les plus fausses au sujet des automatismes est de penser qu'ils réduisent les besoins de formation. Malgré ces divergences de vues, pratiquement personne ne met en doute l'importance de la formation. Les interfaces entre les avions de transport et leurs pilotes sont également d'une grande importance, de même que les interfaces entre le pilote et le constructeur, les procédures, les Procédures d'utilisation normalisées et la philosophie d'exploitation de chaque compagnie. La présente section reprend quelques questions qui ont été posées à propos de la formation à donner aux navigants techniques des avions modernes.

3.4.3 Un des points controversés, déjà évoqué, est l'évolution du rôle de l'équipage de conduite dans les avions à poste de pilotage automatisé. Cela pose au moins deux questions fondamentales:

- le pilote est-il un opérateur aux commandes, un gestionnaire de systèmes ou les deux à la fois?
- s'il existe une différence, réside-t-elle dans le rôle du pilote ou dans les éléments de ce rôle?

L'analyse semble indiquer que le rôle primordial du pilote de ligne n'a pas du tout changé: le **but** étant (comme il a toujours été) d'effectuer le vol prévu de façon sûre et efficace, avec un maximum de confort pour le passager, le **rôle** est d'atteindre ce but, c'est-à-dire d'effectuer le vol efficacement et en toute sécurité, du point A au point B. Les **fonctions** comprennent toujours la surveillance, le **planning** et la prise de décisions relatives aux opérations, et les **tâches** sont celles qui sont traditionnellement accomplies (communiquer, naviguer, exploiter). La question est de déterminer la meilleure façon d'assurer la formation nécessaire pour le pilotage des avions de technologie avancée.

3.4.4 Il y a consensus, semble-t-il, pour considérer d'une façon générale que le rôle des automatismes devrait être avant tout de maintenir la stabilité fondamentale et le contrôle de l'aéronef. Les fonctions de haut niveau telles que la préparation du vol/la planification avant le vol, la gestion de l'état opérationnel des systèmes et la prise de décision devraient être accomplies principalement par les humains, avec l'aide des automatismes. La formation devrait tenir compte de l'importance grandissante qui est attachée aux fonctions de décision du pilote, à la connaissance des systèmes, à la surveillance ainsi qu'à la coordination de l'équipage. Un point est clair, cependant: l'automatisation ne rend pas moins nécessaire la possession des compétences et des connaissances fondamentales de l'aviateur, qui ont toujours été exigées des pilotes de ligne. Il convient de souligner l'importance de ces exigences essentielles dès les premières phases de la formation; l'instruction générale portant sur l'aéronef devrait toujours

précéder l’instruction détaillée sur les automatismes. La formation devrait répondre aux besoins divers d’une population de pilotes présentant de grandes différences dans des domaines tels que l’expérience totale en vol, l’expérience au sein de la compagnie, l’époque du dernier entraînement de transition, les connaissances en informatique, etc.

3.4.5 Une des leçons que l’on a apprises à propos des technologies avancées est que c’est au moment de la conception d’un nouveau type d’avion qu’il convient de procéder à l’évaluation de la formation nécessaire. La détermination générale de l’instruction et de l’entraînement nécessaires pour mettre les pilotes en mesure d’utiliser les nouveaux moyens de façon sûre et efficace devrait faire partie intégrante du processus de conception. Ces besoins ne doivent pas nécessairement être précisés de façon très détaillée et il ne convient sans doute pas qu’ils le soient. Il faudrait indiquer clairement ce que le concepteur du système estime que le pilote devra connaître pour l’utiliser d’une façon sûre et efficace. La prochaine occasion de le faire se présentera généralement lors de la mise en service du nouveau type. On aura alors l’occasion d’apporter des changements de nature opérationnelle. Cependant, si des pratiques peu efficaces existent lors de la mise en service, elles auront tendance à persister. C’est le moment de s’efforcer de bien comprendre la conception du fabricant et le fonctionnement qu’il a prévu, car cela aura beaucoup d’influence sur les questions de formation et d’exploitation technique. Ceux qui ont la responsabilité d’introduire de nouveaux types ou de concevoir des formations devront posséder plus d’information de base que précédemment sur la philosophie fondamentale de la conception. Cela est important, car la plupart des programmes de formation existants pour les avions de technologie avancée ont été conçus initialement pour les avions classiques.

3.4.6 Il faudra veiller avec soin à ce qu’un **programme suffisant d’entraînement de transition** soit prévu. Beaucoup de systèmes sont si complexes qu’ils exigent un niveau de compréhension initiale et d’habiletés opérationnelles plus élevé que pour les avions antérieurs. La question fondamentale est celle-ci: est-ce que les pilotes, après avoir achevé leur entraînement de transition, posséderont des habiletés, des connaissances et une compréhension suffisantes pour piloter ces avions de façon sûre et efficace? Certains pensent que le niveau traditionnellement élevé d’habiletés manuelles sera moins nécessaire mais que les capacités intellectuelles ou mentales seront davantage sollicitées, vu la grande complexité des systèmes et de l’environnement dans lequel ils sont utilisés. On constate aussi que les opérations courantes utilisant les modes automatiques n’offrent peut-être pas des possibilités d’entraînement suffisantes. Des observations faites dans le poste de pilotage ont révélé que les pilotes n’utilisaient qu’une partie des moyens mis à leur disposition, faute de bien connaître la façon d’utiliser les autres. Cela en dit long sur les insuffisances de la formation et sur la complexité des systèmes et des modes.

3.4.7 **Une formation approfondie** devrait assurer que les pilotes comprennent bien les interdépendances entre systèmes. Même pour des pilotes très expérimentés, cette

compréhension ne peut plus se contenter d’être intuitive. La formation doit apporter des connaissances plus spécifiques que celles qui étaient nécessaires à une époque où les interdépendances entre systèmes étaient moins prononcées. Ce point est illustré par les exemples suivants, que donne Jacques Speyer, d’Airbus Industrie:

«La liaison entre le braquage de roue avant de l’A320 et le système de données à référence inertielle (ADIRS) aurait été impossible à réaliser dans les générations d’avions antérieures. Pourtant, l’avantage conceptuel — sensibilité du braquage qui est fonction de la vitesse de l’avion — est tout à fait évident. Mais, comme c’est le cas de la plupart des concepts d’automatisation, les avantages ont souvent pour contrepartie un besoin accru de compréhension approfondie de l’aspect opérationnel de ces concepts, compréhension qui ne peut être intuitive. Un pilote qui rencontre des difficultés avec le braquage de roue avant devra peut-être étudier à fond son fonctionnement, celui de l’ADIRS et leurs interactions pour comprendre l’anomalie et y remédier. De même, l’avantage acquis sur l’A320 en reliant les deux calculateurs de pressurisation aux deux calculateurs de gestion et de guidage du vol (FMGC) et aux trois calculateurs ADIRS est la possibilité de comparer constamment le profil de vol réel au profil prévu, pour assurer une bonne régulation de la pressurisation à n’importe quelle phase du vol. Cependant, le pilote est alors placé dans une situation où il doit comprendre le fonctionnement du système interactif pour assumer la fonction de responsabilité ultime.»

Le pilote aurait davantage confiance en lui pour prendre les commandes manuelles assez tôt et efficacement si du temps d’entraînement était consacré aux opérations en cas de défaillance d’un ou plusieurs automatismes.

3.4.8 Il faut aussi avoir conscience du grand écart qui peut exister entre une compétence «superficielle», acquise au cours du fonctionnement normal d’un nouveau système, et une compétence «réelle», permettant de résister aux pressions d’une forte charge de travail et d’un stress considérable. Il faut pour cela un surapprentissage des habiletés. C’est élémentaire, mais ce principe n’est pas toujours appliqué dans la pratique. Il est reconnu que des **dispositifs d’entraînement pour tâche partielle** sont utilisables et qu’ils sont utiles pour acquérir l’entraînement pratique intensif qui est nécessaire. Ces dispositifs utilisent une simulation haute fidélité d’un certain système (ou même l’élément d’équipement réel), ce qui permet à l’apprenant de se concentrer sur ce sujet, sans avoir les distractions et la charge supplémentaire auxquelles un simulateur de vol complet le soumettrait. Ces dispositifs moins élaborés peuvent aller de photographies grand format, représentant la planche de bord autour du système qui est simulé, à des moyens perfectionnés de formation assistée par ordinateur (FAO). Les dispositifs d’entraînement pour tâche partielle permettent d’assurer à peu de frais l’acquisition des habiletés qu’exige l’utilisation efficace d’un système. Le principal inconvénient de certains d’entre eux, tels qu’ils sont actuellement conçus, paraît être un manque de réalisme fonctionnel

(par exemple, le simulateur n'admettra qu'une seule séquence de réactions à un certain point d'un exercice, alors que le système réel laisse bien plus de liberté).

3.4.9 *L'utilisation d'ordinateurs personnels* pour combler les besoins de formation et pour une auto-instruction volontaire est à étudier. Malgré certains risques d'utilisation abusive, il y a là des possibilités considérables de répondre aux besoins et aux vœux des pilotes, des gestionnaires et des autorités. La réalisation peut poser des problèmes particuliers, mais l'expérience montre que des connaissances élémentaires en informatique (être à l'aise sur un clavier alphanumérique) facilitent le passage aux postes de pilotage haute technologie.

3.4.10 *La période écoulée depuis le dernier entraînement de transition* est un facteur important lorsqu'il s'agit d'étudier les besoins des pilotes. Alors que les systèmes de guidage du vol et autres systèmes automatisés sont bien plus complexes dans les avions modernes, on constate assez souvent que des pilotes transférés sur ces avions n'ont pas reçu d'instruction dans une école de formation au sol depuis une quinzaine d'années. Cela contribue certainement aux difficultés que rencontrent certains de ces pilotes, pour qui l'entraînement de transition aux nouvelles technologies ne se passe peut-être pas toujours sans heurts et peut comporter des coûts plus élevés que prévu. *Un manque d'expérience opérationnelle significative* (ce qui peut être très différent du nombre total d'heures de vol) est à prévoir pour la période qui suit immédiatement l'entraînement. Une façon de résoudre le problème pourrait être d'exposer les équipages de conduite à des situations de vol très réalistes sur simulateur haute fidélité. C'est ce qu'on appelle dans beaucoup de pays l'entraînement LOFT (entraînement type vol de ligne)⁴. Les équipements sophistiqués, la diversité des situations qu'il est possible de simuler et les méthodes d'entraînement d'une haute technicité qui existent maintenant permettent aux pilotes d'acquérir (outre l'instruction) une expérience qui peut même, dans certains cas, être meilleure que le vol réel.

3.4.11 Les questions spécifiques à aborder lors de l'entraînement de transition sont notamment *le passage des instruments électromécaniques aux systèmes d'instruments de vol électroniques, l'entraînement pour le cas de perte de tous les affichages électroniques* (l'avion étant alors contrôlé au moyen d'instruments de secours qui sont pratiquement les mêmes que ceux des avions de la précédente génération, mais avec une beaucoup plus grande dégradation des données dont dispose l'équipage) et, enfin, *l'utilisation du pilote automatique, du système de gestion de vol et du boîtier de sélection des modes*. Ces systèmes assurent si bien la conduite du vol que le pilote peut se détacher de la situation immédiate de l'avion (position, vitesse, hauteur, etc.). Les procédures et les méthodes de formation de l'équipage devront faire en sorte que cela ne favorise pas un relâchement de la vigilance face aux automatismes et que le pilote garde un niveau satisfaisant de conscience de la situation. L'entraînement doit être concret, être orienté vers le vol de ligne et insister sur de bonnes pratiques.

3.4.12 *Des lignes directrices sur l'emploi des automatismes* devraient indiquer à l'équipage quand il convient

d'utiliser les automatismes et, ce qui est plus important, de *ne pas* les utiliser. Même lorsqu'elles existent (généralement sous la forme d'une politique de la compagnie ou de procédures d'utilisation normalisées), les lignes directrices reflètent généralement les pratiques qui ont la préférence dans un contexte opérationnel particulier. Leur existence ne signifie pas nécessairement qu'elles soient universellement applicables; par ailleurs, il n'entre pas dans le cadre de la présente étude de les fournir. Nous nous bornerons ici à évoquer ce point, tandis que l'Appendice 3 donne un exemple de philosophie de l'automatisation formulée par une compagnie aérienne.

3.4.13 De même que l'on a coutume de programmer des profils de cisaillement du vent dans les entraînements sur simulateur, il pourrait être intéressant de *rejouer* des incidents ou des accidents dans lesquels on considère que les automatismes ont joué un rôle. Grâce à la flexibilité que l'ordinateur donne aux simulateurs modernes, on pourrait le faire en utilisant les données que fournissent les systèmes de compte rendu sur les manquements à la sécurité. Certains estiment nécessaire d'inclure et d'examiner aussi des problèmes et des incidents rencontrés dans les opérations quotidiennes.

3.4.14 Il convient de souligner constamment la nécessité d'assurer la surveillance, pendant la formation comme lors des contrôles d'aptitude professionnelle. Or, ainsi qu'il ressort de la vaste littérature traitant de la vigilance, les humains ne sont pas uniformément de bons surveillants: il arrive souvent qu'ils laissent passer des défaillances des systèmes ou des erreurs de réglage. Ce trait est parfois aggravé par un *environnement peu stimulant*, comme c'est le cas dans certains vols long-courriers. Pour y remédier, on a envisagé un entraînement plus poussé ou différent, mais il semble difficile d'améliorer toujours la situation de cette manière. Il a été envisagé aussi d'insister davantage sur la création de types de stimuli (visualisations, procédures, tâches supplémentaires significatives) qui renforceraient l'aptitude du pilote à la surveillance. Par ailleurs, c'est un fait établi que les pilotes effectuent fort bien certains types de surveillance — par exemple, la surveillance de la performance de pilotage au cours d'une approche, de la balise extérieure jusqu'au toucher des roues. Beaucoup de gens estiment toutefois qu'il faut étudier le rôle que peut jouer la conception des systèmes comme autre moyen de remédier au problème.

3.4.15 Lorsqu'un nouvel avion est considéré comme un modèle commun avec un avion plus ancien, il faut veiller à donner une *instruction suffisante portant sur les différences*. Il n'est pas rare que des opérateurs rencontrent non seulement des configurations différentes du poste de pilotage pour le même modèle de base d'un avion, mais aussi des calculateurs et des logiciels différents. Si une telle situation se conjugue à une fusion de compagnies ou à l'intégration de flottes, les pilotes risquent d'être exposés à une succession rapide d'agencements très différents du cockpit. D'autre part, si un pilote reste *longtemps sans prendre les commandes d'un avion de technologie avancée*, il peut en résulter une nette érosion de compétence. Il est prouvé que l'effet sur l'aptitude professionnelle au pilotage est plus grand dans ce cas que

lorsqu'il s'agissait d'avions classiques. Cette érosion est directement liée au fonctionnement du système de guidage du vol.

3.4.16 **L'entraînement de requalification**, lorsqu'un pilote retourne à un avion moins automatisé, doit être très approfondi. Dans cet entraînement, une considération importante devrait être la déprogrammation des attentes du pilote; ainsi, la prise d'altitude et la mise en palier automatiques, qui sont des éléments courants des postes de pilotages automatisés, n'existent pas forcément dans les avions moins récents. Il ressort des études de terrain concernant l'automatisation (voir Appendice 1) que les pilotes s'inquiètent aussi de la dégradation de leurs compétences cognitives (mentales) que pourrait entraîner la facilité de la navigation et du maintien de la conscience de la situation à l'aide de cartes électroniques. Il faut que les responsables soient conscients des risques que peuvent comporter les réaffectations.

3.4.17 La nécessité de **standardiser et simplifier** tous les aspects des opérations des avions automatisés pilotés à deux est une question hautement prioritaire. L'uniformisation est un des fondements de la sécurité, dont l'essor des organismes de leasing, les fusions, les regroupements, etc. augmentent encore l'importance. Les navigants peuvent rencontrer des appellations différentes pour un même dispositif, des procédures différentes pour le fonctionnement de systèmes semblables, une symbolologie différente pour la visualisation des mêmes informations, et cela souvent à des moments où la charge de travail est lourde. De tels problèmes peuvent provenir aussi en partie des améliorations constamment apportées aux avions, à leurs systèmes de bord et à la symbolologie employée dans le poste de pilotage. De nos jours, on porte une attention considérable et justifiée à la standardisation des symboles. Ceux-ci devraient être compris intuitivement et leur sens ne devrait pas changer, d'un système au suivant. Il convient d'insister sur la standardisation et d'étendre cette préoccupation aux manuels de vol, aux notices d'utilisation des équipements, aux procédures d'exploitation et aux listes de vérification.

3.4.18 Il y a lieu d'examiner attentivement **les procédures d'exploitation et les listes de vérification**, en portant une attention particulière à la charge de travail qu'elles impliquent. En élaborant les procédures d'exploitation de leurs avions pilotés à deux, de nombreux exploitants n'ont pas tenu compte des progrès réalisés dans la technologie du poste de pilotage et dans la compréhension du comportement des équipages de conduite. Il convient de porter une attention particulière aux navigants techniques qui passent d'un avion piloté à trois à un avion piloté à deux. Dans les paragraphes qui suivent, il sera question de l'emploi de l'entraînement type vol de ligne (LOFT) pour faire la démonstration de circonstances qui comportent une lourde charge de travail, L'entraînement LOFT peut aussi, et c'est plus important encore, être l'outil idéal pour révéler les charges de travail qui résultent de politiques ou de procédures peu judicieuses; l'obligation d'effectuer des tâches extra-opérationnelles à un moment inopportun (appels pour correspondances passagers, repas souhaités, fauteuils roulants, etc.) peut en effet imposer une charge de travail considérable aux navigants techniques. Le problème n'est pas nouveau mais

il est plus critique dans un environnement automatisé et avec la prolifération des opérations effectuées dans une forte densité de circulation. Certains aspects de ce problème sont maintenant résolus sur bon nombre d'avions nouveaux, dotés de voies de communication distinctes pour le personnel de cabine.

3.4.19 Il était admis jusqu'à présent que les **programmes de formation CRM (gestion des ressources en équipe dans le poste de pilotage)** étaient indépendants du modèle d'avion. Or, on possède de plus en plus d'éléments indiquant qu'au moins certains aspects de la coordination et de la communication entre membres d'équipage dans le cockpit automatisé sont différents de ce qu'ils étaient dans le cockpit classique. Des expériences menées récemment indiquent une tendance à voir se réduire la communication verbale entre pilotes lorsque le degré d'automatisation augmente. Si des recherches confirment cette hypothèse, il faudrait des modules de programmes CRM «personnalisés» pour prendre en compte ces différences. Ces modules devraient aussi tenir compte de la nature et des besoins de l'organisation (culture d'entreprise). Les observations faites au cours de vols réels ont révélé certains aspects préoccupants, que nous allons voir, dans la gestion du cockpit des avions automatisés. Elles indiquent que la coordination de l'équipage et la gestion des ressources exigent une attention particulière dans les postes de pilotage dont le niveau d'automatisation est élevé, tant pour l'affectation des tâches que pour l'uniformisation de leur exécution.

- *Par comparaison avec les modèles traditionnels, il est maintenant physiquement plus difficile pour un pilote de voir ce que fait l'autre pilote.* Ainsi, dans les avions de la précédente génération les deux pilotes observaient facilement le boîtier d'engagement du mode pilote automatique; dans un cockpit automatisé, les choix sont faits dans le panneau de commande et de visualisation (CDU), ce que l'autre membre de l'équipage ne voit que s'il sélectionne la même page du CDU. Il semble que des procédures et des communications internes appropriées dans le cockpit pourraient apporter la réponse.
- *Il est plus difficile pour le commandant de bord de contrôler le travail du copilote, et vice versa.* Ici encore, des procédures nouvelles ou amendées et les communications internes dans le cockpit pourraient apporter la réponse.
- *L'automatisation peut perturber les rôles traditionnels du pilote qui conduit et de celui qui surveille; la démarcation de «qui fait quoi» est moins nette.* Cet aspect est particulièrement pertinent, la standardisation étant, comme on l'a déjà vu, un des fondements de la sécurité. Les procédures et les Procédures d'utilisation normalisées pourraient apporter la réponse (voir aussi en 3.5.9).
- *L'automatisation du poste de pilotage peut entraîner une redistribution de l'autorité du commandant de bord vers le copilote.* Cette évolution, non délibérée,

vient du fait que le copilote est souvent plus habitué que le commandant de bord à insérer les données dans le CDU; elle s'explique aussi par la délégation de cette fonction au copilote. Surtout à des moments où la charge de travail est forte, le pilote commandant de bord cède parfois une part de la responsabilité au copilote pour accomplir cette tâche. Il peut en résulter une pente d'autorité⁵ moins prononcée; il y a toutefois des commandants de bord qui, reconnaissant les habiletés supérieures de leur copilote en matière de CDU, suivent de bons principes CRM et les emploient à leur avantage.

- *Les membres de l'équipage ont tendance à s'entraider dans les tâches de programmation lorsque la charge de travail augmente, ce qui peut rendre moins nette la démarcation des tâches.* C'est là, semble-t-il, un comportement que suscitent les calculateurs, car une telle situation n'est pas observée à bord des avions classiques.

3.4.20 Certains aspects particuliers des *incidences de l'automatisation sur la conception et la réalisation de l'entraînement de type vol de ligne* peuvent être éclairés. Le poste de pilotage automatisé offre de nouvelles possibilités de conception de scénarios. Dans le poste de pilotage classique, il fallait introduire des défaillances de systèmes pour accroître d'une façon réaliste la charge de travail et le stress de l'équipage; dans le cockpit automatisé, il existe pour ce faire suffisamment de facteurs de stress intrinsèques, surtout dans le domaine des instructions ATC. Le cockpit à écrans cathodiques offre de nouvelles possibilités pour la conception de scénarios ne nécessitant pas de circonstances anormales ou de situations d'urgence — il suffira de problèmes difficiles à l'interface entre l'humain et les automatismes. On a maintenant la possibilité de concevoir des scénarios qui abordent les problèmes et les opportunités du travail dans les postes de pilotage automatisés; ces scénarios permettent d'insister sur leurs caractéristiques particulières et de s'exercer à l'application des principes CRM. Ainsi, une consigne ATC indiquant un circuit d'attente inattendu, non décrit, offre des possibilités considérables de mise en pratique des principes CRM sans que l'on ait à introduire un dysfonctionnement du système.

3.4.21 *Les constructeurs aéronautiques accordent plus d'importance aux questions de performance humaine dans les postes de pilotage automatisés.* La connaissance des facteurs humains est de plus en plus intégrée, d'une façon proactive, dès le stade de la conception des postes de pilotage, de sorte que l'on observe une approche de la conception centrée sur l'humain. On cherche à intégrer des programmes CRM dans les stades d'entraînement de transition au pilotage des nouveaux avions. Les pilotes instructeurs des constructeurs reçoivent une formation CRM. L'entraînement des pilotes et techniciens d'entretien comprend aussi des programmes CRM. Un constructeur affirme que les cours CRM qui vont être développés seront conçus sur mesure pour les avions, avec un cours CRM différent pour chaque modèle de la chaîne de production. Cette décision se justifie par la nécessité d'allier

l'entraînement à une éducation comportementale à plus long terme et de centrer l'attention sur les tâches et les responsabilités confiées aux membres d'équipage. Le plus important, c'est la reconnaissance tacite du fait que l'éducation relative aux facteurs humains ne relève plus exclusivement de la responsabilité de l'exploitant, mais fait partie intégrante des opérations dans le système actuel.

3.4.22 *Il est nécessaire que les pilotes-instructeurs/inspecteurs reçoivent une formation suffisante;* il faut insister sur cette formation, car les instructeurs n'ont parfois qu'un peu plus de connaissances et d'expérience significative (c'est-à-dire opérationnelle) que les stagiaires. Il est fortement recommandé d'introduire de l'expérience pratique dans la formation des instructeurs et des stagiaires. Il a été suggéré aussi d'insister davantage sur les questions de comportement (formation CRM et entraînement LOFT). Les spécialistes des facteurs humains ont conscience du problème, mais la question de la formation des instructeurs en rapport avec l'automatisation n'a pas encore été bien étudiée et les spécialistes de la formation ont peu de sources à consulter sur la question. La sélection et la formation des instructeurs se font toujours par les anciennes méthodes et selon les critères appliqués pour le poste de pilotage traditionnel, même si les questions d'entraînement sont tout à fait différentes dans un poste de pilotage automatisé.

3.4.23 *Le rôle des services responsables de la réglementation* dans la conception des programmes de formation et dans la formation des instructeurs ne doit pas être négligé. Lors de la certification, ces services évaluent les renseignements communiqués par le constructeur. Ces données de certification doivent être transmises à l'exploitant, car c'est sur cette base que seront conçus les programmes de formation. En sachant, par exemple, quelles étaient les intentions du constructeur lors de la conception, l'exploitant pourra élaborer des procédures dans lesquelles les tâches seront bien identifiées. Il faudra ensuite que les programmes de formation ainsi définis soient validés sur la base des mêmes sources d'information, ce qui bouclera la boucle constructeur-services de réglementation-exploitant. Il faut que la formation fasse partie intégrante de la conception du système et il faut l'envisager dans le cadre d'une approche d'ingénierie des systèmes. De plus, les services responsables de la réglementation pourraient favoriser la prise en compte de connaissances sur les facteurs humains dans la conception des postes de pilotage en imposant et en évaluant des critères liés aux facteurs humains comme éléments normaux du processus de certification.

3.5 TECHNIQUES ET STRATÉGIES DE LA DIRECTION DE L'EXPLOITATION

3.5.1 Il a été avancé que tout accident, fût-il mineur, est le résultat d'une défaillance de l'organisation. Il est clair que cela fait intervenir le rôle de la direction de l'exploitation. Or, ce rôle a souvent été négligé. Dans les questions liées à l'automatisation, on néglige souvent le *rôle de la direction*. En effet, nous en sommes encore à la phase de mise en oeuvre et

nous traversons la période de rodage qui accompagne toujours le changement. Beaucoup de décisions doivent être prises — et d'autres modifiées — touchant la conception, la configuration et la sélection des équipements, la mise en place de procédures et de politiques appropriées et les stratégies de formation. Au niveau des systèmes, les avantages de l'intervention de la direction dépasseront ceux qui pourraient être obtenus en s'adressant au personnel d'exploitation.

3.5.2 Il est fondamental que la direction de l'exploitation des vols **mette au point une entente sans aucune ambiguïté sur la façon de conduire les opérations aériennes**, par exemple en donnant des explications complètes sur la mesure dans laquelle l'équipage est censé utiliser les automatismes qui sont à sa disposition dans le poste de pilotage. Il faut que cette entente soit énoncée clairement et sans équivoque, et que ces intentions soient communiquées efficacement aux équipages de conduite. Il importe aussi que les pilotes instructeurs, pilotes inspecteurs, pilotes superviseurs et responsables de l'exploitation aux niveaux supérieurs se conforment aux règles et procédures adoptées. Cela devrait favoriser un bon climat de l'exploitation et indiquer l'engagement nécessaire; ce climat pourra être encore amélioré par des procédures appropriées de sélection des pilotes et un système de formation adéquat.

3.5.3 **Il faut également un soutien de la direction dans la production et l'utilisation des médias d'exploitation.** Les manuels de vol, manuels d'utilisation des aéronefs, listes de vérification, notices d'utilisation des équipements, bulletins d'exploitation et, dans les cockpits automatisés, les logiciels sont d'importants moyens de communication qui reflètent une certaine philosophie de l'exploitation. Mais il ne suffit pas de publier des manuels ou des directives pour communiquer efficacement avec les pilotes. Un contact permanent avec eux est indispensable, avec un maximum d'échanges d'idées et d'informations; il convient de leur parler des procédures, des règles et des équipements et de les justifier. Les pilotes seront alors en mesure de comprendre les raisons du choix de ces équipements ou de ces procédures et on pourra compter sur leur intérêt et leur engagement pour les employer d'une façon cohérente. L'importance de faire intervenir les pilotes dans la décision et dans la conception des lignes directrices relatives aux procédures est également liée à la motivation, au contentement de soi, etc.

3.5.4 **Il faut que la direction de l'exploitation et les pilotes aient leur mot à dire dans les acquisitions d'équipements (matériel).** Les changements que comportent les avions de technologie avancée représentent des progrès considérables, mais suscitent par ailleurs bien des controverses. Le coût de toute erreur de conception qui ne serait pas rectifiée au stade de la conception ou de l'acquisition serait payé plusieurs fois au cours de la durée de vie opérationnelle des équipements, qu'il s'agisse d'un affichage ou d'un ordinateur, de matériel ou de logiciel. Si une formation ou des procédures qui sont rationnelles et bien conçues ne peuvent pas être appliquées correctement à cause de certaines inadéquations, elles poseront plus de problèmes qu'elles n'en résoudront. Par ailleurs, il n'y a pas consensus sur le degré d'ajustement à une conception non

optimale qui peut être raisonnablement attendu de pilotes professionnels.

3.5.5 Il n'est guère surprenant que, dès les premières études, **la formation et les procédures** aient été mises en évidence comme des aspects de l'exploitation des avions de technologie avancée au niveau desquels des problèmes se posent. Tout comme il a été reconnu qu'une conception inadaptée compromet la mise en oeuvre de la formation ou des procédures, il faut reconnaître aussi que même le système le mieux conçu n'aura pas un fonctionnement optimal s'il n'est pas accompagné de formation et de procédures efficaces. Il est indispensable d'établir une **boucle de retour d'expérience** entre le personnel d'exploitation et le service formation, car la formation précède l'exploitation et l'influence. En ce qui a trait aux automatismes, les navigants techniques ne reçoivent peut-être pas toute la formation ou toutes les informations, provenant de manuels ou d'autres sources, qui leur seraient nécessaires pour comprendre les systèmes qu'ils ont à utiliser.

3.5.6 **Les différences dans la formation nécessaire pour le pilotage à deux et pour le pilotage à trois doivent être prises en compte.** Il peut être important de donner aux pilotes une instruction plus poussée sur les systèmes lors de leur formation initiale et de leur entraînement périodique s'ils sont appelés à faire équipage à deux. Le passage de l'équipage à trois à l'équipage à deux est un changement important, exigeant qu'une approche différente soit adoptée pour la gestion des ressources dans le poste de pilotage, dans les procédures d'utilisation normalisées et dans les listes de vérification. Ainsi, des pilotes qui passent d'anciens modèles de B-747 ou de DC-10 aux nouveaux MD-11 ou B-747-400 ne doivent pas seulement maîtriser les nouvelles techniques de navigation et de pilotage automatique, mais apprendre aussi les relations de commandement et de communication qui s'établissent dans un poste de pilotage à deux (et non à trois). Cela peut être particulièrement difficile pour des pilotes qui sont affectés assez tard dans leur carrière sur un avion moderne. Cela peut être difficile aussi pour une direction de l'exploitation qui n'a pas conscience de ces problèmes. C'est ce qu'un pilote a exprimé dans un compte rendu présenté dans le cadre du système ASRS:

«Dans notre compagnie, on a toujours piloté à trois et nous continuons d'employer des procédures de pilotage à trois avec un équipage à deux. Les problèmes ne viennent pas des avions, mais de nos procédures et de nos listes de vérification ...»

3.5.7 **Les politiques de promotion et les pratiques en matière d'affectation des pilotes** posent d'autres problèmes. Les politiques de promotion sont généralement dictées par des conventions collectives et par des considérations d'ancienneté; un pilote qui a navigué en qualité de copilote sur des avions à poste de pilotage automatisé pourrait retourner sur un avion moins moderne pour être promu commandant de bord. Il est recommandé en pareil cas d'offrir un recyclage supplémentaire avec «révision des bases». Donnons encore un exemple: les pratiques de certains exploitants comportent l'affectation de leurs équipages de conduite sur des appareils tantôt de série

DC-9 et tantôt de série MD-80, sur la base de qualifications communes, certaines autorités considérant que les différentes versions dérivées représentent pratiquement le même avion et qu'on peut le piloter avec une qualification de type commune. Une telle pratique demande à être suivie attentivement par les pilotes, les exploitants et les autorités, et à être en définitive réexaminée et modifiée au besoin. Il peut être nécessaire de donner des statuts distincts aux avions à cockpit automatisé et aux avions classiques et de séparer les flottes aux fins de l'affectation des équipages. Cette séparation sera peut-être considérée comme un fardeau économique pour les exploitants mais elle est nettement positive du point de vue de la sécurité, et donc avantageuse à long terme sur le plan économique.

3.5.8 Il faut délimiter clairement les fonctions de pilote aux commandes et de pilote assurant la surveillance, et bien répartir les tâches, en insistant spécialement sur le rôle du pilote qui surveille. Une anomalie opérationnelle importante est souvent précédée d'une défaillance de la surveillance préventive. Du point de vue de la sécurité des systèmes, une telle défaillance est tout aussi critique qu'une défaillance du pilote aux commandes. Les éléments recueillis dans les banques de données semblent indiquer que le risque augmente lorsque c'est le commandant de bord qui assume les fonctions de surveillance; en effet, plusieurs accidents et incidents sont survenus lorsque le copilote était aux commandes. Le problème réside en partie dans l'ambiguïté du rôle du commandant de bord lorsqu'il surveille. Le débat sur ce thème ne se limite pas à l'automatisation, mais il est certain que l'automatisation y a sa place.

3.5.9 Pour éviter l'ennui et maintenir le niveau nécessaire de vigilance et de surveillance pendant les périodes de faible activité, certains ont proposé d'introduire à ces moments des tâches supplémentaires qui éveilleraient l'intérêt (voir 3.4). On a étudié récemment l'idée qu'un **entraînement intégré** pourrait être un des moyens d'atteindre cet objectif; cela nécessiterait l'utilisation d'ordinateurs de bord à des fins d'entraînement. Il faut préciser clairement que le sujet du présent paragraphe n'est pas la vigilance, mais la façon d'employer les périodes d'inactivité. Disons ici, en guise de mise en garde, que l'on possède fort peu d'éléments d'orientation sur la façon de résoudre le conflit entre le maintien de la conscience effective de la situation du vol et la réalisation d'un «entraînement intégré» valable.

3.5.10 Dans bien des régions du monde, **l'évolution du contrôle de la circulation aérienne** ne s'est pas faite au même rythme que les progrès dans les possibilités du poste de pilotage. Le système ATC actuel, qui est un compromis, ne répond pas bien aux possibilités évoluées des nouveaux avions, étant essentiellement conçu pour des avions à réaction de la génération des DC-8/9, B-737-100/200, B-727 et appareils analogues. Inversement, les plus récents avions de transport à réaction sont trop perfectionnés pour être exploités aisément et avec un maximum d'efficacité dans l'environnement ATC actuel; les équipages n'arrivent pas à tirer parti de toutes leurs caractéristiques avancées. Dans les avions modernes, les systèmes de guidage du vol et de visualisation sont impressionnants; les moyens de navigation verticale

(VNAV) et latérale (LNAV), les automanettes perfectionnées, la navigation IRS (système à référence inertielle) et les écrans de visualisation pour navigation IRS sont devenus des éléments familiers de l'équipement. Ces systèmes sont l'idéal pour les opérations dans des environnements complexes, mais ils posent des problèmes aux équipages de conduite lorsqu'il s'agit de se conformer aux instructions ATC. Dans une certaine mesure, on considère que si les contrôleurs ont des connaissances insuffisantes sur les moyens dont disposent les nouveaux avions, cela pose autant de problèmes que si les pilotes ne connaissent pas les problèmes ATC. L'expérience montre que les services ATC s'améliorent cependant, à mesure que les contrôleurs commencent à mieux connaître les avions de nouvelle génération. Des vols de familiarisation à bord de ces avions permettent au personnel ATC de comprendre les possibilités des postes de pilotage modernes.

3.5.11 On a déjà fait mention d'un **environnement de compagnie qui fournit aux équipages de conduite de la documentation de soutien** (plans de vol, calculs de masse et de centrage, renseignements météorologiques, etc.) et qui établit une boucle de retour d'expérience entre l'exploitation (planning des vols, centre des opérations, etc.) et la formation (laquelle n'est pas indépendante du modèle, jouant un rôle plus critique dans les postes de pilotage automatisés). L'exemple qui suit, présenté par Wiener, montre bien l'importance de ce retour d'expérience:

«L'équipage de conduite d'un B-757 avait reçu un plan de vol dans lequel un point de cheminement était indiqué simplement sous la forme «CLB» (Carolina Beach), ce qui pouvait passer pour un VOR. Lorsque les pilotes ont tapé ces lettres sur la page Itinéraire, ils ont reçu avec persistance des messages «pas dans la base de données». Le problème était que Carolina Beach est un NDB (radiophare non directionnel); pour assurer la compatibilité avec l'ordinateur de gestion de vol (FMC), le plan aurait dû l'indiquer sous la forme «CLBNB».

Une boucle de retour d'expérience bien établie permettra aux exploitants de réexaminer leurs listes de vérification, leurs procédures et tous leurs documents, et de veiller à ce que ceux-ci soient adaptés aux postes de pilotage modernes et à leurs opérations particulières.

3.5.12 On a vu en 3.4 que l'obligation d'effectuer à des moments inopportuns des **tâches extra-opérationnelles** (appels à l'avance pour correspondances passagers, repas souhaités, fauteuils roulants et autres éléments du service passagers, par exemple) peut créer une charge de travail considérable. Cela n'est pas nouveau, mais c'est devenu un facteur plus critique du fait de l'accroissement de la charge de travail dans les avions pilotés à deux, en région terminale encombrée, dans un trafic dense. Tandis que les solutions au niveau de la formation pourraient comprendre des lignes directrices pour déterminer les priorités et réduire la charge de travail, la direction de l'exploitation devrait établir des politiques prévoyant la réaffectation ou la suppression de ce type de tâches. Ces politiques devraient porter sur l'interface entre navigants techniques et navigants commerciaux, et indiquer

très clairement qu'il y a des aspects dans cette relation qui concernent l'équipage de conduite à deux et qui ne se posent pas dans le cas de l'équipage de conduite à trois. Certaines directions ont conscience du problème et exigent que le personnel de cabine dispose de moyens radio distincts pour les communications extra-opérationnelles.

3.5.13 *L'établissement d'un système de référence international* pour recueillir et diffuser des informations sur des aspects tels que le choix du niveau optimal d'utilisation des automatismes et d'autres procédures opérationnelles est souhaitable. Ce système ferait référence aux systèmes existants de compte rendu d'accidents et d'incidents. Beaucoup d'éléments indiquent que certains des problèmes liés à l'automatisation pourraient bien être le produit de différences dans la formation et dans les procédures. De plus, il est de notoriété publique que le manque d'échange d'expériences en exploitation, notamment sur les incidents induits par l'automatisation, a joué un rôle dans au moins un incident majeur survenu à un avion de technologie avancée.

LISTE DE RÉFÉRENCES

- Adler, P. «New Technologies, New Skills». Document de travail, Harvard Business School, 1984.
- Air Force Studies Board, National Research Council. «Automation in Combat Aircraft». National Academy Press: Washington D.C., 1982.
- Amalberti, R. «New-machine Interfaces: A Challenge for Aerospace Medicine». Communication présentée au Salon de l'Aéronautique de Paris — Le Bourget, 1989.
- Bailey, R.W. *Human Performance Engineering: A Guide for System Designers*. Prentice Hall: Englewood Cliffs, N.J., 1982.
- Bergeron, H.P. «Single Pilot IFR Autopilot Complexity/Benefit Tradeoff Study». *Journal of Aircraft*, n° 18 (1981), pp. 705-706.
- Boehm-Davis, D.A., Curry, R.E., Wiener, E.L. et Harrison, R.L. «Human Factors of Flight-deck Automation: Report on a NASA-Industry Workshop». *Ergonomics*, n° 26 (1983), pp. 953-961.
- Braune, Rolf J. «The Common/Same Type Rating: Human Factors and Other Issues». SAE Technical Paper Series 892229, Boeing Commercial Airplanes, P.O.Box 3707, Seattle, WA.
- Caesar, H. «Design Philosophies of New-technology Aircraft and Consequences for the Users». Allemagne.
- Chambers, A.B., et Nagel, D.C. «Pilots of the Future: Human or Computer?». *Communications of the ACM*, n° 28 (1985), pp. 1187-1199.
- Costley, J., Johnson, D. et Lawson, D. «A comparison of cockpit communication B-737 — B-757». Proceedings of Fifth International Symposium on Aviation Psychology, Ohio State University, Columbus, Ohio, 1989.
- Curry, R.E. «The Introduction of New Cockpit Technology: A Human Factors Study». (NASA Technical Memorandum 86659). NASA-Ames Research Center, Moffett Field, CA.
- Degani, A., Wiener, E.L. «Human Factors of Flight Deck Checklists: The Normal Checklists». NASA Contract Report No. 177549, 1985. NASA-Ames Research Center, Moffett Field, CA.
- Edwards, E. et Lees, F.P. «*The Human Operator in Process Control*». Taylor & Francis: Londres, 1974.
- Edwards, E. «Automation in Civil Transport Aircraft». *Applied Ergonomics*, n° 8 (1977), pp. 194-198.
- Fadden, D.M. et Weener, E.F. «Selecting Effective Automation». Communication présentée à l'Air Line Pilots Association Safety Workshop, Washington, D.C., 1984.
- Federal Aviation Administration. Report on the Interfaces between Flightcrews and Modern Flight Deck Systems. 1966.
- Gannett, J.R. «The Pilot and the Flight Management System». Behavioral Objectives in Aviation Automated Systems Symposium (pp. 93-96). Society of Automotive Engineers, Warrendale PA, 1982.
- Gras, A., Moricot, C., Poirot-Delpech, S.L. et Scardigli, V. «Le pilote, le contrôleur et l'automate». Mémoire publié (en français). Université de Paris (Panthéon Sorbonne), Paris, 1990.
- Grieve, S. *The Impact on the Airlines of the «New Technology» Aircraft*. Royaume-Uni.
- Hersh, S.M. *The Target is Destroyed*. Random House: New York, 1986.
- Hoagland, M. «Winging it in the 1980s: Why Guidelines are Needed for Cockpit Automation». Third Aerospace Technology Conference Proceedings (pp. 155-162). Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, 1984.
- Hopkins, H. «Over-dependence on Automatics — The Black Box One Man Band». *International Journal of Air Safety*, n° 1 (1983), pp. 343-348.
- Hoffman, W.C. et Hollister, W.M. «Forecast of the General Aviation Air Traffic Control Environment for the 1980s». NASA Contractor Report CR-137909, 1976. Aerospace Systems, Inc., Burlington, MA.
- Lerner, E.J. «The Automated Cockpit». *IEEE Spectrum*, n° 20, pp. 57-62.

- Loomis J.P., et Porter, R.F. «The Performance of Warning Systems in Avoiding Controlled-Flight-Into-Terrain (CFIT) Accidents». Présenté au Symposium on Aviation Psychology, Ohio State University, Colombus, 1981.
- Mackley, W.B. «Aftermath of Mt. Erebus». *Flight Safety Digest*, n° 1, pp. 3-7.
- Mahon, P. *Verdict on Erebus*. Collins: Auckland, Nouvelle-Zélande, 1984.
- McCormick, E.J. et Sanders, M.S. *Human Factors in Engineering and Design*. McGraw-Hill: New York, 1982.
- Melvin, W.W. (1983). «A Philosophy of Automation». Behavioral Objectives in Aviation Automated Systems Symposium (pp. 319-325). Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, 1983.
- Morters, K. «B-767 Flight Deck Automation Research» (rapport non publié). Australie, 1988.
- Nagel, D.C. «Automation and Human Error». Communication présentée au symposium «Beyond Pilot Error» de l'Air Line Pilots Association. Washington, D.C., 1983.
- Oliver, J.G. «A Single Red Light». Communication présentée au symposium annuel sur la sécurité, Air Line Pilots Association. Washington, D.C., 1984.
- Rasmussen, J. & Rouse, W.B. *Human Detection and Diagnosis of System Failures*. Plenum Press, New York, 1981.
- Rasmussen, J. «Models of Mental Strategies in Process Plant Diagnosis». *Human Detection and Diagnosis of System Failures*. J. Rasmussen, W.B. Rouse (éd.). Plenum Press: New York, 1981.
- Rasmussen, J. «Reflections on the Concept of Operator Workload». *Mental Workload: Its Theory and Measurement*. N. Moray (éd.). Plenum Press: New York, 1979.
- Rohmer, R. *Massacre 747*. PaperJack Publishers: Markham, Ontario, 1984.
- Ruffell Smith, H.P. «Some Human Factors of Aircraft Accidents during Collision with High Ground». *Journal of Institute of Navigation*, n° 21 (1968), pp. 1-10.
- Sheridan, T.B. «Understanding Human Error and Aiding Human Diagnostic Behaviour in Nuclear Power Plants». *Human Detection and Diagnosis of System Failures*, J. Rasmussen et W.B. Rouse (éd.). Plenum Press: New York, 1981.
- Sheridan, T.B. et Johannesen, G. (éd.) *Monitoring Behaviour and Supervisory Control*. Plenum Press: New York, 1976.
- Speyer, J.-J. «Cockpit Design-induced Error Tolerance». Communication présentée au séminaire sur la sécurité des vols, Orient Airlines Association, 1987.
- Speyer, J.-J. et Blomberg, R.D. «Workload and Automation». Human Error Avoidance Techniques, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, 1989.
- Thompson, D.A. «Commercial Aircrew Detection of System Failures: State of the Art and Future Trends». *Human Detection and Diagnosis of System Failures*. J. Rasmussen et W.B. Rouse (éd.). Plenum Press: New York, 1981.
- Vette, G. *Impact Erebus*. Hodder and Stoughton: Auckland, Nouvelle-Zélande, 1983.
- White, T.N. «Modelling the Human Operator's Supervisory Behaviour». First European Annual Conference on Human Decision Making & Manual Control, H.G. Stassen (éd.). Plenum Press: New York, 1981.
- Wiener, E.L. «Controlled Flight-Into-Terrain Accidents: System-induced Errors». *Human Factors*, n° 19 (1977), pp. 171-181.
- Wiener, E.L. «Midair Collisions: the Accidents, the Systems, and the Realpolitik». *Human Factors*, n° 22, (1980), pp. 521-533.
- Wiener, E.L. «Cockpit Automation: In Need of a Philosophy». Proceedings of Behavioral Engineering Conference (pp. 369-375). Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, 1985.
- Wiener, E.L. et Nagel, D.C. *Human Factors in Aviation*. Academic Press: San Diego, 1988.
- Wiener, E.L. et Nagel, D.C. «Errors and Error Management in High Technology Aircraft». Actes de la 7^e réunion de médecine aéronautique et spatiale. Salon de l'aéronautique, Paris-Le Bourget, 1989.
- Wiener, E.L. «Human Factors of Cockpit Automation: A Field Study of Flight Crew Transition». NASA Contractor Report CR-177333, 1985. NASA-Ames Research Center, Moffett Field, CA.
- Wiener, E.L. et Curry, R.E. «Flight-deck Automation: Promises and Problems». *Ergonomics*, n° 23, (1980), pp. 955-1011.
- Wiener, E.L. «Beyond the Sterile Cockpit». *Human Factors*, n° 27, (1985), pp. 75-90.
- Wiener, E.L. «Vigilance and Inspection». *Sustained Attention in Human Performance*. Warm, J. (éd.). Wiley: Londres, 1984.
- Woods, D.D., Johannesen, L.J., Cook, R.I. et Sarter, N.B. *Behind Human Error: Cognitive systems, computers and hindsight*. CSERIAC.

Appendice 1 au Chapitre 3

ÉTUDES DE TERRAIN CONCERNANT L'AUTOMATISATION

1. Les études de terrain sont une fenêtre ouverte sur la réalité. Les divers systèmes établis de comptes rendus sur les manquements à la sécurité en sont une autre. On peut en tirer des enseignements importants sur le fonctionnement du monde. Comme il ne s'agit pas de reproduire la documentation existante, cet appendice donnera seulement un aperçu d'études de terrain qui ont porté sur l'automatisation. Le Secrétariat de l'OACI pourra aider les personnes qui souhaiteraient obtenir des renseignements plus détaillés à se les procurer à leur source.

2. Les études de terrain sont importantes pour plusieurs raisons:

- Les navigants techniques sont ceux qui voient et connaissent la façon dont les avions sont exploités dans la réalité. Ils interviennent concrètement et il convient de les interroger sur leur expérience et de demander leur avis.
- Souvent, les problèmes n'apparaissent pas avant qu'une certaine expérience en vol de ligne ait été accumulée. Le vol de ligne est le véritable test de la conception, car c'est là que les équipements sont utilisés dans diverses conditions. Il faut aussi que les études de terrain et l'étude des comptes rendus visent à fournir des retours d'expérience provenant du monde de l'exploitation à ceux qui n'évoluent pas dans ce monde.
- Les études de terrain permettent une évaluation impartiale du système, car les chercheurs qui les mènent n'interviennent pas dans la conception, les ventes ou l'exploitation des avions, ni dans l'application des règlements. Ces études peuvent fournir d'importants retours d'expérience aux concepteurs et aux exploitants, ainsi qu'à d'autres chercheurs.

3. Les sources d'information essentielles sont des questionnaires utilisés auprès d'équipages volontaires ainsi que des «rappels» structurés effectués dans des systèmes de comptes rendus volontaires. On recourt aussi aux entrevues en tête à tête, faisant intervenir des pilotes instructeurs, des pilotes chargés de fonctions de gestion, des instructeurs sur simulateur et des instructeurs de centres de formation au sol. Les chercheurs peuvent aussi assister aux cours dispensés au centre de formation au sol pour le type d'avion considéré et effectuer des vols d'observation dans le poste de pilotage. Jusqu'à

présent, trois des principales études ainsi menées au sujet de l'automatisation ont fait l'objet de publications:

- The Introduction of New Cockpit Technology: A Human Factors Study, par Renwick E. Curry, 1985, traitant du passage des équipages à la conduite du Boeing B-767.
- Human Factors of Cockpit Automation: A Field Study of Flight Crew Transition, par Earl L. Wiener, 1985, traitant du passage des équipages à la conduite du MD-80 de Mc Donnell-Douglas.
- Human Factors of Advanced Technology («Glass Cockpit») Transport Aircraft, par Earl L. Wiener, 1989, traitant de l'analyse des erreurs, de la coordination de l'équipage, de la formation et de la charge de travail dans le Boeing B-757.

Ces trois études ont été commanditées par la NASA et sont disponibles à son Centre de recherche d'Ames. Une autre étude importante portant sur les systèmes dont est doté le poste de pilotage de l'Airbus A310 a été menée par un exploitant. La Civil Aviation Authority du Royaume-Uni a élaboré un questionnaire destiné à une enquête au sujet des opinions actuelles des pilotes du Royaume-Uni sur l'automatisation dans le poste de pilotage et visant à identifier les domaines qui pourraient profiter de recherches et d'études plus poussées. De plus, divers exploitants et organismes ont réalisé des études internes ou demandé aux pilotes de répondre à des questionnaires visant à mettre en évidence des lacunes particulières touchant leurs opérations spécifiques.

L'INTRODUCTION DE LA TECHNOLOGIE NOUVELLE DANS LE POSTE DE PILOTAGE: ÉTUDE DES FACTEURS HUMAINS

4. Cette étude a été menée avec les objectifs suivants:

- identifier d'éventuelles réactions négatives aux technologies nouvelles;
- constituer pour les compagnies aériennes et les pilotes une «bourse» d'informations sur l'expérience acquise pendant la période d'introduction du B-767;

- fournir des retours d'expérience sur les programmes de formation des compagnies aériennes pour les nouveaux avions;
- fournir à la NASA et aux autres chercheurs des données réelles qui les aideraient à élaborer des principes d'interaction entre les humains et les automatismes.

Trois compagnies aériennes et plus de cent pilotes ont accepté de participer à l'étude. Les renseignements ont été recueillis à la mise en service du B-767 et les conclusions ne s'appliquent qu'à cette période.

5. Les conclusions de l'étude sont les suivantes:

- La plupart des pilotes éprouvent plus de plaisir à piloter le B-767 que les avions antérieurs. (Cette conclusion est à interpréter comme une observation de portée générale. Elle exprime l'appréciation des pilotes concernant un avion de technologie avancée, plutôt qu'un type en particulier.)
- Les pilotes acceptent la technologie nouvelle; ils choisissent de l'employer parce qu'ils la trouvent utile.
- Les pilotes ont conscience d'un risque d'érosion de leurs habiletés de pilotage lié à la présence des automatismes; ils pilotent manuellement (généralement avec le directeur de vol) pour l'éviter. Les renseignements recueillis dans le cadre de l'étude n'indiquent aucune perte d'habiletés.
- Les principaux points suscitant de la confusion ou de l'étonnement étaient les interactions entre automanettes et pilote automatique (pilote automatique qui «va dans le mauvais sens» ou ne capte pas l'alignement) et l'obtention (ou non) des résultats voulus au moyen du système de gestion de vol/panneau de commande et de visualisation (FMS/CDU).
- Les pilotes croyaient possible d'améliorer l'entraînement à l'utilisation du FMS/CDU et souhaitaient en particulier acquérir plus d'expérience pratique. Ils ont indiqué qu'ils souhaitaient avoir davantage d'entraînement sur le boîtier de sélection des modes et davantage de pilotage manuel.
- Les informations, et surtout les «techniques» ne circulent pas toujours entre les concepteurs de systèmes et les pilotes de ligne.
- Le pilotage de tout avion doté d'équipements perfectionnés et d'un haut niveau d'automatisation laisse place à des moments de distraction qui abaissent la performance de surveillance.
- Les pilotes devraient être entraînés à «couper les automatismes» et à ne pas chercher à «programmer» la façon de se tirer d'une situation anormale.

- Ces renseignements recueillis en milieu de travail confirment certains principes relatifs aux facteurs humains, suggèrent quelques principes nouveaux et posent des questions qui demandent de plus amples recherches.

AUTOMATISATION DU POSTE DE PILOTAGE: LES FACTEURS HUMAINS — ÉTUDE DE TERRAIN SUR LA TRANSITION POUR LES ÉQUIPAGES DE CONDUITE

6. Cette étude a été menée sur deux années auprès de deux groupes de pilotes de ligne (de la même compagnie aérienne), en vue de déterminer les facteurs qui influent sur la transition lorsqu'ils passent des postes de pilotage classiques de la compagnie à une version très automatisée (du DC-9/10/30/50 au MD-80). Elle a abouti aux conclusions suivantes:

- Le MD-80, son système de guidage du vol (FGS) et ses autres automatismes sont généralement considérés comme étant bien conçus et sont très appréciés des pilotes qui les utilisent.
- Les pilotes ont exprimé un avis général favorable concernant l'automatisation. Cependant, même ses partisans les plus enthousiastes se sont déclarés préoccupés par la nécessité grandissante de surveiller l'avionique. On a noté aussi certaines craintes de voir les pilotes «hors de la boucle» ou «emmenés en balade».
- Dans l'ensemble, les automatismes étaient très utilisés, mais avec de grandes variations du degré d'utilisation individuel. Les pilotes estimaient que la compagnie devait réaliser l'automatisation, mais laisser à chacun la faculté de déterminer quand et dans quelles circonstances il choisirait d'utiliser ou non les automatismes.
- Après une période initiale d'inquiétude quant à la fiabilité des automatismes, la plupart des équipages les jugeaient très fiables. La principale préoccupation exprimée concernait le fait que les automatismes demandaient plus de surveillance que ce à quoi les équipages étaient habitués sur les anciens DC-9.
- Les avis étaient partagés en ce qui concerne la réduction de la charge de travail. De l'avis général, s'il fallait la chiffrer elle serait de l'ordre de 15 %, bien moins que ce qui était escompté pour le MD-80.
- Les pilotes étaient unanimes à dire que, par comparaison avec le DC-9, l'automatisation et la configuration du poste de pilotage du MD-80 ne permettaient pas de consacrer davantage de temps au balayage visuel à l'extérieur.
- En matière de sécurité, la plupart des pilotes ne voyaient aucun avantage aux automatismes. Leur

attitude était plutôt neutre en ce qui concerne l'aspect sécurité de l'automatisation.

- Cette étude n'a pas apporté d'éléments solides sur les questions de perte de compétence professionnelle si l'on s'en remet trop aux automatismes. Même lorsque des préoccupations étaient exprimées, nul ne voyait là un problème sérieux. Cela provenait peut-être en partie du fait que les équipages étaient affectés au début de l'étude sur des flottes mixtes de MD-80 et de DC-9 classiques.
- Dans le courant de l'étude, des «statuts distincts» ont été établis pour les modèles classiques et les modèles haute technologie. Les pilotes concernés ont indiqué que la transition avait été nettement facilitée par la possibilité de piloter uniquement le MD-80 pendant la période initiale d'exposition au nouveau poste de pilotage.
- Apprendre à gérer un poste de pilotage haute technologie exige une nouvelle approche de la formation. L'emploi d'un simulateur de tâche complète n'est pas efficace pour l'entraînement portant sur les habiletés de programmation et les habiletés cognitives (mentales). Ce qu'il faut, c'est une famille de dispositifs dynamiques, interactifs, pouvant démontrer en temps réel au pilote à l'entraînement la dynamique des systèmes de bord et les conséquences de ses actes. Le fait que, à plusieurs reprises, des pilotes aient mentionné qu'ils passaient en mode manuel chaque fois que survenait le moindre fait inattendu (changement de piste par exemple) est une observation significative à propos de la qualité de l'entraînement.
- Dans la conception du poste de pilotage, il faut continuer de porter attention aux problèmes fondamentaux et traditionnels de facteurs humains: conception des commandes de vol, claviers d'introduction des données, systèmes d'avertissement et d'alarme, éclairage du poste de pilotage. L'utilisation efficace des nouvelles technologies dans le poste de pilotage dépend de l'application des principes éprouvés en matière de facteurs humains.
- L'étude n'a décelé aucun signe de problèmes psychosociaux qui découleraient de l'automatisation, tels qu'une attitude négative à l'égard du métier de pilote ou une perte d'estime de soi.

LES FACTEURS HUMAINS DANS LES AVIONS DE TRANSPORT DE TECHNOLOGIE AVANCÉE (COCKPIT À ÉCRANS CATHODIQUES)

7. Il est rendu compte ici d'une étude menée sur trois années auprès des équipages de conduite de deux grandes compagnies aériennes qui pilotaient un avion de technologie avancée, le Boeing 757. Les deux études précédentes étaient axées sur les

débuts de la transition et l'expérience initiale. Cette fois, l'étude portait sur quatre grandes questions: la formation au pilotage avec des automatismes de pointe, les erreurs de travail dans le cockpit et les attitudes générales à l'égard de l'automatisation du cockpit. Les conclusions sont les suivantes:

- *Constatations générales.* Les pilotes montrent beaucoup d'enthousiasme pour l'avion, pour leur formation et pour la possibilité de piloter un avion de transport haute technologie. Il est plus difficile de résumer leurs attitudes à l'égard de l'automatisation en général, domaine dans lequel les sentiments mélangés prédominent. Les pilotes ont émis de fortes réserves sur deux aspects critiques: la sécurité (ils trouvent qu'ils sont souvent «hors de la boucle» et qu'ils ne connaissent plus la situation du vol) et la charge de travail (les pilotes trouvent qu'elle s'accroît pendant les phases du vol déjà caractérisées par une forte charge et diminue pendant les périodes de faible charge). Les pilotes ont tendance à retourner aux modes manuels de guidage du vol («click it off») aux moments où la charge de travail est forte.
- *Équipements.* Les pilotes se déclarent satisfaits de l'ergonomie générale du poste de pilotage et signalent peu de problèmes dans le domaine des facteurs humains traditionnels. Selon la plupart des pilotes, les systèmes d'avertissement et d'alarme du 757 sont dignes d'éloges.
- *Formation.* D'une manière générale, les pilotes estiment que, dans les deux compagnies aériennes visées par l'étude, la formation au pilotage du 757 est bien planifiée et conduite. La critique la plus fréquente a trait à une trop grande insistance sur les automatismes, à l'exclusion des connaissances et compétences fondamentales. Des dispositifs de simulation de tâches partielles, utilisant l'informatique, sont manifestement nécessaires.
- *Erreurs dans le poste de pilotage.* L'étude n'a pas apporté d'éléments qui auraient permis d'établir si une plus ou moins grande automatisation engendrait davantage d'erreurs de l'équipage. Les écarts d'altitude, aspect qui suscite de grandes préoccupations, sont en général plus souvent liés à l'erreur humaine qu'à une défaillance du matériel.
- *Coordination de l'équipage.* Par comparaison avec les modèles classiques, il est matériellement difficile pour un pilote de voir et de comprendre ce que fait l'autre pilote. La délimitation de «qui fait quoi» est moins nette que dans le poste de pilotage classique; en effet, les membres de l'équipage ont tendance à «s'entraider» pour les tâches de programmation lorsque la charge de travail augmente. Le cockpit moderne semble aussi donner lieu à une redistribution de l'autorité, non délibérée, du commandant de bord au copilote.

- *Charge de travail.* L'étude ne démontre pas qu'il puisse être nettement affirmé que l'automatisation entraîne une réduction générale de la charge de travail, surtout pendant les phases du vol où celle-ci est élevée et où il serait le plus nécessaire de la réduire. Par contre, il apparaît nettement que certains automatismes dont on a doté les avions dans l'espoir de réduire la charge de travail sont perçus par les pilotes comme augmentant cette charge. La conclusion, c'est que la génération actuelle d'avions de technologie avancée n'a pas concrétisé son potentiel de réduction de la charge de travail, et cela à la fois pour des raisons inhérentes à la conception du matériel et des logiciels et pour d'autres raisons.
- *Contrôle de la circulation aérienne.* Le système ATC actuel ne permet pas de mettre pleinement à profit les possibilités de guidage des vols des avions automatisés. Il semble que les avions et les systèmes ATC au sol soient conçus, mis au point et construits comme s'il s'agissait de systèmes indépendants, sans relations entre eux.

8. Dans sa conclusion, l'étude propose les recommandations suivantes:

- Il faudrait poursuivre les recherches sur les interfaces entre les hommes et les automatismes.
- Il faudrait que des études soient menées à titre prioritaire sur la façon de rendre le système ATC plus réceptif aux possibilités des avions modernes, avant la mise en place d'une nouvelle génération de systèmes ATC.
- Il faudrait que les services de formation réexaminent leurs programmes, leurs plans de cours, leur matériel de formation et les documents de soutien, pour s'assurer que les changements qu'exigent les nouveaux avions ont bien été pris en compte.
- Il faudrait que les exploitants d'avions modernes pilotés à deux réexaminent leurs procédures, listes de vérification, plans de vol, bulletins de renseignements météorologiques, bordereaux de carburant et manuels, ainsi que les exigences imposées aux équipages de conduite, en vue de déterminer les possibilités de réduire la charge de travail et les erreurs de nature opérationnelle en fournissant des documents de soutien optimaux et en éliminant les procédures inutiles.
- Il faudrait mener des recherches sur la gestion des ressources en équipe dans les postes de pilotage modernes, laquelle pourrait être différente de ce qu'elle était dans les postes de pilotage classiques.
- Il faudrait que les autorités réexaminent les procédures de certification avec l'objectif d'évaluer soigneusement les aspects ergonomiques des

nouveaux modèles. Il faudrait examiner l'aspect facteurs humains autrement que dans de simples estimations de charge de travail, en employant des techniques de prévision de l'erreur.

- Il faudrait que des organismes encouragent des recherches sur des systèmes tolérants à l'erreur et sur d'autres méthodes faisant appel à l'intelligence artificielle pour éviter, bloquer ou rendre plus apparentes les erreurs de l'équipage de conduite.
- Il faudrait que les constructeurs et les utilisateurs normalisent la terminologie et les désignations des aides de navigation aérienne, partout dans le CDU, les cartes et les plans de vol établis par ordinateur.
- D'une manière générale, il faudrait que les postes de pilotage soient conçus à l'avenir de manière à offrir une automatisation axée sur l'humain, plutôt qu'induite par la technologie.

ENQUÊTE DE LA LUFTHANSA SUR LES SYSTÈMES UTILISÉS DANS LE POSTE DE PILOTAGE: A310

9. Cet exploitant utilise des enquêtes auprès de ses équipages de conduite pour obtenir des renseignements à jour et des retours d'information, dont il se sert pour établir des spécifications relatives aux postes de pilotage. L'outil choisi est un questionnaire anonyme en deux volets. Le premier volet porte sur l'agencement du poste de pilotage, les qualités générales de manoeuvrabilité et les systèmes de bord, ainsi que sur les interfaces entre l'équipage et les systèmes électroniques (ECAM, EFIS, AFS et FMS). Le deuxième volet (interfaces électroniques) est subdivisé en quatre grands sujets, d'après un modèle standard d'interface homme-machine:

- *Interface matérielle (atteindre et voir)* — Emplacement, accès et maniement de la commande, emplacement, lisibilité, couleur et éclairage de la visualisation, etc.
- *Dialogue à l'interface ou considérations opérationnelles (comprendre)* — facilité de compréhension des règles d'utilisation, règles applicables aux visualisations, sécurité; ampleur et type d'entraînement nécessaire.
- *Outils d'interface (utiliser)* — utilité générale, adéquation et importance des caractéristiques.
- *Aspects organisationnels (adapter à l'environnement d'exploitation)* — facteurs tels que la fiabilité, la logistique, les contraintes ATC, etc.

10. Ces quatre grands thèmes ont été examinés en ce qui concerne l'écran de surveillance électronique centralisée (ECAM), le système d'instruments de bord électroniques (EFIS), le système de pilotage en mode automatique (AFS) et

le système de gestion de vol (FMS). Les conclusions de l’enquête ont été les suivantes:

- Dans l’ensemble, les pilotes interrogés apprécient l’automatisation.
 - Le pilotage avec les automatismes doit être aussi bon ou meilleur que le pilotage manuel.
 - Des problèmes surviennent parfois avec les automatismes: il est impératif de maintenir le pilote «dans la boucle» pour toute fonction automatisée.
 - Le FMS et l’ECAM sont tous deux appréciés, mais leur conception n’est pas encore optimale. À l’origine, la promotion et les essais du FMS ont été l’affaire d’un relativement petit groupe de pilotes. Il faudrait que ce développement soit poursuivi sur la base de l’expérience d’un large ensemble (international) de compagnies aériennes.
 - Il faut que les systèmes de gestion de vol avancés comportent une meilleure interface avec l’équipage, aient des performances de calcul plus puissantes et soient mieux en phase avec l’environnement ATC.
-

Appendice 2 au Chapitre 3

PRINCIPES D'AUTOMATISATION ÉNONCÉS

PAR WIENER ET CURRY (1980)

TÂCHES DE COMMANDE

1. Le fonctionnement des systèmes devrait être facile à interpréter ou à comprendre par l'opérateur, ce qui facilitera la détection de toute utilisation erronée et le diagnostic de toute anomalie.
2. Il faut que le système automatique soit conçu pour exécuter la tâche comme l'utilisateur le désire (compte tenu des autres contraintes, telles que la sécurité); il peut être nécessaire pour cela que l'utilisateur détermine certains paramètres tels que les gains du système (voir le principe n° 5). Beaucoup d'utilisateurs de systèmes automatiques trouvent que ceux-ci n'exécutent pas la fonction de la façon que souhaite l'opérateur. Les pilotes automatiques par exemple, surtout les anciens modèles, causent trop de «battement des ailes» pour le confort des passagers lorsqu'ils suivent des stations de navigation au sol, de sorte que beaucoup de pilotes de ligne ne les utilisent pas, même lorsqu'ils effectuent des vols sans escale ou transcontinentaux.
3. Il faut concevoir les automatismes de façon à éviter que la charge de tâches à exécuter atteigne des niveaux de pointe excessifs (ce qui peut varier d'un opérateur à un autre). La surveillance des systèmes est une activité de l'opérateur humain qui n'est pas seulement légitime mais nécessaire; cependant, elle vient généralement en deuxième priorité par rapport à d'autres tâches, imposées par les événements. En maintenant à des niveaux raisonnables les tâches à exécuter, on laisse du temps pour la surveillance.
4. Dans la plupart des systèmes complexes, il est très difficile pour l'ordinateur de percevoir le moment où les exigences d'exécution de tâches deviennent trop lourdes pour l'opérateur. Il faut donc que l'opérateur soit entraîné à utiliser les automatismes comme moyens supplémentaires (c'est-à-dire comme aides) et qu'il soit motivé pour le faire.
5. Les désirs et les besoins en matière d'automatisation varient selon les opérateurs, et ils varient dans le temps chez un même opérateur. Tenir compte si possible des différents «styles» des opérateurs (quant au choix de l'automatisation).
6. Veiller à ce que la performance générale des systèmes soit insensible aux différents choix, ou styles, des opérateurs. Le pilote pourrait décider, par exemple, soit que le pilote automatique suive des caps choisis par lui (le pilote), soit qu'il suive des stations de navigation basées au sol.

7. Prévoir un moyen de vérifier le réglage et l'introduction des données dans les systèmes automatiques. Il y a eu de nombreux cas de dysfonctionnement de systèmes automatiques dus à des erreurs de réglage et non à des défaillances du matériel, et il y en aura encore. Le système automatique lui-même peut vérifier partiellement le réglage, mais il faudrait prévoir, au besoin, des procédures ou des dispositifs indépendants pour la détection des erreurs.

8. Donner une formation poussée aux opérateurs qui travaillent avec les systèmes automatiques, non seulement pour assurer une utilisation et un réglage appropriés, mais aussi pour leur apporter des connaissances sur le bon fonctionnement (pour la détection des anomalies) et sur les procédures à suivre en cas d'anomalie (pour diagnostic et traitement).

TÂCHES DE SURVEILLANCE

9. Il faudrait former, motiver et évaluer les opérateurs pour la réalisation d'une surveillance efficace.
10. Si l'automatisation réduit à de bas niveaux les exigences d'accomplissement de tâches, donner aux opérateurs des activités qui aient du sens, afin de les maintenir en éveil et de les aider à résister aux distractions. Bien d'autres ont recommandé d'ajouter des tâches, mais il est extrêmement important que toute activité supplémentaire ait du sens (qu'elle ne soit pas destinée seulement à faire travailler l'opérateur) et qu'elle soit orientée vers la tâche première elle-même.
11. Maintenir dans des limites acceptables les taux de fausses alarmes (avoir conscience des effets que des taux excessifs peuvent avoir sur le comportement).
12. Si l'alarme comporte plusieurs modes ou si différentes situations peuvent déclencher l'alarme pour un certain mode, il faut que la situation qui déclenche l'alarme soit clairement identifiée.
13. Si le délai de réaction n'est pas d'une importance critique, la plupart des opérateurs chercheront à vérifier la validité de l'alarme. Fournir les informations sous une forme telle que ce contrôle de validité puisse être effectué rapidement et ne devienne pas une source de distraction. Fournir aussi à l'opérateur des renseignements et des éléments de contrôle lui permettant de poser un diagnostic sur le fonctionnement du système automatique et du système avertisseur. Dans certains cas, il s'agira de contrôles rapides et faciles de capteurs et

d'indicateurs (comme pour les ampoules électriques, que l'on vérifie en appuyant sur l'interrupteur); pour de grands systèmes, des tests logiques peuvent aussi être nécessaires.

14. La forme de l'alarme devrait indiquer le degré d'urgence. Il peut être bon d'avoir plusieurs degrés d'urgence pour une même situation.

15. Concevoir des techniques d'entraînement et éventuellement du matériel d'entraînement (notamment des simulateurs de tâche partielle et de tâche complète) qui permettront d'exposer les navigants techniques à toutes les formes et à de nombreux cas possibles d'alarme, afin qu'ils comprennent comment y réagir.

Appendice 3 au Chapitre 3

PHILOSOPHIE DE L'AUTOMATISATION, DELTA AIR LINES (1990)

Dans le présent énoncé, le terme «automatisation» signifie le remplacement d'une fonction humaine, manuelle ou cognitive, par une fonction automatique. Cette définition s'applique à tous les niveaux d'automatisation dans tous les avions qu'exploite notre compagnie. Le rôle de l'automatisation est d'aider le pilote à faire son travail.

Le pilote est l'élément le plus complexe, le plus capable et le plus souple du système de transport aérien, et c'est donc lui qui est le mieux en mesure de déterminer s'il utilisera dans une situation donnée les moyens qu'il a le choix d'utiliser.

Les pilotes doivent assurer avec compétence le pilotage de leur avion à tous les niveaux d'utilisation des automatismes. Ils doivent être rodés à sélectionner le degré d'automatisation qui convient et posséder les habiletés nécessaires pour passer d'un niveau d'automatisation à un autre.

L'automatisation devrait être employée au niveau le plus approprié pour exercer une influence positive sur la réalisation des objectifs prioritaires — sécurité, confort des passagers, relations avec le public, respect des horaires et économie — énoncés dans le Manuel de politique générale des opérations aériennes de la compagnie.

Afin d'atteindre ces objectifs prioritaires, tous les programmes de formation de Delta Air Lines, ses dispositifs d'entraînement, procédures, listes de vérification, acquisitions d'avions et de matériel, manuels, programmes de contrôle de la qualité, programmes de normalisation, documents de soutien et toute l'exploitation quotidienne des avions de Delta seront en accord avec le présent énoncé de philosophie de la compagnie en matière d'automatisation.

CHAPITRE 4

INSTRUCTION SUR LES FACTEURS HUMAINS POUR LES ENQUÊTEURS DE LA SÉCURITÉ AÉRIENNE

4.1 INTRODUCTION

4.1.1 Sachant que des facteurs humains jouent un rôle dans la plupart des accidents et incidents d'aviation, nous devons, pour renforcer la sécurité aérienne, améliorer notre aptitude à identifier ce rôle. Nous pourrions ainsi tirer les leçons de cette expérience et appliquer des mesures nouvelles et améliorées pour prévenir la répétition de tels événements. Nous ne pouvons empêcher que les êtres humains commettent des erreurs, mais nous pouvons réduire la fréquence et limiter les conséquences de ces erreurs. C'est un des objectifs fondamentaux du programme de prévention des accidents de l'OACI.

4.1.2 Le présent chapitre apporte des informations sur la base desquelles pourront être élaborés des programmes d'instruction sur les facteurs humains à l'intention des enquêteurs sur les accidents. Son propos s'articule comme suit:

- indiquer ce que devrait être le contenu essentiel de l'instruction sur les facteurs humains pour les enquêteurs;
- fournir aux enquêteurs, aux services d'enquête, aux administrations de l'aviation civile, aux directions des compagnies aériennes, ainsi qu'aux divers personnels de l'aviation, de l'information sur la nécessité et le but des investigations techniques relatives aux facteurs humains;
- décrire une méthodologie à suivre pour enquêter sur les facteurs humains qui interviennent dans les accidents et incidents;
- indiquer la manière de rendre compte de l'information recueillie.

4.1.3 Ce chapitre constitue un complément au *Manuel d'investigations techniques sur les accidents d'aviation* de l'OACI (Doc 6920). (D'autres informations applicables à la formation des enquêteurs figurent dans la 1^{re} Partie du présent manuel, Chapitres 1 et 2.) La philosophie qui y est exposée devrait être bien comprise lorsqu'il s'agit d'appliquer les directives pratiques que donnent les manuels sur les enquêtes et sur la prévention. Des questions médicales interviennent dans les facteurs humains, mais le présent chapitre aborde essentiellement les aspects autres que médicaux.

4.1.4 Portant principalement sur les événements qui ont abouti à un accident, ce chapitre ne traite pas de ce qui suit l'accident, comme les questions de recherche et sauvetage ou de survie. Il ne contient pas d'indications sur la manière de procéder aux autopsies, aux examens toxicologiques ou à l'analyse de la nature des blessures. Ces domaines spécialisés sont traités dans le *Manuel d'investigations techniques sur les accidents d'aviation* et dans le *Manuel de médecine aéronautique civile* (Doc 8984). Néanmoins, on s'attend de l'enquêteur qu'il ait une bonne connaissance des aspects physiologiques et psychologiques de la performance humaine.

4.1.5 En publiant les normes et pratiques recommandées internationales de l'Annexe 13 à la Convention de Chicago et les éléments indicatifs connexes, l'OACI a fourni une assistance aux États membres dans le domaine des enquêtes et de la prévention des accidents. L'objectivité demeure toujours un élément essentiel en la matière, que des améliorations dans les investigations sur les facteurs humains des accidents et incidents accroîtront de manière significative.

4.1.6 Le présent chapitre:

- traite de la nécessité et du but des investigations techniques sur les facteurs humains; il mentionne certains des obstacles rencontrés, traite de la nature de l'erreur humaine et des accidents et fournit un modèle d'approche systémique qui permet de déterminer l'ampleur à donner à l'enquête dans ce domaine;
- traite de la conduite des investigations sur les facteurs humains, dont il examine l'organisation et la gestion, donne des précisions sur qui devrait mener l'enquête, quelles informations recueillir et où les trouver, et indique comment analyser ces informations;
- traite de la manière de rendre compte des accidents ou incidents, en insistant sur le traitement de l'information concernant les facteurs humains, sur l'identification des risques et sur la mise en oeuvre de mesures de sécurité destinées à éviter que de tels événements se reproduisent;
- donne des exemples de listes de vérification pour les facteurs humains (voir l'Appendice 1);
- donne des conseils sur les techniques d'interview des témoins (voir l'Appendice 2);

- présente une liste type de facteurs explicatifs — ajout proposé au Manuel ADREP (voir l'Appendice 3);
- donne une liste de bases de données existantes sur les accidents et incidents (voir l'Appendice 4).

4.2 NÉCESSITÉ ET OBJET DES INVESTIGATIONS TECHNIQUES SUR LES FACTEURS HUMAINS

Généralités

4.2.1 Comme en témoignent des dossiers d'enquêtes remontant jusqu'aux années 1940, les questions de facteurs humains entrent en jeu dans la majorité des accidents et incidents d'aviation. Indépendamment du pourcentage exact, les spécialistes des gouvernements et de l'industrie aéronautique s'entendent en ce qui concerne l'importance des facteurs humains comme élément primordial parmi les causes d'accidents et d'incidents. Malgré ce constat et la reconnaissance du fait que «l'erreur est humaine», les progrès dans l'adoption d'une approche uniforme pour enquêter sur les facteurs humains dans les événements aéronautiques ont été lents. En l'absence d'indices techniques tangibles pour expliquer la cause d'un événement, les enquêteurs et leurs supérieurs ont parfois trouvé difficile de s'attacher aux questions de facteurs humains. Le résultat regrettable, George B. Parker, professeur agrégé de sécurité à l'Université de la Californie du Sud, l'a décrit comme la «Loi de l'exception», à savoir: *Si nous avons tout exclu à l'exception du pilote, la cause doit être le facteur pilote.*

4.2.2 Généralement, les rapports d'enquête sur les accidents précisent clairement **ce** qui s'est produit et **quand**, mais dans trop de cas ils n'expliquent pas complètement **comment** et **pourquoi** cela s'est produit. Les tentatives d'identifier, d'analyser et de comprendre les problèmes sous-jacents ayant entraîné les pannes de performance humaine, et par conséquent les accidents, sont parfois incohérentes. Déclarer qu'un pilote n'a pas respecté les règles implique que ces règles sont bien fondées, qu'elles sont sûres et qu'elles sont appropriées. C'est ainsi que les rapports d'enquête limitent souvent leurs conclusions à des expressions du genre «erreur de pilotage», «n'a pas vu et évité», «mauvaise utilisation des commandes», «infraction aux procédures d'utilisation normalisées». Cette focalisation étroite n'est que l'un des nombreux obstacles à des investigations efficaces sur les facteurs humains.

4.2.3 D'autres obstacles courants sont décrits ci-après, avec des suggestions sur la manière de les surmonter.

Obstacles et solutions

Obstacle: La nécessité d'enquêter sur les questions de facteurs humains n'a pas été admise facilement. On entend des commentaires tels que: «le domaine des facteurs humains est

trop *flow*»; «on ne peut pas changer la nature humaine» ou encore «il est trop difficile de prouver de façon concluante que ces facteurs ont contribué à l'accident».

Solution: Davantage d'éducation, décrivant comment la recherche expérimentale a pu éliminer de nombreux éléments spéculatifs dans le domaine des facteurs humains, en s'appuyant sur des documents scientifiques. Par exemple, la recherche a démontré empiriquement les avantages d'une communication efficace dans le poste de pilotage, ce qui s'est traduit directement par la création de cours sur la gestion des ressources dans le poste de pilotage et la prise de décision chez les pilotes.

Obstacle: Le peu d'empressement à enquêter sur les facteurs humains peut provenir de ce qu'on ne comprend pas bien ce qu'englobe ce terme. Malheureusement, certains enquêteurs s'estiment mal équipés dans ce domaine, n'étant ni médecins ni psychologues. Or, le domaine des facteurs humains va bien au-delà de la physiologie et de la psychologie; ironiquement, la plupart des enquêteurs ont sans le savoir une large connaissance du sujet, qu'ils appliquent instinctivement.

Solution: Une meilleure formation des enquêteurs en matière de facteurs humains développera chez eux une compréhension approfondie de ce qu'implique l'enquête dans ce domaine.

Obstacle: Il arrive que les enquêteurs traitent maladroitement des questions relatives à la performance des membres d'équipage, des contrôleurs aériens, du personnel de maintenance et d'autres intervenants. Ceci peut se produire si l'enquêteur n'a pas su établir une atmosphère d'objectivité et de confiance et si les personnes dont l'efficacité est mise en cause se sentent menacées ou ressentent de l'antagonisme vis-à-vis de l'enquêteur. Dans le pire des cas, il peut y avoir, de la part des membres d'équipage ou d'autres parties intéressées, rétention de précieuses informations et refus de collaboration à l'enquête.

Solution: L'enquêteur doit s'assurer que les intéressés comprennent bien l'objectif de l'enquête (éviter que se produisent d'autres événements similaires) et les moyens par lesquels il cherche à atteindre cet objectif. S'il y a des risques de malentendu, cette information devrait être discutée en toute franchise dès le début de l'enquête.

Obstacle: Souvent, les témoins (aux fins du présent chapitre, collègues, superviseurs, dirigeants ou conjoints) sont tout naturellement réticents à parler ouvertement du défunt. En outre, l'enquêteur hésitera parfois à poser des questions qu'un parent, un ami ou un collègue pourrait interpréter comme défavorables.

Solution: Il faut que les entrevues soient bien préparées. En comparant les renseignements qui en sont tirés aux informations recueillies par d'autres moyens au cours de l'enquête, on arrivera à une explication plus complète.

Obstacle: Il est difficile de concilier la protection de la vie privée avec la nécessité de découvrir les facteurs ayant contribué à un accident et d'en rendre compte. D'une part les

renseignements tirés de l'enregistreur de données de vol, des enregistrements du contrôle de la circulation aérienne (ATC) et des dépositions des témoins peuvent être essentiels pour déterminer comment et pourquoi l'accident s'est produit. D'autre part ces mêmes sources contiennent souvent des renseignements personnels sensibles concernant les intéressés, qui souhaiteraient naturellement que ces informations soient protégées.

Solution: Les organismes d'enquête sur les accidents devraient assurer une certaine protection à ces sources d'information (voir Annexe 13, Chapitre 5). En fonction des lois des États, il pourra être nécessaire de légiférer à ce sujet. Les organismes d'enquête doivent faire preuve de discernement et publier seulement l'information essentielle à la compréhension et susceptible de promouvoir la prévention.

Obstacle: La philosophie adoptée par la direction de l'organisme d'enquête est très importante. Les enquêteurs auront de la difficulté à mener des investigations complètes et systématiques si les dirigeants de l'organisme pour lequel ils travaillent ne sont pas convaincus de l'importance d'enquêter sur les facteurs humains dans les accidents et incidents. Sans l'appui de ces dirigeants, nul doute que cet aspect continuera d'être négligé.

Solution: La connaissance des facteurs humains et une bonne compréhension de la façon de l'appliquer dans les investigations offrent à l'organisme d'enquête de meilleures chances de mettre en évidence des causes profondes ayant pu passer inaperçues auparavant. En outre, cela offre aux administrations nationales un moyen constructif d'aborder des questions controversées en matière de performance humaine. Les enquêteurs et leurs supérieurs peuvent promouvoir les investigations sur les facteurs humains en se tenant au courant de la littérature existante, en assistant à des cours et à des séminaires sur les facteurs humains, et en appliquant des principes tels que ceux qu'expose le présent manuel.

Obstacle: Dans de nombreux États, l'organisme responsable de la réglementation est également chargé des enquêtes sur les accidents et incidents; il risque d'être mis dans une situation de conflit d'intérêt s'il n'y a pas d'organisme d'enquête indépendant. En effet, l'organisme de réglementation pourrait être peu disposé à enquêter sur des points en rapport avec son propre rôle. Une telle situation serait de nature à amener le public à regarder avec scepticisme les conclusions des enquêteurs.

Solution: Certains États ont mis sur pied un organisme d'enquête indépendant ayant pour seule mission de déterminer les causes d'accidents et de faire des recommandations en matière de sécurité, pour éviter que les faits se reproduisent. Un tel organisme est libre de formuler sans entrave des conclusions et des recommandations.

Obstacle: L'empressement des médias et des parties en litige à trouver quelqu'un à blâmer, pour servir leurs propres objectifs, peut se traduire par des conclusions prématurées. Il arrive par exemple que le pilote serve de bouc émissaire parce qu'il s'agit de rassurer le public en trouvant un responsable.

Solution: Les enquêteurs doivent sans relâche promouvoir le principe selon lequel c'est seulement après une enquête systématique et complète que toutes les causes peuvent être déterminées.

Obstacle: La détermination des conclusions et des causes par l'organisme d'enquête risque de comporter par inadvertance l'imputation d'un blâme, d'une faute ou d'une responsabilité, ce qui est susceptible de réduire le potentiel de prévention de futurs accidents et incidents. La manière dont les États diffusent leurs constats constitue donc un élément crucial du processus de prévention.

Solution: Les rapports d'enquête sur des accidents qui sont axés sur l'identification des problèmes fondamentaux plutôt que sur l'imputation d'un blâme contribuent beaucoup plus à la prévention. Néanmoins, tout en s'efforçant d'éviter d'imputer une faute ou une responsabilité, les rapports ne devraient pas s'abstenir de rendre compte des causes de façon complète et objective, pour la simple raison qu'une erreur ou une responsabilité pourrait en être déduite.

Obstacle: On manque, d'une manière générale, d'éléments indicatifs internationalement reconnus dans ce domaine.

Solution: Grâce à la publication du présent manuel et de la série des études de l'OACI sur les facteurs humains, les obstacles les plus importants seront levés. En mettant en pratique l'approche décrite dans le présent chapitre, les enquêteurs et leurs supérieurs devraient se sentir plus assurés dans la conduite de ces enquêtes.

4.2.4 Malgré ces obstacles, les attitudes changent. Les spécialistes des gouvernements et du monde de l'aviation soulignent l'intérêt de l'enquête sur les facteurs humains qui interviennent dans les accidents et incidents d'aviation, dans le but général de promouvoir la prévention des accidents et d'améliorer la sécurité. L'OACI voit dans ce changement d'accent une mesure positive de la part des États pour améliorer les procédures et techniques d'enquête et renforcer la prévention.

Nature des accidents et incidents

4.2.5 L'étude des facteurs humains dans les accidents et incidents d'aviation devrait faire partie intégrante de l'enquête globale et du rapport subséquent. Les humains n'agissent pas isolément; ils ne sont qu'un élément d'un système complexe. Il arrive souvent que l'humain constitue la dernière barrière qui empêche une série d'événements de causer un accident. Cependant, lorsque les événements sont entrés en interaction pour causer une catastrophe, l'organisme d'enquête doit s'assurer que tous les éléments du système complexe font l'objet d'investigations s'il veut arriver à comprendre pourquoi l'accident s'est produit. Une recherche systématique du «pourquoi» ne visera pas à épingleur une cause unique, ni à imputer un blâme ou une responsabilité, ni même à excuser l'erreur humaine. Cette recherche aide à identifier les

déficiences sous-jacentes qui sont susceptibles de causer de nombreux autres incidents, voire un autre accident.

4.2.6 La définition formelle d'un accident est utile à la détermination des critères à appliquer pour signaler l'événement à l'organisme d'enquête et établir la nécessité d'une enquête, dont l'ampleur sera régie par le mandat statutaire de l'organisme d'enquête. Il est possible que celui-ci ne soit pas habilité à enquêter en profondeur sur un événement.

Définitions d'un accident et d'un incident

4.2.7 L'Annexe 13, Chapitre 1^{er}, de l'OACI définit ainsi un accident:

«Événement lié à l'utilisation d'un aéronef, qui se produit entre le moment où une personne monte à bord avec l'intention d'effectuer un vol et le moment où toutes les personnes qui sont montées dans cette intention sont descendues, et au cours duquel ... une personne est mortellement ou grièvement blessée ..., l'aéronef subit des dommages ou une rupture structurelle ..., l'aéronef a disparu ou est totalement inaccessible.»

Un incident (il en sera question plus loin) est ainsi défini:

«Événement, autre qu'un accident, lié à l'utilisation d'un aéronef, qui compromet ou pourrait compromettre la sécurité de l'exploitation.»

Approche systémique de l'enquête sur les facteurs humains

4.2.8 Après avoir décidé d'enquêter, l'organisme d'enquête doit considérer l'événement dans son ensemble s'il veut atteindre l'objectif de ses investigations. L'enquêteur qui adopte une approche systémique pourra mieux identifier les causes sous-jacentes dans le système complexe de transport aérien. En outre, il sera mieux en mesure de comprendre comment les divers éléments du système se sont conjugués pour aboutir à l'accident, et d'indiquer ainsi la voie de mesures correctives. Il existe de nombreuses méthodes différentes pour aider les enquêteurs à identifier les éléments qui entrent en jeu et à analyser les informations recueillies. L'une d'elles, proposée par James Reason¹, est présentée dans les paragraphes qui suivent. Elle traite de la causalité des accidents et est illustrée par les Figures 4-1 et 4-2.

4.2.9 James Reason considère le monde aéronautique comme un système productif complexe. Les **décideurs** (haute direction, dirigeants de la compagnie ou organisme de réglementation) constituent un des éléments fondamentaux de ce système, étant responsables de fixer des objectifs et de gérer les ressources disponibles de manière à atteindre et équilibrer deux objectifs distincts: l'objectif de sécurité et celui de transport ponctuel et rentable de passagers et/ou de fret. Le deuxième élément, c'est les **cadres** qui mettent en oeuvre les décisions de la haute direction. Pour que les décisions de la

direction et les mesures prises par les cadres aboutissent à une activité plus efficace et productive du personnel d'exploitation, il faut que certaines **conditions préalables** soient réunies. Il faut par exemple que le matériel nécessaire soit disponible et qu'il soit fiable, que le personnel soit qualifié, bien informé et motivé, et que les conditions de travail soient sûres. Élément final, les **moyens de défense** ou mesures de protection, auront généralement été mis en place pour prévenir les problèmes prévisibles pouvant entraîner des lésions corporelles, des dommages ou de coûteuses interruptions du service.

4.2.10 La Figure 4.2 illustre le modèle de Reason qui montre comment les humains contribuent à perturber ces systèmes complexes, interactifs et bien protégés, ce qui produit un accident. En aviation, l'expression «bien protégé» fait référence à des règles strictes, à des normes rigoureuses et à la mise en place de matériel de surveillance perfectionné. Du fait des progrès technologiques et de défenses excellentes, rares sont les accidents occasionnés exclusivement par des erreurs du personnel d'exploitation (intervenants directs) ou par des pannes majeures d'équipement. Ils résultent plutôt des interactions d'une série de défaillances ou de vices déjà présents dans le système. Beaucoup de ces défaillances ne sont pas immédiatement visibles et entraînent des conséquences à retardement.

4.2.11 Les défaillances peuvent être de deux types, selon le caractère plus ou moins immédiat de leurs conséquences. Une **défaillance active** est une erreur ou une infraction qui entraîne des effets néfastes immédiats. Elle est généralement imputable à l'intervenant direct. Un exemple est celui du pilote qui actionne le levier de commande du train d'atterrissage au lieu de la manette becs et volets. Une **défaillance latente** résulte d'une décision ou d'une mesure prise longtemps avant que l'accident survienne et dont les conséquences peuvent prendre beaucoup de temps à se manifester. Elle se produit généralement au niveau des décideurs, de l'organisme de réglementation ou de l'encadrement, c'est-à-dire au niveau de personnes éloignées de l'événement dans le temps et dans l'espace. Il peut s'agir, par exemple, d'une décision de fusion de deux compagnies qui n'est pas assortie de formation pour uniformiser les procédures d'exploitation. Elle peut aussi être introduite à n'importe quel niveau du système par l'état de l'être humain — manque de motivation ou fatigue, par exemple.

4.2.12 Les défaillances latentes, issues de décisions contestables ou de mesures inappropriées, même si elles ne sont pas dangereuses isolément, peuvent se conjuguer pour créer une «fenêtre d'opportunité» dans laquelle un pilote, un contrôleur aérien ou un mécanicien provoquera une défaillance active qui rompt tous les moyens de défense du système et aboutit à un accident. Les intervenants directs «héritent» des lacunes du système. Ce sont eux qui font face à une situation dans laquelle les problèmes techniques, les conditions adverses ou leurs propres actions révéleront les défaillances latentes présentes dans le système. Dans un système bien protégé, défaillances latentes et défaillances actives se conjugueront, mais il sera rare qu'elles rompent les défenses. Quand celles-ci sont efficaces, il ne se produit qu'un incident; si elles ne le sont pas, un accident survient.

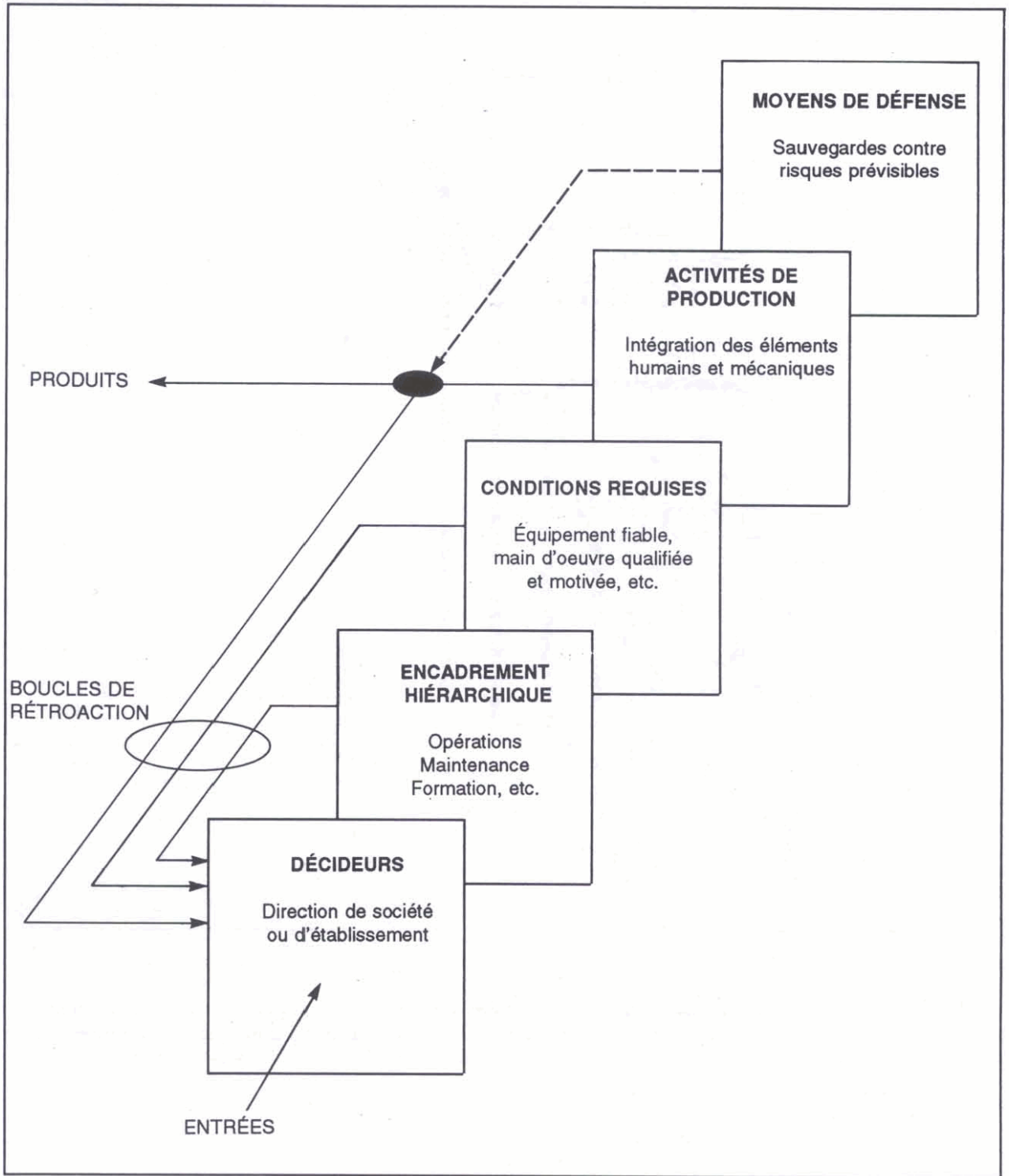


Figure 4-1. Les composants essentiels de tout système de production
(Source: James Reason. *Human Error*, 1990. Royaume-Uni: Cambridge University Press)

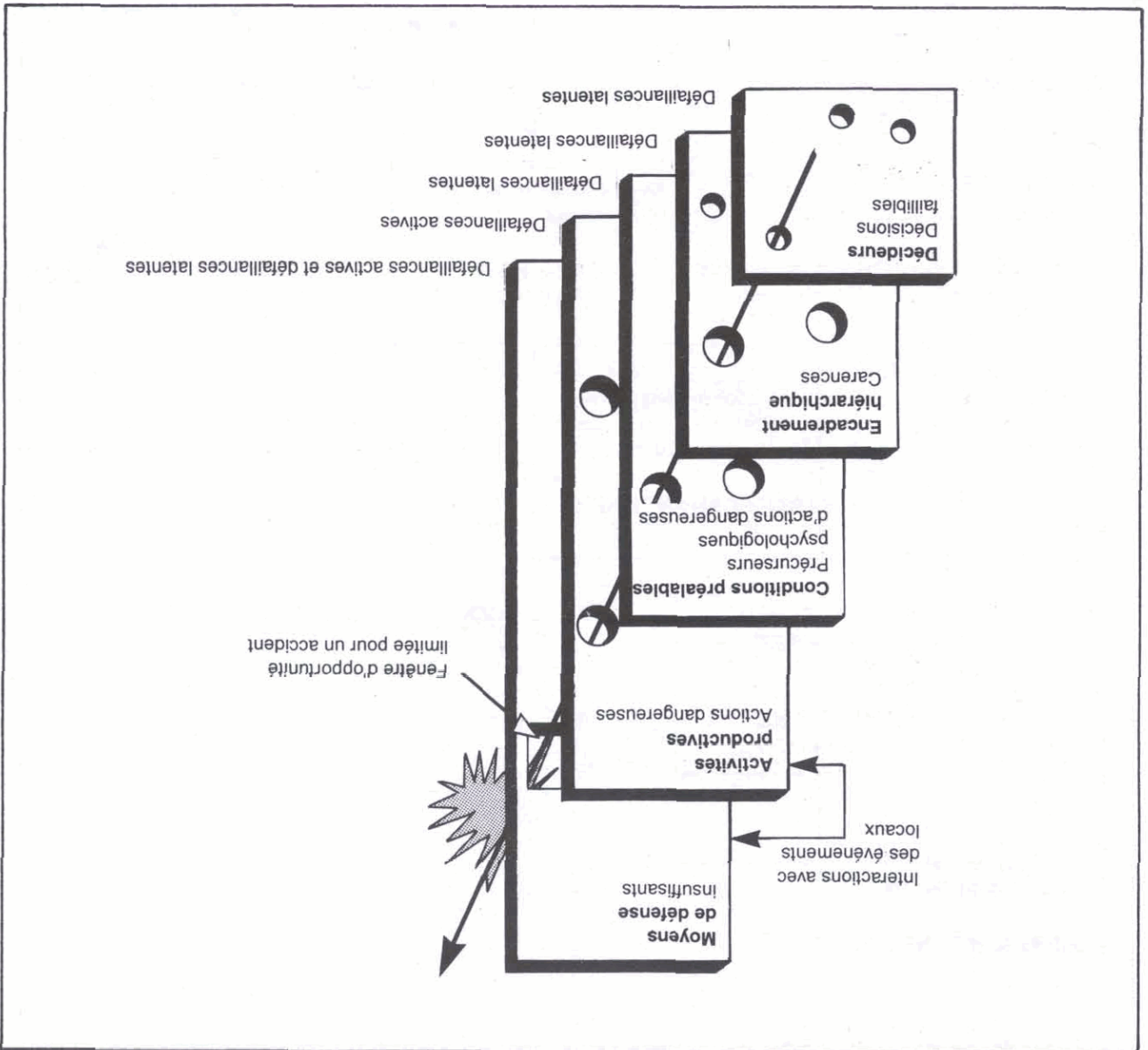


Figure 4-2. Version modifiée du modèle de James Reason d'enchaînement causal menant à un accident. Cette figure montre les diverses contributions humaines à la perturbation d'un système complexe. (Source: James Reason, *Human Error*, 1990. Royaume-Uni: Cambridge University Press)

Scénario d’un accident

4.2.13 Appliquons les principes fondamentaux du modèle de Reason à un scénario d’accident complexe, pour faire mieux comprendre comment les hommes contribuent à une rupture du système aéronautique. Le scénario fictif suivant, inspiré d’événements réels, illustre tous les éléments du système.

- *Tard dans la soirée d’un vendredi d’été, en atterrissant à l’aéroport de Toutedville sur une piste couverte de flaques d’eau, un biréacteur de transport avec quatre membres d’équipage et 65 passagers à bord dépasse l’extrémité ouest de la piste. Il s’immobilise dans la boue à peu de distance de l’extrémité de piste. Personne à bord n’est blessé et l’appareil n’a apparemment subi aucun dommage. Toutefois, un incendie se déclare et détruit finalement l’avion.*
- *Toutedville est un lieu de villégiature estival renommé. En été, il est typique que des stratus bas et du brouillard apparaissent en matinée et se transforment graduellement en nuages de convection à mesure que l’air s’échauffe. De violents orages se produisent fréquemment, du début d’après-midi jusqu’en fin de soirée. Toute la région de Toutedville est connue pour être située en «pays orageux» pendant l’été.*
- *La piste de Toutedville a une longueur de 4 520 pieds. Elle est relativement large, avec une pente descendante accentuée vers l’ouest. Elle est dotée d’un radiophare non directionnel (NDB) peu puissant et de portée limitée, qui n’est pas fiable en présence de convection. Les feux de piste sont de faible intensité, et il n’y a pas de feux d’approche ni d’aides d’approche à vue. Les approches de nuit se déroulent dans des conditions classiques de «trou noir».*
- *L’avion est parti de la base principale de la compagnie aérienne, située à 400 km de distance. C’était l’avant-dernier vol de l’équipage ce jour-là. Les membres d’équipage, qui s’étaient présentés au travail à 11 h 30, devaient être remplacés à 22 heures. L’équipage avait eu un horaire de vol différent au cours des trois semaines précédentes. C’était le début d’un nouvel horaire de quatre jours sur une route différente. Les conditions météorologiques de cet après-midi étaient habituelles pour l’été, car il y avait des orages dans toute la région. En début d’après-midi, il y avait eu de l’orage sur Toutedville. Aucune prévision météorologique n’était disponible, et le commandant avait décidé de retarder le départ.*
- *L’horaire de vol était très serré, et la décision de retarder le vol avait créé plusieurs autres retards pour les vols suivants. L’agent technique d’exploitation préposé au vol n’a pas appelé l’attention de*

l’équipage sur la contamination de la piste de Toutedville et n’a pas discuté avec lui les limites des performances d’atterrissage. Après une longue attente, le commandant a décidé d’ajouter du carburant de réserve et de partir.

- *Les conditions à Toutedville étaient propices au vol à vue, même s’il y avait des orages et de la bruine persistante au voisinage de l’aéroport. Aucun autre trafic n’étant annoncé, l’équipage a été autorisé à effectuer une approche à vue de nuit. Après le toucher des roues, l’appareil s’est mis à hydroplaner et a dépassé l’extrémité de piste à une vitesse légèrement supérieure à la vitesse de circulation au sol.*
- *Le commandant était un pilote chevronné, qui pilotait pour la compagnie depuis plusieurs années et avait accumulé plusieurs milliers d’heures de vol comme copilote sur deux autres types de gros avions à réaction. Toutefois, il n’avait qu’une expérience limitée sur le type d’avion qu’il pilotait la nuit de l’accident. Il ne s’était jamais posé à Toutedville auparavant parce que les gros avions qu’il pilotait ne s’y rendaient pas. C’était son premier mois de travail en qualité de commandant de bord. C’était un homme bien équilibré, sans extrêmes de comportement personnel ou professionnel.*
- *Au moment de l’accident, le copilote avait fort peu d’expérience. Il avait été embauché récemment par la compagnie aérienne et ne pilotait sur cette ligne que depuis environ un mois. Il s’était déjà rendu deux fois à Toutedville avec un autre commandant, mais seulement de jour. D’après ses dossiers de formation, sa performance avait été normale pendant sa familiarisation avec l’exploitation de la compagnie aérienne.*

4.2.14 Initialement, l’enquête a été centrée sur ce qui s’était réellement passé à Toutedville. On a appris qu’il avait plu abondamment sur l’aéroport et que la piste était envahie de flaques d’eau. Les données des enregistreurs de vol ont révélé que le commandant avait effectué son approche à trop grande vitesse: l’avion avait atterri en douceur mais bien au-delà de la zone de toucher des roues, et avait dépassé l’extrémité de piste en hydroplanage. Il a été établi en outre que le commandant n’avait pas consulté les graphiques de performances dans le manuel de vol de l’avion pour obtenir la distance correcte d’atterrissage sur piste mouillée. Le copilote n’avait pas fait les annonces verbales réglementaires pendant l’approche.

4.2.15 Ces actions de l’équipage de conduite qui ont compromis la sécurité pouvaient en elles-mêmes expliquer le dépassement et orienter l’enquête vers une conclusion d’erreur de l’équipage comme cause de l’accident. Or, en étendant l’enquête aux procédures et pratiques d’exploitation de la compagnie et en cherchant d’autres facteurs qui avaient pu influencer la performance des membres d’équipage, on aurait été en mesure d’identifier d’autres défaillances actives ou

latentes qui existaient pendant le vol. L'enquête ne devait donc pas s'arrêter au point où l'équipage commettait des erreurs.

4.2.16 En poursuivant l'enquête pour déterminer si d'autres actes avaient compromis la sécurité, on aurait appris que non seulement l'agent technique d'exploitation n'avait pas avisé le commandant des problèmes possibles à l'aéroport (comme l'exigeait la procédure de la compagnie), mais aussi que l'agent de la compagnie à Touthville n'avait pas indiqué à l'agent technique d'exploitation, au siège, qu'il avait plu abondamment à l'aéroport. L'inspection de la piste a révélé une construction médiocre, un revêtement en mauvais état et l'absence de drainage. On s'est aperçu également que l'entretien et l'inspection du NDB n'avaient pas respecté les procédures établies. Au cours du dernier mois, d'autres équipages avaient signalé à plusieurs reprises que l'aide au sol donnait des indications erronées pendant les approches aux instruments. Aucune mesure n'avait été prise pour remédier au problème.

4.2.17 En ayant ces faits à l'esprit et en se reportant au modèle de Reason, on peut voir que des actions d'autres intervenants directs ont compromis la sécurité et qu'elles ont influencé la performance des navigants et l'issue du vol. Ces actions peuvent être classées parmi les défaillances actives et sont liées aussi à la performance de l'encadrement et des décideurs.

4.2.18 L'étape suivante de l'enquête devait viser à établir s'il existait des conditions préalables défavorables dans lesquelles l'équipage devait fonctionner. On peut en dresser la liste comme suit: 1) approche de non-précision, la nuit, vers un aéroport non familier; 2) piste mal éclairée, courte, large et fortement en pente; 3) revêtement de piste et drainage laissant à désirer; 4) absence d'information fiable sur le fonctionnement du NDB; 5) absence de renseignements fiables sur le vent; 6) horaire de vol prévoyant seulement une escale de 15 minutes à Touthville; 7) arrivée retardée de deux heures, compromettant l'emploi du temps de l'équipage; 8) avion sans inverseurs de poussée; 9) équipage de conduite insuffisamment formé, inexpérimenté sur type et non familiarisé avec l'aéroport; 10) services de sauvetage et de lutte contre l'incendie inadéquats.

4.2.19 Dans le modèle de Reason, ces conditions préalables sont classées comme défaillances latentes, dont plusieurs peuvent rester un certain temps en dormance après un accident, et qui résultent de l'action, ou de l'absence d'action de cadres et de décideurs. Par exemple, jumeler deux pilotes inexpérimentés sur type et laisser le commandant se rendre dans un aéroport qu'il ne connaissait pas, selon une procédure d'approche de non-précision, sont des décisions risquées de l'encadrement. En outre, l'absence de suivi à propos des anomalies signalées du NDB et le manque d'inspections adéquates de l'aéroport dénotent soit un manque de conscience des incidences en matière de sécurité, soit la tolérance de risques de la part de l'encadrement mis en place par les décideurs et de la part de l'organisme de réglementation. L'enquête a révélé que les pilotes n'avaient pas reçu d'instruction portant sur l'utilisation de graphiques de perfor-

mances pour pistes mouillées, et n'avaient jamais pratiqué les techniques permettant d'éviter l'hydroplanage. Ces carences peuvent être attribuées au fait que la haute direction et l'encadrement hiérarchique avaient omis de prévoir la formation nécessaire.

4.2.20 À l'origine de cet accident se trouvaient également d'autres «décisions faillibles» de la haute direction de la compagnie et de l'organisme de réglementation. La haute direction a décidé d'exploiter un service de vols réguliers sur un aéroport dont les installations étaient notoirement déficientes (mauvais éclairage, aides d'approche peu efficaces, service météorologique inadéquat). Plus grave encore, elle avait choisi d'exploiter ces vols sans qu'existent à l'aéroport des services de sauvetage et de lutte contre l'incendie du niveau requis. En outre, les gestionnaires avaient choisi d'exploiter ce type d'avion sur cette liaison en fonction de considérations de marketing et de coûts, même si l'exploitation tous temps n'était pas réalisable à Touthville. À ce problème s'ajoute la décision de l'organisme de réglementation d'homologuer l'aéroport pour le transport aérien régulier malgré ses sérieuses carences en matière de sécurité.

4.2.21 Sur la Figure 4-3, les défaillances tant actives que latentes identifiées dans cet accident sont représentées à l'aide du modèle de Reason. Ce modèle met en évidence leur nature interactive et montre comment elles ont pu déjouer les moyens de défense sur lesquels on aurait dû pouvoir compter dans un tel contexte d'organisation et d'exploitation. La figure souligne également l'importance d'identifier les défaillances latentes, qui ont rapport avec la prévention des accidents.

4.2.22 En résumé, cette approche de l'enquête portant sur les facteurs humains encourage l'enquêteur à chercher au-delà des actes dangereux d'intervenants directs pour rechercher les risques déjà présents dans le système et susceptibles de contribuer à des accidents futurs. Une telle approche a des incidences directes au niveau des activités de prévention des exploitants et des organismes de réglementation, qui doivent identifier les défaillances latentes et les éliminer ou les contrôler.

Enquête sur les incidents

4.2.23 À l'origine de la plupart des accidents, comme celui de Touthville, il y a des actes de personnes raisonnables et rationnelles cherchant à accomplir, d'une façon qu'ils croyaient être responsable et professionnelle, une tâche qui leur était assignée². Ces personnes, et d'autres, avaient sans doute posé auparavant les mêmes actes dangereux *sans* que ceux-ci aient des conséquences négatives, parce que les conditions qui existaient alors n'étaient pas propices à l'interaction de décisions hasardeuses ou de lacunes présentes dans le système. Dans des circonstances différentes, la situation qui existait à Touthville aurait pu avoir pour conséquence un incident plutôt qu'un accident.

4.2.24 Chaque jour se produisent de nombreux incidents qui ne doivent pas nécessairement faire l'objet d'un rapport de

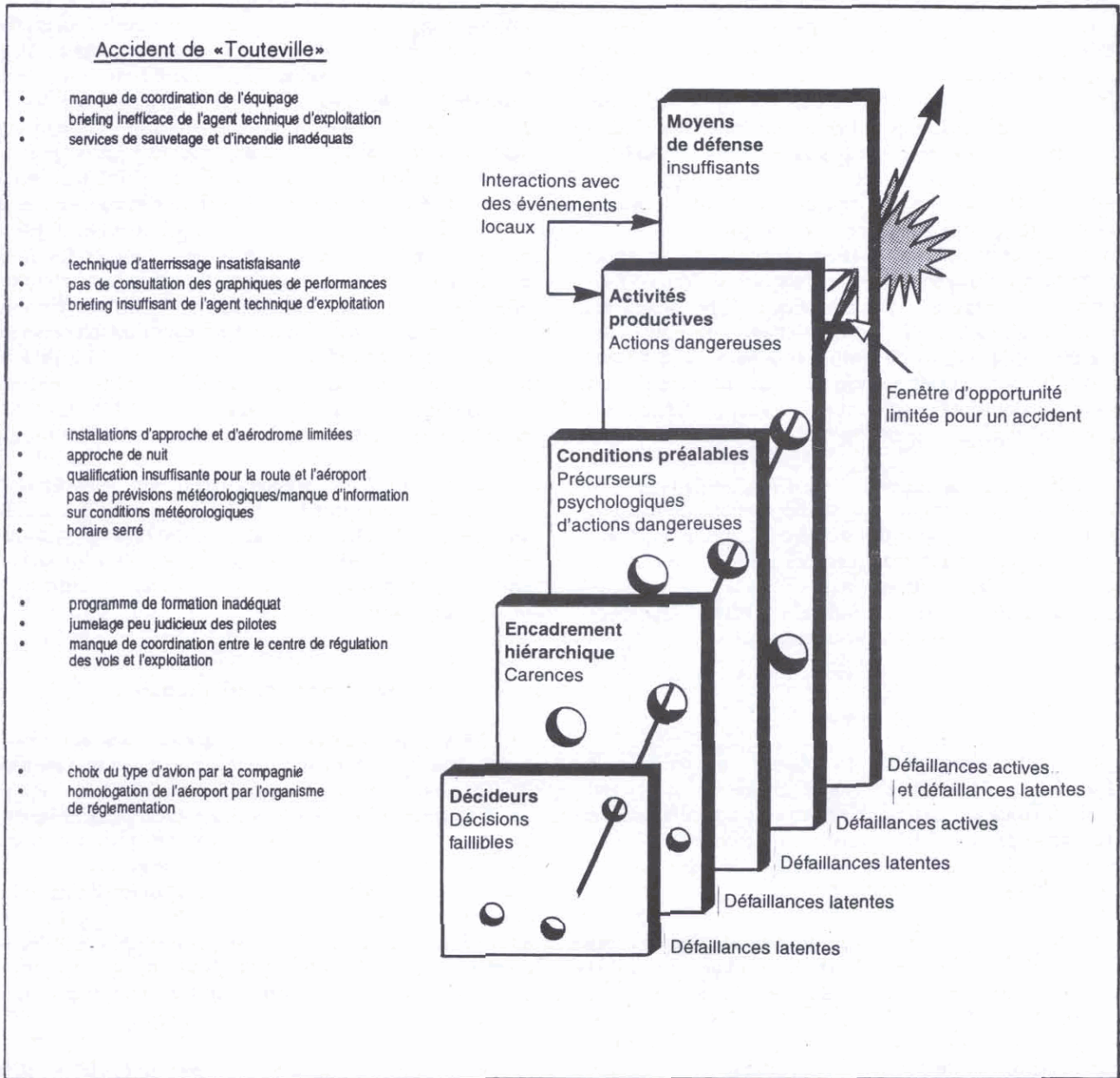


Figure 4-3. Comment l’accident de «Touteville» répond au modèle d’enchaînement causal d’un accident proposé par James Reason

l'organisme d'enquête; certains sont à la limite de l'accident. Puisqu'il n'y a pas de blessés ou guère de dommages, ces incidents ne font d'ailleurs pas toujours l'objet d'une enquête. Or, il faut souligner la nécessité d'investigations de l'organisme d'enquête ou de l'exploitant, sachant que l'enquête sur un incident peut souvent produire de meilleurs résultats pour la prévention que l'enquête sur un accident.

4.2.25 Un incident comporte en général des blessures, dommages et responsabilités de peu d'ampleur et il lui est accordé moins de publicité. Il en résulte que davantage d'information est disponible et que l'enquête se déroule dans une atmosphère plus détendue. Enquêteurs et spécialistes des facteurs humains auront de meilleures chances d'identifier les problèmes fondamentaux de performance humaine qui interviennent. Il y aura plus de chances de déterminer pourquoi les incidents surviennent et comment les moyens de défense mis en place les empêchent de devenir des accidents.

4.2.26 La connaissance des incidents, qu'ils fassent ou non l'objet d'investigations approfondies, apporte de précieux éléments pour la prévention des accidents. Cette constatation a conduit à la mise en place de plusieurs systèmes de comptes rendus confidentiels sur les manquements à la sécurité. L'information ainsi obtenue constitue une source importante de données sur les facteurs humains en aviation.

Conclusions

4.2.27 Un accident ou un incident n'est pas uniquement le résultat d'une action d'une personne. Le potentiel d'accident est créé lorsque les actions humaines et les défaillances latentes présentes dans une organisation ou dans le système de transport aérien se conjuguent de manière à rompre tous les moyens de défense.

4.2.28 Les investigations techniques sur les facteurs humains visent à identifier les actions qui conduisent à la rupture des défenses et aboutissent à des accidents. À cet effet, il faut déterminer les défaillances latentes connexes qui sont présentes à tous les niveaux de l'organisation (y compris la haute direction) et du système aéronautique dont elle fait partie. Il va sans dire qu'il importe également de déterminer comment les actes dangereux auraient pu être évités. Nous ne pouvons empêcher l'homme de commettre des erreurs, mais nous pouvons réduire la fréquence de ces erreurs et limiter leurs conséquences. C'est l'essence même de la prévention et la raison de l'importance des enquêtes et des comptes rendus sur les incidents.

4.3 CONDUITE DE L'ENQUÊTE

Généralités

4.3.1 Les investigations sur les facteurs humains font partie intégrante de l'enquête sur un accident ou un incident. La collecte et l'analyse des renseignements relatifs aux

facteurs humains devraient être aussi méthodiques et complètes que lorsqu'il s'agit des renseignements concernant l'aéronef, ses systèmes ou tout autre domaine classique d'enquête. L'ampleur et la portée de l'enquête en ce qui concerne les facteurs humains dépendront des circonstances de l'événement. Elle pourra être confiée à un seul enquêteur également chargé des autres aspects, ou à un ou plusieurs enquêteurs chargés uniquement des investigations sur les facteurs humains. Que l'enquête soit limitée ou étendue, bon nombre des éléments d'orientation que contient le présent chapitre s'appliquent dans les deux cas. Le succès des investigations sur les facteurs humains dépend de la manière dont elles sont intégrées et coordonnées avec les autres éléments de l'enquête. Il exige en outre que les moyens disponibles soient gérés d'une façon efficace et efficiente, selon les principes fondamentaux de gestion. L'enquête doit être perçue comme un processus qui exige des enquêteurs bien formés et disciplinés, appliquant des compétences d'une façon systématique.

4.3.2 La présente section contient des lignes directrices à suivre pour intégrer les investigations sur les facteurs humains dans l'enquête générale. Elle examine la question de savoir s'il convient de les confier à un enquêteur unique ou à une équipe et indique quels renseignements recueillir, où les trouver et comment les analyser.

Qui devrait mener l'enquête?

4.3.3 Les enquêtes sur la plupart des accidents et incidents sont menées par des enquêteurs ayant une formation de généralistes. Depuis des années, ces généralistes enquêtent sur des aspects très techniques et complexes des événements survenus, y compris ceux qui ont trait aux facteurs humains. Au besoin, des spécialistes sont consultés pour fournir de l'aide et des conseils particuliers, mais dans l'ensemble la collecte et l'analyse des données sont effectuées par les enquêteurs généralistes. L'OACI ne voit pas de raison pour laquelle ce principe ne continuerait pas d'être appliqué à l'enquête portant sur les facteurs humains dans les accidents et incidents d'aviation.

4.3.4 Vu la complexité croissante de l'aviation, il faut que les enquêteurs connaissent bien les principes de l'étude des facteurs humains et soient compétents dans l'application de ces principes et de techniques rationnelles de collecte et d'analyse des données. Inutile qu'ils soient médecins, psychologues, sociologues ou ergonomes. Les qualités essentielles d'un bon enquêteur sur les facteurs humains sont celles de tout bon enquêteur. Comme l'indique le *Manuel d'investigations techniques sur les accidents d'aviation* (Doc 6920) de l'OACI, l'investigateur doit posséder de bonnes connaissances pratiques de l'aéronautique et des facteurs qui influent sur l'exploitation en général, ainsi que des compétences techniques, un naturel curieux, de l'intérêt pour ce genre de travail et des qualités de diligence, de patience, d'humilité, d'intégrité et de logique. Ce ne sont pas des qualifications professionnelles en psychologie du comportement qui font un bon enquêteur sur les facteurs humains, mais plutôt son aptitude à déterminer, au besoin avec l'aide de spécialistes,

quelles informations sont pertinentes, à poser les bonnes questions, à écouter les réponses et à analyser de façon logique et pratique l’information recueillie.

4.3.5 Afin de bien préparer les enquêteurs généralistes à mener des investigations sur les facteurs humains, il importe de leur donner la formation nécessaire. Celle-ci devrait inclure une orientation sur la nature interdisciplinaire de ce type d’enquête, les aspects fondamentaux à examiner, les données à recueillir, les sources de données, les méthodes de collecte, y compris les techniques d’entrevue, et les techniques d’analyse. La formation devrait comprendre aussi une orientation générale sur les types de spécialistes auxquels il peut être fait appel, où les trouver et quand il convient de recourir à eux. En ayant reçu ce type de formation, un enquêteur expérimenté sur les accidents devrait être en mesure d’enquêter sur tous les aspects des facteurs humains, hormis les plus spécialisés.

L’enquêteur unique

4.3.6 Lorsqu’il est seul à enquêter sur un accident ou un incident, il incombe à l’enquêteur d’établir ses priorités et de gérer son temps de manière à couvrir efficacement tous les aspects de l’enquête, y compris les facteurs humains.

4.3.7 Comme dans toute enquête, il est important que l’enquêteur prenne immédiatement des mesures pour préserver les indices, sur les lieux et ailleurs. S’il est seul, il est probable qu’il s’appuiera fortement sur d’autres autorités, telles que la police ou les responsables de l’aéroport. Il importe qu’il planifie bien son intervention, et le *Manuel d’investigations techniques sur les accidents d’aviation* fournit à ce propos des éléments d’orientation détaillés. Une fois prises ces mesures initiales, l’enquêteur pourra commencer à organiser l’enquête dans l’attente raisonnable que des informations susceptibles d’être d’une grande importance pour son issue, y compris dans le domaine des facteurs humains, seront disponibles pour examen et analyse. Au début, un niveau élevé de priorité sera attribué à la collecte des renseignements ou des indices qui risqueraient de disparaître ou d’être oubliés ou dérangés ou de ne plus être disponibles peu après l’accident.

4.3.8 L’enquêteur devra aussi planifier le travail qui reste à accomplir et établir des priorités. Des évaluations périodiques de l’avancement sont particulièrement importantes dans le cas d’un enquêteur unique, s’il veut utiliser efficacement ses ressources et son temps précieux.

L’enquêteur sur les facteurs humains

4.3.9 Lorsqu’un des enquêteurs d’une équipe est chargé de mener la partie facteurs humains de l’enquête, le travail d’organisation est moins complexe, mais les mêmes principes de base s’appliquent. Il devra travailler en étroite coopération et interaction avec les autres membres de l’équipe, car beaucoup d’informations et de données intéressantes à l’aspect facteurs humains de l’enquête seront recueillies par les enquêteurs travaillant dans d’autres domaines.

Le groupe des facteurs humains

4.3.10 Selon les circonstances de l’accident, il peut être préférable d’établir un groupe «facteurs humains» sous la direction de l’enquêteur en chef. Normalement, c’est à la suite d’un gros accident d’aviation particulièrement complexe qu’un tel groupe est mis en place au sein d’une importante équipe d’enquêteurs. Même si n’importe quel enquêteur de l’équipe peut avoir un rôle à jouer dans l’enquête relative aux facteurs humains, c’est au groupe des facteurs humains qu’il incombera de coordonner les investigations sur les éléments relatifs à la performance humaine, de veiller à ce que des données pertinentes et suffisantes soient recueillies, et de faire une synthèse significative des résultats.

4.3.11 La composition de ce groupe dépendra de la nature de l’événement. Étant donné que les individus dont la performance est examinée sont généralement des pilotes, des contrôleurs aériens, des techniciens d’entretien d’aéronef, des agents techniques d’exploitation et des gestionnaires de l’exploitation, des personnes ayant des qualifications similaires sont bien placées pour participer à cet examen. À mesure que l’enquête progresse, il peut être opportun de modifier la composition de ce groupe ou de combiner certains groupes de manière à assurer une expertise suffisante dans les domaines à l’examen.

4.3.12 Des renseignements recueillis par d’autres membres de l’équipe d’enquête (exploitation, contrôle de la circulation aérienne, structures, circuits, groupes motopropulseurs, enregistreurs de bord, performances de l’aéronef, etc.) seront également nécessaires pour reconstituer la succession des événements avant que les actions et la performance des intervenants directs en cause puissent être examinées à fond. Il faut que le groupe des facteurs humains puisse compter sur l’aide et l’expertise technique de ces autres groupes.

Quels renseignements recueillir?

4.3.13 D’une manière générale, les données à recueillir entrent dans deux grandes catégories: les renseignements qui permettront aux enquêteurs de reconstituer une chronologie détaillée de chaque événement significatif qu’on sait s’être produit avant, ou le cas échéant après, l’accident (cette chronologie devant mettre en évidence en particulier les comportements et les effets qu’ils ont pu avoir dans la séquence d’événements de l’accident), et ceux qui leur permettront de faire des déductions raisonnables au sujet des facteurs ayant pu influencer ou motiver un certain comportement facteur d’accident. Dans le modèle de Reason, ce sont les renseignements qui décrivent les «conditions préalables» dans lesquelles travaillaient les intervenants directs.

4.3.14 En outre, d’autres renseignements peuvent être nécessaires pour établir des statistiques ou pour d’autres motifs particuliers. Pour répondre à ces besoins, les enquêteurs devront suivre les lignes directrices nationales et celles de l’OACI (voir le *Manuel de compte rendu d’accident/incident* de l’OACI, Doc 9156).

4.3.15 Les enquêteurs doivent recueillir des renseignements portant sur les décisions, les actions et le comportement de **toutes** les personnes mêlées à l'événement — et pas seulement des intervenants directs. Il faut également qu'ils identifient les conditions dans lesquelles ces décisions, ces actions et ces comportements se sont situés. Il s'agit notamment de la structure de l'organisation et des politiques, procédures et pratiques qui régissaient les activités à ce moment-là. C'est par une telle approche qu'il est possible d'acquérir une connaissance complète de la façon dont a été créée la «fenêtre d'opportunité» pour l'accident ou l'incident.

Le modèle SHEL

4.3.16 En plus du modèle de Reason, le modèle conceptuel SHEL facilitera la collecte des données en permettant une approche systématique de l'identification des problèmes (voir sur la Figure 4-4 une description complète du modèle SHEL). L'élément central, l'humain, n'agit pas de façon isolée: il a des interactions avec chacun des autres éléments. Les bords de ce cube ne sont pas simples et rectilignes. Si l'on veut éviter des tensions dans le système, et à la longue une rupture (un accident), il faut que les autres cubes lui soient bien adaptés. L'enquête relative aux facteurs humains devra identifier les points où existaient des inadéquations entre les éléments, qui ont contribué à l'événement; les données recueillies au cours de l'enquête devraient donc être suffisantes pour permettre l'examen et l'analyse en profondeur de chacun des éléments du modèle SHEL.

4.3.17 La description des éléments et des interfaces qui est présentée ci-après aidera les enquêteurs à recueillir les données nécessaires pour une enquête approfondie concernant les facteurs humains. Les données pertinentes du scénario de Tuteville sont mentionnées là où il y a lieu.

L'être humain — l'individu

4.3.18 L'élément humain — l'individu — est au centre du modèle SHEL. Les données à recueillir en ce qui concerne cet élément central peuvent être divisées en quatre catégories de facteurs: physiques, physiologiques, psychologiques et psychosociaux.

Les **facteurs physiques** ont trait aux capacités et aux limites de la personne. Ceci comprend les attributs anthropométriques (caractères physiques de base), l'état général, la force physique, les capacités motrices et sensorielles (vue, ouïe...).

Tâche — Déterminer:

- si la personne était physiquement apte à exécuter la tâche qu'elle devait accomplir;
- si des facteurs gênants ou des limitations physiques ont affecté sa performance;

- comment ces limitations physiques ou sensorielles ont créé les difficultés ou les illusions qui ont nui à l'exécution de la tâche.

Tuteville — L'enquête n'a pas révélé de facteurs physiques qui auraient pu jouer un rôle en dégradant la performance du commandant, du copilote ou d'autres intervenants directs.

Les **facteurs physiologiques** incluent ce qui concerne la personne comme organisme complexe englobant un ensemble de systèmes: santé générale, nutrition, maladies, tabagisme, consommation d'alcool, de médicaments ou de drogues, niveaux de stress et de fatigue, considérations générales en rapport avec le mode de vie.

Tâche — Déterminer:

- si la personne était physiologiquement apte à exécuter la tâche qui lui était confiée;
- comment sa santé physique a pu influencer sa performance et son jugement;
- comment son aptitude à surmonter le stress, la fatigue ou la maladie a pu influencer sur ses actions, ses comportements et son jugement;
- si elle était affectée par un type quelconque de privation.

Tuteville — À part l'idée d'étudier le rôle qu'avaient pu jouer la fatigue et le stress, l'enquête n'a pas révélé la présence d'autres facteurs physiologiques de nature à affecter la performance des membres d'équipage ou d'autres intervenants.

Les **facteurs psychologiques** déterminent ce que les individus amènent à leur situation de travail comme résultat des connaissances et de l'expérience qu'ils ont acquises et de leurs capacités mentales. Cela fait intervenir la formation, les savoirs, l'expérience et l'aptitude à planifier; les perceptions, le traitement de l'information, la capacité d'attention et la perception de la charge de travail; la personnalité, l'état mental et émotionnel, les attitudes et l'humeur.

Tâche — En ce qui concerne la formation, les connaissances, l'expérience et l'aptitude à planifier, déterminer:

- si la formation, les connaissances et l'expérience de la personne étaient suffisantes, pertinentes et applicables à la situation;
- comment la nature et la récence de son expérience, de sa formation ou de ses connaissances ont influencé sa confiance en soi, son aptitude à mener à bien ses actions, ou sa perception de la charge de travail.

Tâche — En ce qui concerne les perceptions, le traitement de l'information, la capacité d'attention et la perception de la charge de travail, déterminer:

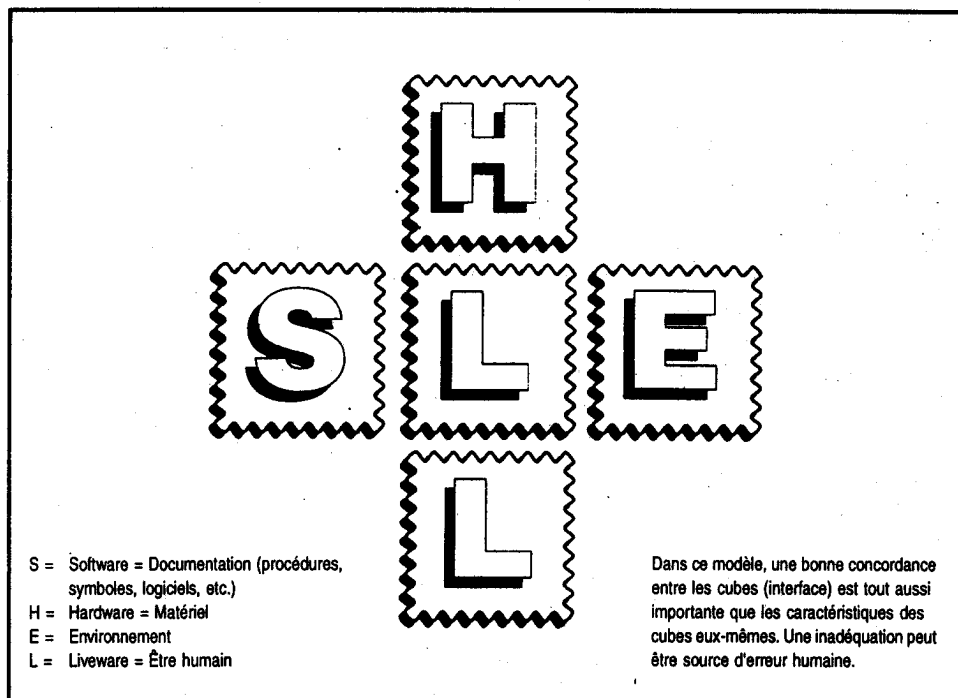


Figure 4-4. Le modèle SHEL (d'après Hawkins, 1975)

- s'il y a eu perception ou représentation mentale inexacte de la tâche à accomplir;
- si la personne souffrait de troubles ou de retards de la perception, ou d'illusions causées par son appareil visuel ou vestibulaire ou par les circonstances entourant le vol;
- si le niveau d'attention nécessaire ou le volume d'information à traiter dépassait ses limites personnelles;
- si l'aptitude de la personne à gérer les événements a pu biaiser son jugement ou modifier sa perception de la charge de travail.

Tâche — En ce qui concerne la personnalité, l'état mental et émotionnel, les attitudes et l'humeur, déterminer:

- si la personne était psychologiquement apte à exécuter la tâche dont elle était chargée;
- ce qu'indiquent les faits à propos de ses attitudes face à son travail, aux autres et à elle-même;
- comment ces attitudes ont influencé sa motivation, la qualité de son travail et son jugement;
- comment la personnalité et l'état mental ont pu influencer son approche de la situation;

- comment son aptitude à surmonter le stress et à réagir face à des urgences a influé sur le déroulement de l'événement.

Touteville — Tout indique qu'il faudrait examiner de près bon nombre d'aspects: formation et connaissances, perceptions, traitement de l'information, charge de travail et peut-être attitude. Même s'il a été précisé au début que le commandant était bien équilibré et qu'il n'affichait pas de comportements personnels ou professionnels extrêmes, il serait utile d'obtenir plus d'information sur son aptitude à assumer les responsabilités de haut niveau d'un commandant de bord. Le fait qu'il n'ait jamais volé avec d'autres copilotes rendrait cependant difficile une évaluation de sa performance de commandant. L'examen de certains de ces facteurs psychologiques s'appliquerait également au copilote, à l'agent technique d'exploitation et à l'agent de la compagnie à Touteville.

Les facteurs psychosociaux ont trait aux pressions que le milieu social (en dehors du milieu de travail) exerce sur une personne: événements et facteurs de stress (p. ex. mortalité dans la famille ou problèmes financiers), relations avec autrui (famille, amis, collègues).

Tâche — Déterminer:

- si des facteurs psychosociaux ont motivé ou influencé la façon d'aborder une situation ou l'aptitude à gérer le stress ou des événements imprévus, et si de tels facteurs ont contribué au niveau de fatigue ressenti.

Touteville — L'enquête n'a pas révélé d'indices indiquant que des facteurs psychosociaux auraient affecté négativement les actions de l'équipage de conduite. Toutefois, l'agent de la compagnie à Touteville était éloigné de sa famille depuis une longue période, ce qui avait affaibli sa motivation.

Interface Humain-Humain

4.3.19 Cette interface représente la relation qui existe entre la personne et toutes autres personnes en milieu de travail, y compris les relations entre le personnel et la direction, le climat dans la compagnie et les pressions exercées sur l'exploitation pouvant influencer profondément la performance humaine. Il faut donc recueillir des données sur les interactions humaines, la communication (verbale et non verbale), et les signaux visuels.

Tâche — Déterminer:

- si les interactions ou la communication avec d'autres personnes en milieu de travail ont influencé la performance, les attitudes, le niveau de stress ou la perception des exigences de la tâche et de la charge de travail;
- si la communication verbale et non verbale, ou le manque de communication, a influencé de manière inappropriée ou irréversible l'ordre dans lequel des actions ont été exécutées;
- si des signaux visuels ont remplacé, appuyé ou contredit l'information verbale;
- comment évaluer les interactions entre les membres d'équipage et leur compatibilité en termes de personnalités, de niveau d'expérience et d'habitudes de travail;
- comment les membres d'équipage coopéraient; comment ils ont utilisé les ressources qui étaient à leur disposition;
- si les politiques de la direction sur les questions intéressant le personnel ont influé sur les conditions de travail, l'expérience et le niveau de connaissances des employés;
- s'il existait des politiques et des normes; si elles étaient à jour et si elles étaient bien mises en oeuvre, acceptées, contrôlées et surveillées;
- comment le ratio cadres-employés a influé sur l'exploitation;
- quelle était l'influence syndicale sur les politiques, les travailleurs et la direction;
- quel type d'environnement d'exploitation était encouragé par la direction, et comment il a influé

sur le processus décisionnel des employés et leur choix des actions.

Touteville — Beaucoup d'indices incitent à explorer les interfaces Humain-Humain, à commencer par les interfaces entre l'équipage, le commandant et l'agent technique d'exploitation, ainsi qu'entre ce dernier et l'agent de la compagnie à Touteville. D'autres relations interpersonnelles à examiner font intervenir le personnel du service de formation, les pilotes inspecteurs de la compagnie et les cadres des services formation et exploitation.

Interface Humain-Matériel

4.3.20 Cette interface représente la relation qui existe entre l'humain et la machine. Les renseignements nécessaires concernent notamment la configuration du poste de pilotage ou du poste de travail, la conception des écrans et des commandes, ainsi que le design et la configuration des sièges.

Tâche — Déterminer:

- comment les interactions entre la personne et le matériel ont pu influencer ses possibilités de traitement de l'information;
- comment la conception ou l'agencement ont pu influencer le temps de réaction, l'ordre des actions, les habitudes, la charge de travail ou le sens de l'orientation.

Touteville — Certaines caractéristiques matérielles de l'avion ont pu contribuer à l'accident. Par exemple, il faut des mouvements anormaux pour solliciter les freins de secours. Pour déployer les déporteurs sol, il faut actionner des molettes sur la commande de poussée qui ressemblent à celles de la commande d'inversion de poussée. On sait en outre que cet avion risque davantage d'hydroplaner que les autres types d'avions que le commandant avait l'habitude de piloter, les pneus ayant une plus faible pression.

Interface Humain-Documentation

4.3.21 Cette interface représente la relation qui existe entre l'humain et les systèmes de soutien qu'il trouve en milieu de travail. L'enquêteur doit notamment recueillir des renseignements sur la réglementation, les manuels, les listes de vérification, les publications, les procédures d'utilisation normalisées et la conception des logiciels.

Tâche — Déterminer:

- si les manuels, listes de vérification, cartes et autres documents écrits étaient facilement disponibles, adéquats et utilisés;
- si la présentation, le contenu et le vocabulaire employé étaient cohérents d'un document à l'autre, si les documents étaient faciles à comprendre et à utiliser, logiques et appropriés;

- si l'information écrite ou informatisée pouvait induire des erreurs, influencer sur le temps de réaction ou être source de confusion;
- si des questions de compatibilité des écrans et des claviers ont pu créer de la confusion, augmenter le temps de réaction ou masquer des erreurs flagrantes;
- comment l'automatisation a pu influencer les actions et la charge de travail du personnel, ses conditions de travail, ses attitudes envers le travail et sa représentation mentale de la tâche.

Touteville — Les indices révèlent de nombreux problèmes possibles en ce qui concerne la pertinence du matériel d'instruction, les données à consultation rapide sur les performances d'atterrissage de l'avion sur piste contaminée, l'information fournie lors de l'instruction, les manuels et les listes de vérification destinées aux agents techniques d'exploitation et agents locaux.

Interface Humain-Environnement

4.3.22 Cette interface représente la relation qui existe entre l'homme et les environnements interne et externe. L'environnement interne est constitué par le lieu de travail: température, éclairage ambiant, bruit et qualité de l'air. L'environnement externe comprend le milieu physique à l'extérieur du lieu de travail immédiat, ainsi que les nombreuses contraintes politiques et économiques qui s'exercent sur le système aéronautique. Il faut donc recueillir des renseignements sur la météo, le relief, les installations, l'infrastructure et la situation économique.

Tâche — Déterminer:

- si des facteurs environnementaux ont pu inciter la personne à prendre des raccourcis, fausser ses décisions ou créer des illusions en affectant ses perceptions vestibulaires, visuelles ou auditives;
- si la météo, le service de régulation des vols, le hangar, la porte d'embarquement ou l'infrastructure de l'aérodrome ont entraîné des retards, incitant à prendre des raccourcis et réduisant les marges de sécurité et le choix des actions possibles;
- si des pressions économiques ou imposées par la réglementation ont faussé les décisions.

Touteville — Tout indique que l'environnement externe dans lequel se trouvait l'équipage a pu contribuer à créer les illusions visuelles pendant l'approche aux instruments. Les conditions météo ont poussé le commandant à retarder le vol et ont réduit les performances de freinage de l'avion. Il y avait des flaques d'eau du fait des caractéristiques et de l'état de la piste. Il y a eu des problèmes au niveau du service de régulation des vols, et le

commandant s'est sans doute senti obligé de se poser à l'aéroport dès la première approche parce qu'il avait beaucoup retardé le vol. Ce dernier facteur devrait également être pris en considération parmi les facteurs physiologiques (stress potentiel).

Information suffisante

4.3.23 En enquêtant sur les facteurs humains, l'enquêteur se pose souvent la question: «Quand a-t-on recueilli assez de renseignements?». Combien de collègues, de parents et de superviseurs du pilote interroger? Jusqu'à quel moment faire remonter les recherches sur ses activités personnelles? Dans quelle mesure scruter ses relations interpersonnelles (notamment avec le conjoint)? À quel point le comportement antérieur cesse-t-il d'influer sur le comportement récent? Jusqu'à quel échelon de la direction pousser l'enquête?

4.3.24 La ligne de démarcation entre ce qui est pertinent ou non dans le cas des facteurs humains est souvent floue. Des données qui peuvent sembler initialement sans aucun lien avec l'événement pourraient se révéler extrêmement pertinentes après que des relations entre certains faits ou éléments auront été mises en évidence. L'enquêteur doit évidemment faire preuve de discernement pour déterminer la pertinence des informations recueillies pendant l'enquête.

4.3.25 On a souvent dit que les enquêteurs ne font que recueillir des faits au cours de leurs enquêtes et qu'ils ne passent pas à l'analyse avant que tous les faits, conditions et circonstances de l'accident aient été obtenus. Il peut sembler que c'est une manière objective d'aborder une enquête, mais elle n'est pas réaliste. «En fait, rien n'est plus préjudiciable à l'enquête sur les lieux que de prétendre pouvoir découvrir tous les faits pertinents sans une méthode sélective et analytique.»³ Bien que l'on n'ait pas adopté de méthode normalisée, les enquêteurs reconnaissent la nécessité d'une forme ou d'une autre de raisonnement suivi.

4.3.26 G.M. Bruggink décrit le processus de raisonnement analytique comme l'élaboration d'une théorie «visant à arriver, par raisonnement, à des explications possibles des faits connus ou soupçonnés d'un accident». Selon lui, c'est sur la base du processus de raisonnement que des voies d'investigation prometteuses seront tracées et intégrées, et le degré de confiance accordé à ces explications dépendra du poids des indices disponibles.⁴

4.3.27 Il est clair que l'enquête portant sur les facteurs humains ne peut et ne doit pas dépasser certaines limites. Poursuivre les investigations dans l'intérêt de la recherche pure n'est pas le but visé par l'enquête et risque de s'avérer contre-productif. Les enquêteurs ne devraient pas oublier que les faits, les analyses et les conclusions qu'ils établissent ne devront pas être présentés à un tribunal, car il ne s'agit pas ici d'enquête judiciaire mais de prévention des accidents. Il faut aussi tenir compte des ressources disponibles aux fins de l'enquête pour déterminer jusqu'à quel point l'information à recueillir devra

être approfondie et détaillée. Des ressources limitées peuvent signifier que l'effort sera centré sur les principaux intervenants mêlés à l'accident, et que moins de données pourront être recueillies sur les intervenants périphériques.

4.3.28 En déterminant le degré d'approfondissement et de détail des informations à obtenir, il ne faut pas oublier le but de l'enquête sur les facteurs humains: il s'agit d'expliquer comment l'enchaînement causal a commencé et pourquoi il n'a pas été interrompu avant l'événement — POURQUOI, et non qui est à blâmer. Si les données recueillies n'aident pas à atteindre ce but, elles ne sont pas pertinentes.

Emploi de listes de vérification

4.3.29 Les listes de vérification ne sont pas des protocoles rigoureux à suivre pas à pas, mais elles sont utiles dans l'organisation et la conduite des investigations sur les facteurs humains. Elles permettent de vérifier que l'enquête sur les questions pertinentes de facteurs humains soit complète et elles aident l'enquêteur à organiser la collecte des indices périssables et à établir les priorités. Toutefois, vu la diversité des cas, dont chacun est particulier, l'enquêteur devra faire preuve de souplesse en les utilisant.

4.3.30 De nombreuses listes de vérification ont été établies par différents organismes d'enquête. L'Appendice 1 en donne trois exemples. Le premier est destiné à aider les enquêteurs à centrer les investigations et les analyses sur les aspects les plus pertinents. Le deuxième décompose de façon plus détaillée l'information à recueillir, en se fondant sur le modèle SHELL. Le troisième est destiné à aider les enquêteurs à comprendre les questions de sélection, de formation et d'expérience du personnel ayant rapport avec l'événement qui fait l'objet de l'enquête.

Sources d'information

4.3.31 Les informations pertinentes concernant un accident ou incident d'aviation peuvent provenir de nombreuses sources. Les sources principales en ce qui a trait spécifiquement aux facteurs humains comprennent les indices que fournissent le matériel, les documents papier, les enregistrements de conversations et de données de vol, les entrevues, les observations directes d'activités du personnel aéronautique et les simulations. Les sources secondaires sont les bases de données sur les accidents/incidents d'aviation, la littérature de référence et les spécialistes des facteurs humains.

Sources principales

4.3.32 Les indices fournis par le matériel sont le plus souvent associés à l'aéronef, mais ils peuvent comprendre également d'autres postes de travail et équipements utilisés par le personnel aéronautique (contrôleurs aériens, personnel de maintenance et d'entretien). L'épave, un aéronef de configuration similaire, les données de l'avionneur, les dossiers et

registres de la compagnie, le matériel d'entretien, les installations et le matériel du contrôle de la circulation aérienne en sont des exemples.

4.3.33 La documentation sur papier intéresse toutes les interfaces du modèle SHELL. Elle comprend les dossiers personnels et les carnets de vol des membres d'équipage, leurs certificats et licences, les dossiers de la compagnie concernant ce personnel et sa formation, les manuels de pilotage, les manuels et procédures d'utilisation normalisées de la compagnie, les manuels et programmes de formation, les calendriers de formation et calendriers des vols de la compagnie, les dossiers de l'organisme de réglementation, les prévisions météorologiques, le matériel de briefing, les documents relatifs aux plans de vol, les dossiers médicaux, les résultats des examens médicaux et autopsies (voir le *Manuel de médecine aéronautique civile*, Doc 8984).

4.3.34 Les enregistrements des données de vol et les enregistrements radar de l'ATC sont de précieuses sources d'information pour déterminer le déroulement de l'événement et pour examiner les interfaces Humain-Humain et Humain-Matériel. Dans les compagnies qui ont un programme de suivi des enregistrements de bord, on peut trouver une mine d'information sur les procédures normalement appliquées par les équipages dans l'exploitation des vols. En plus des enregistreurs de données de vol classiques, les aéronefs de la nouvelle génération sont dotés d'enregistreurs de maintenance et de composants électroniques à mémoire non volatile qui sont aussi des sources possibles d'informations pertinentes. Les enregistrements audio (ATC et CVR) sont d'incalculables sources d'information pour l'examen des interfaces Humain-Humain et Humain-Matériel. En plus de conserver les communications du personnel, ces enregistrements peuvent fournir des indices sur l'état d'esprit d'une personne et son niveau de stress ou de fatigue. Il est donc essentiel de les faire écouter par des personnes qui connaissaient les intéressés, afin de confirmer l'identité des interlocuteurs (s'ils n'utilisent pas de microphones en service permanent) et de déceler toutes anomalies du débit ou du mode d'expression.

4.3.35 Les entrevues avec des personnes directement ou indirectement mêlées à l'événement constituent une importante source d'informations. Voici des exemples de personnes qu'il peut être nécessaire d'interviewer:

- survivants (membres de l'équipage de conduite et du personnel de cabine, passagers), parents, voisins, amis, collègues, contrôleurs aériens, témoins oculaires;
- manutentionnaires au sol, agents techniques d'exploitation, responsables du briefing météo, techniciens d'entretien, manutentionnaires de bagages, personnel de dégivrage;
- propriétaire de la compagnie, chef des opérations aériennes, chef pilote, chef instructeur, pilote vérificateur, superviseurs, anciens employeurs, formateurs;

- chef de la maintenance, techniciens de maintenance, techniciens spécialisés, organismes de réglementation;
- médecin de famille ou personnel, psychologue, médecin examinateur.

Les connaissances glanées lors de ces entrevues peuvent servir à confirmer, clarifier ou compléter les données obtenues d’autres sources. En l’absence de données mesurables, les entrevues deviennent l’unique source d’information. Il est donc nécessaire que les enquêteurs soient compétents dans les techniques d’entrevue. Des orientations sur ces techniques sont données à l’Appendice 2 au présent chapitre.

4.3.36 L’observation directe du personnel aéronautique en situation réelle de travail peut révéler des renseignements importants sur les facteurs humains. Les observations peuvent porter sur les activités d’exploitation des vols, de formation au pilotage, de maintenance et de contrôle de la circulation aérienne.

4.3.37 Les simulations permettent la reconstitution de l’accident/incident et facilitent la compréhension de la succession d’événements qui y a conduit, ainsi que le contexte dans lequel les intervenants directs ont perçu ce qui s’est passé. Les simulations par ordinateur à partir des données des enregistreurs de bord, des enregistrements du contrôle de la circulation aérienne et d’autres indices tangibles peuvent servir à reconstituer les faits. Souvent, des éléments utiles peuvent être apportés par une séance dans un simulateur de vol ou la reconstitution du vol à bord d’un aéronef similaire.

Sources secondaires

4.3.38 Les faits pertinents relatifs aux facteurs humains ne sont pas tous recueillis sur les lieux. Après l’enquête sur place, des renseignements supplémentaires concernant les facteurs humains peuvent être obtenus de plusieurs sources et faciliter l’analyse des renseignements factuels recueillis sur les lieux.

4.3.39 Les bases de données sur la sécurité aéronautique contenant des données d’accidents/incidents ou les systèmes de comptes rendus confidentiels et bases de données de certains avionneurs sont des sources utiles d’information directement liée à l’environnement d’exploitation. Exemples: ADREP (OACI), SIE/IATA, SECURITAS (Canada), ASRS (États-Unis), CAIR (Australie), CHIRP (Royaume-Uni).

4.3.40 Les enquêteurs devraient toutefois utiliser avec circonspection les informations des bases de données, en étant sûrs de connaître leur source et la population cible, ainsi que leurs limites. Ils devraient connaître la terminologie employée dans chacune des bases consultées, car il n’y a pas d’ensemble de mots clés communs à toutes les bases de données. Les critères de codage et de saisie varient d’une base à l’autre, ce qui peut influencer sur le sens des données trouvées. On trouvera dans l’Appendice 4 au présent chapitre plus de détails sur les bases de données et leur utilité dans l’enquête portant sur les facteurs humains.

4.3.41 Les ouvrages de référence de base en psychologie et en sociologie peuvent être de bonnes sources d’information sur la performance humaine en général, mais il est rare qu’ils traitent du comportement humain dans des conditions comparables à l’environnement de l’exploitation aérienne. Ces dernières années, des professionnels du domaine des facteurs humains ont produit de bons documents de référence traitant des questions relatives à l’aviation. Une liste d’ouvrages de référence pertinents figure à la fin du présent manuel. Certains organismes de recherche en aviation fournissent sur demande des services de documentation sur des sujets sélectionnés. D’autres références figurent dans la 1^{re} Partie, Chapitre 1^{er}, de ce manuel.

4.3.42 À tout moment au cours d’une enquête, les enquêteurs doivent être prêts à consulter des professionnels en dehors de leur domaine d’expertise. Ces spécialistes pourraient être (sans que cette liste soit limitative):

- médecins — pour analyser les incidences de tout facteur médical découvert chez les membres de l’équipage de conduite ou chez d’autres intervenants;
- psychologues — pour aider à analyser les incidences de facteurs environnementaux, opérationnels et situationnels sur la motivation et le comportement;
- sociologues — pour aider à évaluer les facteurs sociologiques qui influent sur les interactions et les performances;
- chercheurs et spécialistes dans le domaine du sommeil — pour évaluer la qualité des périodes de repos et l’incidence qu’ont sur l’efficacité un cycle travail-repos particulier ou des facteurs circadiens;
- ergonomes — pour évaluer l’effet du design et de l’agencement des lieux de travail sur les utilisateurs.

Analyse des données

4.3.43 Après avoir recueilli les informations pertinentes sur les facteurs humains entourant un événement, l’enquêteur doit relever le défi d’analyser les données. En général, les enquêteurs réussissent bien à analyser les données *mesurables* en ce qui a trait aux facteurs humains (force nécessaire pour déplacer le manche, luminance minimale pour qu’un écran soit lisible, conditions de température et de pression ambiantes, etc.). Malheureusement, de nombreux facteurs humains plus critiques ne se prêtent pas à des mesures simples et ne sont donc pas entièrement prévisibles. En conséquence, une partie de l’information sur les facteurs humains ne permet pas à l’enquêteur de tirer des conclusions incontestables.

4.3.44 La logique nécessaire pour analyser les phénomènes moins tangibles doit donc forcément être différente de celle utilisée pour d’autres domaines d’enquête. On a dit que les enquêteurs se sentent généralement à l’aise en recourant à une logique déductive qui aboutit à «des preuves concluantes

de ce qui s'est produit ...», parce que la conclusion va de soi.⁵ Cependant, si la validité des conclusions ne peut être vérifiée de façon concluante et s'ils doivent fonder leur analyse sur des probabilités et sur ce qui est vraisemblable, les enquêteurs deviennent réticents et fort prudents. La prudence peut être louable, mais il faut qu'ils adoptent des stratégies pour surmonter les réticences.

4.3.45 En analysant les informations relatives aux facteurs humains, les enquêteurs doivent tenir compte de plusieurs autres problèmes qui ont été identifiés:

- comment évaluer la pertinence de certains comportements ou de certains actes jugés anormaux ou inhabituels;
- comment soupeser les considérations concernant les informations sensibles ou touchant à la vie privée;
- comment éviter le raisonnement spéculatif.

4.3.46 Les méthodes déductives sont relativement faciles à présenter et mènent à des conclusions convaincantes. Par exemple, si un cisaillement du vent qui est mesuré entraîne une perte de performance de l'avion qui est calculée, il est possible de conclure que le cisaillement du vent a dépassé les performances limites de l'aéronef. Dans un autre exemple, il est possible de conclure que le moteur est tombé en panne parce qu'une aube de turbine s'est rompue, parce que la fatigue du métal n'a pas été décelée à l'inspection ou parce que la procédure d'inspection était inadéquate.

4.3.47 De telles relations directes de cause à effet ne peuvent pas être facilement établies dans les questions de facteurs humains, telles que le relâchement de la vigilance induit par le sentiment de sécurité, la fatigue ou la distraction. Aux fins du présent exposé, ces aspects seront appelés «facteurs non tangibles» de la performance humaine, par opposition à des facteurs humains mesurables tels que l'ouïe, la vue, les crises cardiaques, l'affaiblissement des facultés par les médicaments ou l'alcool, etc.

4.3.48 Par exemple, si une enquête révèle qu'un pilote a commis une erreur qui a abouti à un accident et si l'on a mis en évidence des conditions entraînant la fatigue ou une conversation qui a été cause de distraction ou des signes de baisse de vigilance, il ne s'ensuit pas nécessairement que l'erreur est attribuable à ces conditions. Un certain degré de spéculation interviendra inévitablement pour tirer des conclusions, qui ne vaudront que ce que valent le raisonnement utilisé par l'enquêteur et les indices disponibles.

4.3.49 Parce qu'il repose sur des probabilités et des vraisemblances, le raisonnement inductif est moins précis que le raisonnement déductif. (Dans ce contexte, le terme «probabilité» n'est pas employé avec une idée de précision, comme dans les probabilités mathématiques, mais au sens où quiconque pourrait qualifier une conclusion de certaine, probable, possible ou indéterminée.) Dans le cas du raisonnement inductif, les inférences sont fondées sur les

explications les plus probables ou les plus vraisemblables des événements comportementaux. Une conclusion à laquelle on parvient par un raisonnement inductif ne pourra être vérifiée de manière incontestable. Selon le poids des preuves sur lesquelles elles s'appuient, les conclusions inductives risquent d'être contestées. Il faut donc qu'elles soient fondées sur une méthode de raisonnement conséquente et reconnue.

4.3.50 Pour faire en sorte que toutes les possibilités raisonnables puissent être prises en compte, tout en ramenant la tâche de l'enquêteur à un niveau acceptable, un État (*Australian Bureau of Air Safety Investigation*) a appliqué avec succès le raisonnement pas-à-pas exposé ci-après pour traiter des indices moins tangibles concernant les facteurs humains. Dans les paragraphes qui suivent, l'expression «connaissance empirique» désigne les constatations expérimentales généralement admises dans le monde de la recherche sur les facteurs humains. Au départ, on présume que l'enquêteur possède de bonnes connaissances de base en la matière et que tous les indices possibles ont été recueillis pendant l'enquête. Une brève illustration par l'accident de *Touteville* suit la description de chacune des étapes du raisonnement.

1^{re} étape: vérifier l'existence de problèmes de facteurs humains

4.3.51 La première étape vise à déterminer la probabilité d'**existence** de problèmes de facteurs humains.

- D'après l'ensemble des indices disponibles, déterminer quels problèmes sont à envisager.

Touteville — Après avoir consulté sa liste de vérification, l'enquêteur a décidé qu'il y avait au moins certains indices d'existence de 17 problèmes différents de facteurs humains, tels que: fatigue, mauvaise interprétation de repères visuels, insuffisances de la circulation de l'information, carences de la formation, pressions exercées par les horaires de vol, confusion découlant de l'agencement des commandes, éclairage du cockpit, stress, distraction, etc.).

- Après avoir pesé l'importance relative de toutes ces possibilités, déterminer quels problèmes sont à examiner en détail.

Touteville — Après l'examen des 17 facteurs possibles, l'enquêteur a décidé que certains, comme l'éclairage du cockpit, n'étaient pas importants. Il restait 9 questions à examiner en détail.

- Déterminer les connaissances empiriques existantes concernant chacun de ces problèmes et leurs causes profondes.

Touteville — L'enquêteur a consulté les ouvrages de référence sur les facteurs humains pour s'informer des connaissances existantes au sujet de ces 9 questions clés; un spécialiste de la performance humaine a donné son avis sur les illusions visuelles.

- Comparer les circonstances de l'accident aux connaissances empiriques.

Touteville — Les indices sur les 9 questions clés ont été comparés aux documents de référence correspondants.

- Déterminer la probabilité d'existence d'un ou de plusieurs de ces facteurs humains

Touteville — L'illusion visuelle a été considérée un facteur très probable de l'accident vu les conditions qui existaient et la trajectoire de l'avion.

2^e étape: vérifier l'influence de problèmes de facteurs humains

4.3.52 La deuxième étape vise à établir s'il est probable qu'un problème particulier de facteurs humains ait exercé une **influence** sur la succession d'événements ayant conduit à l'accident.

- Examiner les connaissances empiriques existantes concernant les effets des problèmes identifiés à la 1^{re} étape.

Touteville — L'illusion visuelle (trou noir) qui a sans doute affecté le pilote a fait l'objet d'études poussées et l'on sait qu'elle se traduit par une trajectoire d'approche caractéristique.

- Comparer les actions et la performance des personnes mêlées à l'événement aux connaissances empiriques.

Touteville — La trajectoire d'approche initiale enregistrée par l'enregistreur de vol correspond de très près à la trajectoire de type «trou noir». D'après l'enregistreur de conversations dans le poste de pilotage, l'équipage pensait que la trajectoire d'approche était exacte.

- Déterminer s'il est probable que les actions des intervenants et leur performance aient été influencées par des problèmes de facteurs humains.

Touteville — «Au moment de l'accident, le commandant de bord a sans doute été victime d'une illusion visuelle causée par l'absence de repères visuels en approche de nuit.» Remarquer les réserves exprimées dans cet énoncé. Il a été conclu que le commandant avait mal évalué l'approche initiale à cause de l'illusion visuelle.

- Déterminer s'il est probable que la situation ait effectivement contribué à la succession d'événements qui ont mené à l'accident.

Touteville — Vers la fin de l'approche, l'équipage s'est aperçu que l'avion se trouvait au-dessous de la

trajectoire d'approche désirée. En essayant de rétablir une trajectoire d'approche sûre, l'avion a pris trop de vitesse, ce qui a contribué à le faire sortir en bout de piste. « L'illusion visuelle a probablement contribué à la mauvaise évaluation de la trajectoire d'approche par le pilote.»

3^e étape: vérifier la validité

4.3.53 Les étapes précédentes reposent sur l'accumulation d'indices qui ne permettent pas de tirer des conclusions incontestables, mais permettront souvent de tirer des conclusions probables. Celles-ci sont comparables aux preuves circonstanciées en droit, exigeant que des hypothèses soient formulées et vérifiées. La force de cette approche est d'obliger l'enquêteur à tirer des conclusions systématiquement, sur la base de connaissances empiriques et d'indices vérifiables à partir desquels il n'y a pas de conclusions incontestables, et de l'obliger à tenir compte de tous les facteurs vraisemblables.

4.3.54 L'analyse des facteurs humains doit tenir compte de l'objectif de prévention visé par l'enquête. Il a été établi que les accidents sont rarement attribuables à une cause unique. Ainsi, si l'on veut atteindre cet objectif, il faut que l'analyse des facteurs humains reconnaisse que, même si certains facteurs peuvent sembler insignifiants lorsqu'ils sont considérés isolément, ils peuvent produire une série d'événements indépendants qui se combinent ensuite pour produire un accident. La vision d'un système aéronautique interactif que propose James Reason constitue un excellent cadre à partir duquel les enquêteurs peuvent procéder à une analyse approfondie des facteurs humains, à tous les niveaux. L'analyse des facteurs humains ne doit pas être focalisée seulement sur les défaillances actives des intervenants directs, mais inclure aussi une analyse des décisions faillibles prises à tous niveaux, qui se sont conjuguées pour créer la «fenêtre d'opportunité» pour un accident.

4.4 RAPPORT D'ENQUÊTE ET MESURES DE PRÉVENTION

Généralités

4.4.1 Après avoir terminé la collecte et l'analyse des faits pertinents, l'enquêteur doit rédiger le rapport d'enquête. Cette section traite de la rédaction du rapport en général, en insistant sur les questions de facteurs humains. Il fournit à l'enquêteur une méthode de compte rendu qui complète les indications données dans le *Manuel d'investigations techniques sur les accidents d'aviation* de l'OACI.

4.4.2 Avant de rédiger le rapport, l'enquêteur devrait déterminer qui sera appelé à le lire. Les rapports d'accidents et d'incidents intéressent un public varié de lecteurs, ayant chacun sa propre perspective. Ceux qui appartiennent au milieu aéronautique vont lire le rapport pour en vérifier l'exactitude technique. Les intervenants directs seront préoccupés par leur

propre niveau de responsabilité. Les voyageurs voudront avoir l'assurance que les problèmes ont été identifiés et que l'on s'en occupe. Les médias chercheront en tirer des éléments à sensation et les parties en litige chercheront qui est responsable. En rédigeant son rapport, l'enquêteur doit être sensible à ces différentes motivations et viser la précision technique, tout en veillant à adopter un niveau de langue qui soit compréhensible par le commun des mortels et à éviter les énoncés qui seraient de nature à porter un blâme ou à imputer une responsabilité.

4.4.3 Le plus important, c'est que l'enquêteur ait toujours à l'esprit l'objectif fondamental de l'enquête, qui est la prévention des accidents et des incidents. Ainsi, en plus de rendre compte des causes de l'événement, le rapport doit être un moyen d'identifier les dangers découverts pendant l'enquête et d'établir si l'exploitant ou les services responsables de la réglementation s'en étaient occupés efficacement ou non. Le rapport doit également formuler des recommandations visant à éliminer ou à contrôler ces dangers. Il servira aussi à l'éducation du monde aéronautique. Pour être efficace, il devra être écrit de manière à ce que le lecteur (qu'il soit pilote, mécanicien, gestionnaire ou responsable de la réglementation) puisse reconnaître les dangers mentionnés et se situer par rapport à eux afin d'adopter les stratégies de prévention appropriées.

4.4.4 L'enquêteur doit aussi comprendre que le lecteur le plus important est celui qui est responsable de la mise en oeuvre des recommandations intéressant la sécurité. Si le rapport ne réussit pas à convaincre cette personne, il est peu probable que des mesures préventives seront prises.

4.4.5 Selon Richard Wood, traitant de la rédaction des rapports d'accidents d'aviation lors d'une conférence de l'Association internationale des enquêteurs de la sécurité aérienne (ISASI) à Munich en 1989, «les participants à l'enquête sur un accident comprennent ce qui s'est passé ou croient le comprendre, mais c'est le rapport écrit, et non les souvenirs des enquêteurs, qui servira de base aux mesures de prévention. La meilleure des enquêtes est inutile si elle n'aboutit pas à un rapport bien fait.»⁶ À son avis, un rapport boiteux et mal étayé peut compromettre les résultats d'une bonne enquête, parce qu'il ne fera pas réagir les décideurs. En rédigeant un rapport d'accident, les enquêteurs devraient tenir compte de cet énoncé tiré du *Manuel d'investigations techniques sur les accidents d'aviation* de l'OACI.

«Il est ... des plus important que le "Rapport final" soit complet et précis, non seulement pour que l'on puisse disposer d'un compte rendu satisfaisant, mais aussi parce que les études de prévention ne peuvent être utiles que si elles sont fondées sur des renseignements complets et précis.»

Structure du rapport

4.4.6 Après avoir déterminé ce qui s'est passé et pourquoi, il est relativement facile de rédiger le rapport. Rédiger un rapport, ce n'est pas écrire tout ce qu'on sait sur

l'événement avec l'espoir que les faits parleront d'eux-mêmes lorsque le lecteur arrivera à la fin et que les conclusions découleront logiquement du texte. Pour rédiger un bon rapport, l'enquêteur doit présenter au lecteur d'une façon bien ordonnée les faits, les conditions et les circonstances de l'événement et analyser les informations de telle sorte que les conclusions et les recommandations puissent être comprises. À cet effet, tout comme le rédacteur technique, l'enquêteur devra élaborer un plan détaillé avant de commencer à rédiger et sans doute préparer plusieurs ébauches avant le rapport final.

4.4.7 L'enquêteur qui prépare son rapport final s'inspirera de la présentation proposée dans l'appendice à l'Annexe 13: Section 1 — Renseignements de base; Section 2 — Analyse; Section 3 — Conclusions; Section 4 — Recommandations de sécurité.

4.4.8 Dans la Section 1 — **Renseignements de base**, l'enquêteur décrit ce qui s'est passé et fournit des renseignements qui aideront à comprendre les circonstances entourant l'événement. Les 18 sous-sections lui offrent suffisamment de souplesse pour structurer les informations pertinentes. Ces sous-sections servent d'outil pour organiser logiquement les renseignements recueillis pendant l'enquête. Pour faire partie de la Section 1, ces informations doivent: a) faire comprendre comment l'événement s'est produit, b) présenter en termes généraux le rôle des intervenants directs et leurs qualifications, c) citer les faits et les dangers identifiés, qu'ils aient ou non un lien direct avec les causes de l'événement.

4.4.9 Des renseignements et des questions se rapportant aux facteurs humains devraient figurer dans la plupart des sous-sections de la Section 1, dans la forme normalisée qui convient. Ainsi:

- La chronologie de l'événement et les actions de l'équipage, des intervenants directs, du personnel ATC, des équipes au sol, etc. sont décrites dans la sous-section 1.1 — *Déroulement du vol*. Cette sous-section est brève et sert à orienter rapidement le lecteur.
- L'expérience, la formation, les qualifications, les périodes de service et de repos font partie de la sous-section 1.5 — *Renseignements sur le personnel*. Les renseignements concernant les intervenants qui ont eu un rôle important à jouer (personnel d'entretien, superviseurs, direction ou organisme de réglementation) doivent aussi faire partie de cette sous-section et être identifiés par des sous-titres.
- Les questions de conception, de certification, d'état de navigabilité, d'entretien ainsi que de masse et de centrage de l'aéronef ayant pu influencer sur son exploitation sont décrites dans la sous-section 1.6 — *Renseignements sur l'aéronef*.
- Les questions concernant les communications, les aides à la navigation, les conditions météorologiques, les problèmes de pathologie, etc. — en somme tous

les éléments qui ont pu avoir une incidence sur l’aptitude de l’équipage à exploiter le vol en toute sécurité — sont abordés dans des sous-sections particulières.

- Les renseignements pertinents concernant les organismes et leurs pratiques de gestion qui ont pu influencer l’exploitation de l’aéronef, notamment les renseignements sur la structure et les fonctions de l’organisme, les ressources, la situation économique, les politiques et pratiques de gestion et le cadre normatif — figurent dans les *renseignements sur les organismes et la gestion*.
- La sous-section 1.18 — *Renseignements supplémentaires* permet d’insérer l’information qui n’entre dans aucune des sous-sections précédentes. L’enquêteur devrait la structurer de manière qu’une sous-section 1.18.1 puisse présenter les renseignements de base, dans une forme inspirée du modèle SHEL. Toutes les interfaces avec l’élément central Humain peuvent y être discutées. Par exemple, en prenant le scénario de Tuteville, l’enquêteur peut élaborer sur les problèmes qui ont surgi à l’interface Humain-Humain entre le commandant et le copilote, sous un titre approprié tel que «Coordination de l’équipage». C’est aussi dans cette sous-section que l’on peut aborder une limitation à l’interface Humain-Matériel, par exemple, le point de savoir si le type d’avion convenait pour le type d’exploitation et les exigences connexes imposées à l’équipage de conduite. Les problèmes de documents écrits (p. ex. absence de procédures d’utilisation normalisées) peuvent être abordés dans le contexte des limitations à l’interface Humain-Documentation. L’enquêteur peut traiter aussi des limitations à l’interface Humain-Environnement (p. ex. décisions de gestion concernant le choix des membres d’équipage, leur jumelage, l’uniformisation, la formation et les horaires). Les questions relatives à la réglementation pourront également être abordées (p. ex. absence, au sein des services responsables de la réglementation, d’une méthode de contrôle appropriée pour la certification de nouvelles routes). Si l’enquêteur utilise le modèle SHEL pour la collecte de l’information pendant son enquête, la rédaction de cette sous-section n’en est que le prolongement.

Comme on l’a vu dans la section 2 du présent chapitre, l’enquêteur doit présenter les éléments empiriques de nature à étayer son analyse des facteurs humains supposés avoir eu une influence sur l’événement. Une sous-section 1.18.2 peut servir à préciser cette information. Dans l’exemple de Tuteville, l’enquêteur peut se référer aux éléments empiriques sur les illusions visuelles.

4.4.10 Dans toutes les parties de la section 1, seuls des faits concrets, des anomalies et des dangers factuels devraient être mentionnés. Une manière de montrer la présence

d’anomalies est de comparer ce qui s’est réellement passé à une norme aéronautique reconnue. Dans le cas de Tuteville, le fait que le pilote ne se soit pas conformé à la technique recommandée pour éviter l’hydroplanage à l’atterrissage constitue une anomalie. Sachant que de nombreux lecteurs pourraient ne pas connaître les normes et les pratiques aéronautiques, il est souvent nécessaire de donner quelques précisions sur la nature de l’écart.

4.4.11 En résumé, dans toute la section 1 du rapport les écarts, les anomalies et les dangers sont comparés à une norme reconnue ou à des éléments empiriques, ce qui ouvre la voie à l’analyse de l’influence qu’ils ont exercée pour conduire à l’accident.

4.4.12 Dans la Section 2 — **Analyse**, l’enquêteur explique pourquoi les circonstances ont abouti à l’accident et il établit le lien entre les renseignements de base et les conclusions. C’est ici qu’il donne les résultats de la vérification de l’existence de problèmes de facteurs humains moins tangibles (voir 4.3.51). Les lacunes dans les renseignements de base devront être comblées par extrapolation à partir de l’information disponible, par des hypothèses ou par la logique. Les hypothèses utilisées au cours de l’enquête devront être identifiées, pour expliquer clairement le raisonnement. Il importe également d’indiquer ce qui demeure inconnu et n’a pas pu être déterminé, et de discuter et résoudre les questions d’indices controversés ou contradictoires.

4.4.13 Après avoir établi tous les faits importants de l’événement, l’enquêteur doit ensuite développer les rapports de cause à effet. Il doit énoncer et évaluer toutes les hypothèses raisonnables pour démontrer que d’autres explications ont été soigneusement considérées. Pour les problèmes de facteurs humains moins tangibles, l’enquêteur donne les résultats des différentes étapes de la vérification de leur influence (voir 4.3.52). Selon Richard Wood, chaque sous-section de l’analyse devrait se lire comme un «mini-rapport d’accident», donnant les faits relatifs à une question particulière, une analyse résumant les opinions de l’enquêteur sur la base de ces faits et des conclusions sur leur pertinence en ce qui concerne l’accident. Chaque partie de l’analyse devrait être autonome comme **analyse** définitive de ce sujet.⁷

4.4.14 Une manière d’organiser l’analyse est de suivre l’ordre établi dans l’Appendice 1 au présent chapitre. L’enquêteur est cependant libre de choisir n’importe quel ordre logique pour présenter l’argument de la façon la plus efficace et cet ordre dépendra souvent des circonstances particulières de l’accident ou de l’incident.

4.4.15 Une autre façon efficace d’organiser l’analyse est d’employer le modèle de Reason décrit dans la section 2 de ce chapitre. Comme le modèle SHEL, le modèle de Reason est un outil, et les deux se complètent. Le modèle SHEL sert à réunir l’information pendant l’enquête et à présenter les renseignements de base dans le rapport; le modèle de Reason est un cadre d’analyse des renseignements de base. Il encourage une approche systématique de l’enquête et incite l’enquêteur à inclure une description de la situation au moment de

l'événement, de l'intervention des cadres hiérarchiques et des décisions de la haute direction ou des services responsables de la réglementation, suivie d'une analyse chronologique de chacun de ces éléments. Le modèle de Reason permet à l'enquêteur d'identifier les dangers qui se sont combinés pour aboutir à l'événement et indique la voie pour redresser la situation. Par exemple, l'enquêteur peut commencer à décrire les moyens de défense qui étaient ou n'étaient pas en place et montrer ensuite comment les erreurs commises sont passées inaperçues.

4.4.16 L'exemple de Tuteville peut servir à illustrer le modèle de Reason. Le rédacteur peut commencer par discuter les actes dangereux du commandant et expliquer pourquoi les moyens de défense n'ont pas permis d'éviter que les événements se produisent:

- le commandant n'a pas adopté la technique recommandée pour éviter l'hydroplanage. S'il avait consulté les graphiques de performances, il aurait remarqué que la piste n'était pas assez longue dans les conditions existantes;
- le fait que le personnel de l'aéroport n'ait pas vérifié la présence de flaques d'eau sur la piste a éliminé une des défenses;
- en homologuant l'aéroport malgré un matériel de lutte incendie inadéquat, l'organisme de réglementation n'a pas fourni une défense qui était nécessaire;
- le commandant a décidé d'entreprendre le vol sans être en possession de tous les renseignements disponibles.

Les défaillances actives sont des symptômes de défaillances latentes, à savoir les décisions de la haute direction et l'exécution de ces décisions par les cadres. La performance du commandant est un reflet de politiques déficientes de la direction de la compagnie aérienne et de l'administration aéronautique en général — politiques prévoyant un programme de formation inadéquat, des horaires serrés que tout retard perturbe, l'affectation d'un aéronef qui ne convenait pas pour le vol et l'homologation de l'aéroport de Tuteville malgré ses lacunes connues en matière d'exploitation et de sécurité. En prenant le modèle de Reason comme référence, l'enquêteur peut commencer par citer les actions dangereuses et montrer comment elles se sont développées à partir de décisions prises ailleurs, longtemps auparavant.

4.4.17 Après avoir exposé l'enchaînement causal et identifié les facteurs qui ont causé l'accident, le rédacteur peut se pencher sur d'autres dangers qui n'y ont pas contribué, mais qui exigent néanmoins des mesures de sécurité.

4.4.18 La Section 3 — **Conclusions** devrait découler logiquement de l'analyse. Les conclusions formulées devraient être cohérentes avec celle-ci et tous les dangers devraient être bien identifiés. Les faits établis importants peuvent paraphraser ou reproduire les conclusions énoncées dans

l'analyse. L'enquêteur prendra soin de les formuler avec le même niveau de certitude qu'il l'a fait dans l'analyse.

Tuteville — La conclusion tirée dans l'analyse du rôle de l'illusion peut être répétée à la lettre: «L'illusion visuelle a probablement contribué à la mauvaise évaluation de l'atterrissage par le pilote.» Ce serait faire preuve d'incohérence et de malhonnêteté intellectuelle que de supprimer «probablement» et de formuler cette conclusion particulière comme une certitude.

4.4.19 Il arrive que les circonstances d'un accident ne permettent pas de tirer une conclusion ferme au sujet des causes. L'enquêteur devrait discuter les hypothèses les plus probables, mais ne pas hésiter à déclarer que les causes restent indéterminées.

4.4.20 Le *Manuel d'investigations techniques sur les accidents d'aviation* de l'OACI stipule que «Les causes devraient être précisées dans un exposé concis des raisons pour lesquelles l'accident s'est produit et non pas dans une description sommaire des circonstances de l'accident.» Dans les rapports d'accident, malheureusement, beaucoup des énoncés de causes n'indiquent pas vraiment des causes sur lesquelles des recommandations de sécurité peuvent être formulées, mais sont seulement de brèves descriptions de l'accident. L'expression des causes présente aussi certaines lacunes. Parfois, par exemple, l'enquêteur met l'accent sur un petit nombre de facteurs alors que d'autres pourraient être tout aussi importants du point de vue de la prévention. En outre, il existe une tendance à insister sur les défaillances actives des intervenants les plus directs plutôt que d'expliquer complètement pourquoi l'accident est survenu.

4.4.21 L'expression des causes devrait reposer sur les principes suivants:

- toutes les causes devraient être citées, généralement dans l'ordre chronologique;
- en formulant les causes, il convient d'avoir à l'esprit des mesures correctives et préventives;
- le lien entre les causes et les recommandations de sécurité devrait être établi;
- cette expression ne devrait pas comporter l'imputation de blâmes ou de responsabilités.

4.4.22 Certains États emploient une forme de rapport qui élimine les problèmes associés aux énoncés de causes en évitant simplement ceux-ci. À leur place, la section «Conclusions» dresse la liste de tous les faits établis considérés comme facteurs de l'événement, sous le titre «faits établis en rapport avec les causes». Ensuite, sous le titre «autres faits établis», ils énumèrent tous les autres dangers qui, sans avoir contribué à l'événement, doivent néanmoins être pris en considération.

4.4.23 Il y a lieu parfois de parler de probabilité lorsqu'on énonce des faits établis en rapport avec les facteurs

humains. Si les indices ne permettent pas de formuler un énoncé définitif, l’enquêteur devrait énoncer le plus positivement possible les faits établis, en des termes exprimant le niveau de confiance et de probabilité qui convient.

Prévention des accidents

4.4.24 D’après le *Manuel de prévention des accidents* de l’OACI, la prévention des accidents doit viser tous les dangers présents dans le système, sans égard à leur origine. Pour prévenir les accidents, il faut des mesures de suivi en réponse à l’identification des dangers au cours de l’enquête. L’Annexe 13 de l’OACI insiste beaucoup sur les mesures de prévention des accidents. La paragraphe 7.1 précise:

À n’importe quel stade de l’enquête sur un accident ou un incident, quel que soit le lieu d’occurrence, le service d’enquête, dans l’État qui mène l’enquête, recommandera aux autorités compétentes, y compris celles d’autres États, toute mesure préventive qu’il est nécessaire de prendre promptement afin de prévenir des circonstances analogues.

4.4.25 À propos de la Section 4 du rapport final — **Recommandations de sécurité**, le *Manuel d’investigations techniques sur les accidents d’aviation* de l’OACI précise:

Indiquer ici toute recommandation de sécurité formulée en vue de prévenir des accidents et, le cas échéant, toute mesure corrective qui en résulte. Que les recommandations soient présentées dans le corps du rapport ou séparément (selon la méthode employée par l’État en cause), il convient de ne pas oublier que le but ultime d’une enquête vraiment efficace est d’améliorer la sécurité aérienne. C’est pourquoi les recommandations doivent être formulées en termes généraux ou en termes précis en ce qui concerne les problèmes révélés par l’enquête, que ces problèmes soient directement liés aux facteurs qui ont causé l’accident, ou qu’ils aient été révélés par d’autres facteurs au cours de l’enquête.

4.4.26 L’accent est mis sur la formulation des recommandations, mais la tâche la plus difficile est d’identifier les dangers qui justifient que des mesures de sécurité soient prises. À cette étape du rapport, l’enquêteur doit se concentrer sur la définition du problème, puisque c’est seulement après que le problème aura été clairement identifié et validé que l’on pourra raisonnablement envisager des mesures correctives.

4.4.27 Comme le montre la Figure 4-5, le modèle de Reason donne une orientation pour la formulation de mesures préventives de même que pour les investigations techniques. Puisque beaucoup de précurseurs psychologiques et d’actions risquées découlent de décisions prises à des niveaux hiérarchiques plus élevés, il est logique de centrer les mesures préventives sur les dangers créés, ou non pris en considération, aux niveaux supérieurs. Si le rapport met l’accent sur l’erreur particulière d’une personne tout en omettant de prendre en

considération des décisions de haut niveau, il ne fera rien pour aborder les responsabilités fondamentales en ce qui concerne l’identification, l’élimination ou l’atténuation des effets des dangers.

4.4.28 L’efficacité des compagnies, des constructeurs et des services responsables de la réglementation pour ce qui est d’identifier, d’éliminer ou d’atténuer les dangers dépend des stratégies qu’ils adoptent face à ceux-ci. Trois stratégies sont possibles:

- **nier** l’existence d’un problème;
- **corriger** le problème observé pour qu’il ne se présente plus;
- **réformer** ou optimiser le système dans son ensemble.

Chaque stratégie a son propre ensemble type d’actions. La stratégie de la dénégation peut se traduire par le licenciement du pilote ou par un énoncé parlant d’erreur de pilotage. Elle traite seulement de l’acte dangereux et ne cherche pas d’autres explications. La stratégie de la correction reconnaît le problème et cherche à le corriger par des mesures qui consisteraient par exemple à contraindre la personne en cause à reprendre sa formation ou à modifier les éléments d’équipement dangereux. La stratégie de la réforme admet l’existence de problèmes au-delà de l’action dangereuse et se traduit par des mesures systématiques, conduisant à une réévaluation et éventuellement à une réforme du système dans son ensemble.

4.4.29 Quand les compagnies, les services responsables de la réglementation et les enquêteurs adoptent la stratégie de réforme, ils portent leur attention sur les boucles 3 et 4 de la Figure 4-5. Les carences à ces niveaux élevés, y compris celles qui n’ont rien eu à voir avec l’accident dont il s’agit, méritent la plus grande attention pendant l’enquête et la rédaction du rapport. Parce que les liens de cause à effet sont souvent ténus, établir qu’une situation dangereuse a son origine à ces niveaux est un défi. Il convient de noter par ailleurs que les décideurs ne reçoivent pas toujours les retours d’information dont ils auraient besoin pour prendre de bonnes décisions— les retours d’information étant parfois filtrés par les cadres hiérarchiques, ce qui risque d’avoir des conséquences indésirées pour l’organisation et son personnel.

4.4.30 Il est possible de surmonter le problème d’identification d’un lien causal entre un danger et la direction de haut niveau par une enquête systématique, par des recherches portant sur d’autres opérations similaires et par des recherches dans des bases de données sur la sécurité. Dans l’exemple de *Touteville*, il peut être établi que la coordination entre le pilote et le copilote n’était pas bonne, en partie parce que tous deux étaient inexpérimentés sur ce type d’avion et cette ligne. Les sanctionner ou les congédier n’éliminerait aucunement le problème du jumelage des membres d’équipage, que ce soit au sein de la compagnie ou dans le système aéronautique en général. Mais pour établir l’existence d’un danger à ce propos,

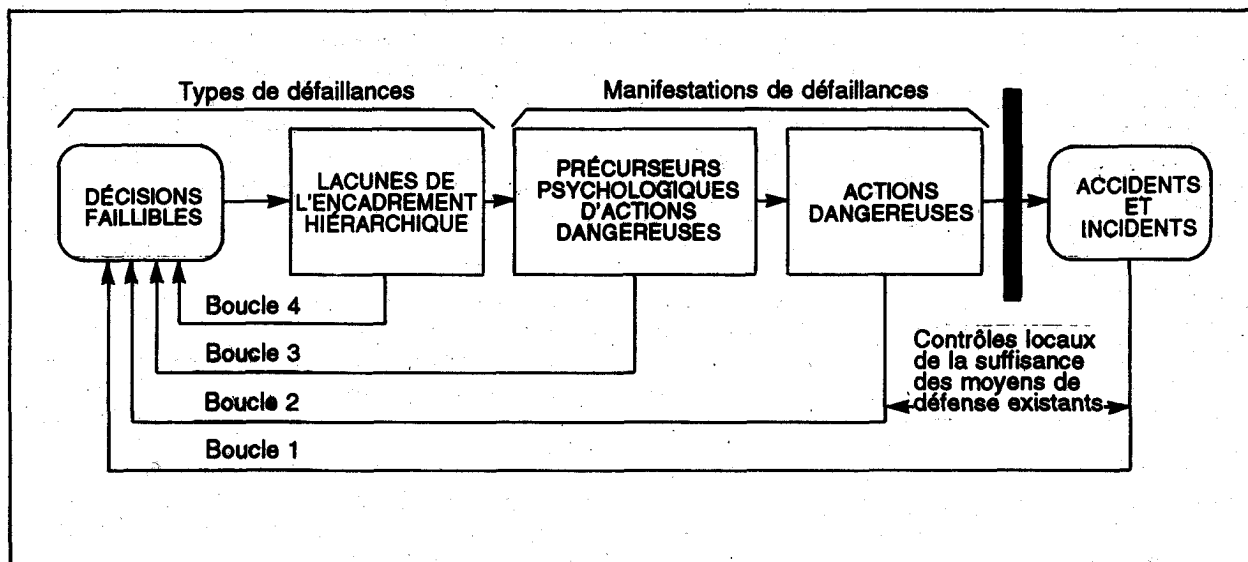


Figure 4-5. Les mesures de prévention des accidents peuvent être mises en parallèle avec l'approche de James Reason concernant le rôle des boucles de retour d'information dans le contrôle d'une exploitation sûre

l'enquêteur devrait sans doute faire référence à plusieurs autres accidents dans lesquels un lien a déjà été établi entre des problèmes de coordination des membres d'équipage et des décisions prises à un niveau élevé de la compagnie en ce qui concerne les jumelages. La mise en évidence d'un danger commun pour ce type d'exploitation mènerait ensuite directement à diverses stratégies de prévention pour surmonter de tels dangers, stratégies qui pourraient être mises en oeuvre et suivies.

4.4.31 Le temps nécessaire à la validation de l'existence d'un danger pour la sécurité est variable. Dans le cas de faits établis évidents (erreurs dans les publications, déficiences du matériel résultant d'erreurs de conception par exemple), la phase de validation peut être relativement courte. Par contre, au sujet de dangers possibles faisant intervenir des facteurs humains (effets de la fatigue sur la performance de l'équipage, conséquences des pressions exercées par la compagnie sur les décisions des pilotes, etc.), la validation peut demander du temps, car les indices sont souvent plus difficiles à obtenir et il est plus difficile d'évaluer les effets de leurs interactions. Cette difficulté a été illustrée par l'enquête sur l'accident du Fairchild Metro III à Bayfield (Colorado) en 1988. Les essais toxicologiques ont révélé des traces de cocaïne et de métabolite de cocaïne dans l'organisme du pilote. Une question majeure relative à la performance humaine était d'examiner les effets que l'usage de cocaïne pouvait avoir eu

sur le déroulement de l'accident. Les données scientifiques sur les effets comportementaux de la cocaïne étaient limitées et l'évaluation de ces effets sur la performance était davantage compliquée par la nécessité de tenir compte en outre d'un repos insuffisant et d'une longue journée de service. Il fallait également tenir compte des différences individuelles en déterminant les effets de l'interaction de tous ces facteurs. La question n'a pas encore été résolue.

4.4.32 À propos de beaucoup de phénomènes de performance humaine, les indices provenant d'un seul événement peuvent être insuffisants pour valider l'existence d'un danger pour la sécurité. Il faut donc que l'enquêteur évalue les données provenant d'événements similaires (peut-être à l'échelle mondiale) pour démontrer l'effet probable d'un certain phénomène sur la performance humaine dans l'enquête en cours. Un large examen des documents spécialisés peut être justifié. Dans des cas extrêmes, il pourrait être justifié que des études supplémentaires soient menées par des spécialistes pour valider l'existence d'un danger.

4.4.33 Quand il comprend clairement le problème, l'enquêteur peut formuler et évaluer divers modes d'action possibles. Le projet de recommandation devrait être envisagé dans la perspective de la faisabilité technique des mesures, de leurs chances d'être acceptées par le milieu aéronautique, de leur facilité d'application et du destinataire le plus approprié.

4.4.34 Les recommandations de sécurité ne devraient pas être considérées comme des directives contraignantes de l’organisme d’enquête. L’enquêteur n’étant pas omniscient, l’organisme de réglementation ne devrait pas les faire siennes aveuglément, car cela risquerait de porter grand tort à l’industrie. Par exemple, l’enquêteur est rarement bien placé pour évaluer la faisabilité économique de la mise en oeuvre d’une mesure de sécurité. L’organisme qui reçoit la recommandation devrait jouir d’une latitude considérable pour choisir la meilleure mesure à prendre. L’organisme d’enquête devrait être satisfait si la carence identifiée en matière de sécurité fait l’objet d’une action adéquate, que ses propres recommandations soient suivies ou non. Il faut donc que l’énoncé des recommandations soit assez général pour donner une marge de manoeuvre suffisante à l’organisme appelé à prendre des mesures. Richard H. Wood l’explique en ces mots:⁸

«Une recommandation bien pensée devrait viser deux buts:

- a) elle devrait clairement centrer l’attention sur le problème et non sur la solution proposée. Cela devrait éliminer le risque que le problème soit rejeté avec la recommandation;
- b) elle devrait être assez souple pour laisser à l’organisme une certaine latitude pour déterminer exactement comment l’objectif peut être atteint. Ceci est particulièrement important si tous les faits saillants pertinents ne sont pas encore disponibles et si des examens et des essais supplémentaires semblent nécessaires.

En d’autres termes, la recommandation doit être centrée sur **ce qu’il faut** changer, plutôt que sur la **manière** de le faire.»

Richard Wood a dit aussi que les recommandations de sécurité pouvaient généralement être classées à l’un des trois niveaux suivants:

- une mesure de sécurité de **niveau 1** élimine complètement le danger qui compromet la sécurité;
- une mesure de sécurité de **niveau 2** modifie le système de manière à réduire le risque des dangers non apparents;
- une mesure de sécurité de **niveau 3** reconnaît que le danger ne peut être éliminé ni réduit (contrôlé) et vise donc à enseigner aux gens comment vivre avec lui.

L’élimination des dangers pour la sécurité devrait toujours être l’objectif visé. Malheureusement, en matière de dangers issus des facteurs humains, la tendance a été de proposer des stratégies du niveau 3.

4.4.35 Puisqu’il peut être extrêmement difficile de valider les dangers pour la sécurité qui ont rapport avec de nombreux facteurs humains, il peut être sage de recommander qu’une

étude plus poussée des dangers perçus soit menée par des autorités plus compétentes. Ainsi, l’enquêteur pourra rédiger son rapport en sachant qu’il ne règle pas certaines questions de sécurité particulièrement ardues. Le fait que l’industrie reconnaisse l’importance de la gestion des ressources en équipe dans le poste de pilotage le confirme. Dans un grand nombre de rapports d’enquête sur les accidents établis dans un certain État, les dangers attribuables au manque d’efficacité dans la gestion du poste de pilotage ont été identifiés et des recommandations ont été faites. Le problème a donc été validé par l’étude et l’analyse de nombreux accidents, et cette validation a amené de grosses compagnies aériennes non seulement à reconnaître l’existence probable de problèmes dans le poste de pilotage, mais aussi à concevoir et mettre en place des cours CRM pour améliorer la coordination à ce niveau. D’autres transporteurs, constatant la valeur de la formation CRM, se sont mis à former leurs équipages en employant les cours conçus par les grosses compagnies, et la formation CRM est maintenant largement reconnue et disponible.

Besoins en matière de bases de données

4.4.36 Comme il a déjà été mentionné, il est rare que les événements liés à un seul accident ou incident démontrent d’une façon convaincante l’existence d’un danger fondamental pour la sécurité en rapport avec les facteurs humains. D’ordinaire, ce type de dangers n’est validé que par l’analyse d’événements similaires. Pour qu’un tel processus de validation soit efficace, il faudrait que tous les renseignements pertinents sur des événements similaires antérieurs soient consignés, afin que l’on puisse s’y référer ultérieurement. Cependant, une des nombreuses raisons qui expliquent la lenteur des progrès pour ce qui est de prendre des mesures préventives appropriées en matière de facteurs humains est que les informations de ce type ne sont pas toujours consignées comme il le faudrait.

4.4.37 Que les facteurs humains identifiés au cours d’une enquête soient reliés ou non aux causes de l’événement, ils devraient être introduits dans une base de données sur les facteurs humains pour faciliter les analyses futures. Les États contractants de l’OACI consignent principalement ces renseignements dans la base de données ADREP, système qui enregistre une série de facteurs décrivant *ce qui s’est passé*, ainsi qu’une série de facteurs qui expliquent *pourquoi* cela s’est passé.

4.4.38 Étant donné que l’erreur humaine ou des lacunes dans la performance humaine interviennent généralement comme facteurs dans les accidents, la base de données ADREP constitue un cadre fiable pour l’enregistrement des données relatives aux facteurs humains. En ce qui concerne les incidents, cependant, la base ADREP contient seulement les données sur les incidents qui ont fait l’objet d’une enquête et ont été signalés à l’OACI conformément à l’Annexe 13.

4.4.39 D’autres bases de données peuvent servir pour les investigations sur les facteurs humains. Par exemple, l’*Aviation Safety Reporting System* des États-Unis contient les

données de plus de 100 000 comptes rendus de dangers, effectués volontairement par les pilotes et les contrôleurs de la circulation aérienne; dans la plupart des cas, un élément de performance humaine est en jeu. D'autres États où existent des systèmes de compte rendu volontaire constituent des bases de données spécialisées qui ont un important contenu de facteurs humains. Des universités et des organismes de recherche compilent également des bases de données très spécialisées pour analyser certains facteurs humains dans le contexte de leurs recherches. Ces bases de données peuvent être utiles pour aider l'enquêteur à analyser un événement particulier, mais elles ne se prêtent pas à la consignation des données recueillies

au cours d'une enquête. Seule la base ADREP est un outil mondial complet d'enregistrement des données sur les accidents et incidents qui permet d'aider à comprendre les facteurs explicatifs.

4.4.40 Dans le monde entier, il reste nécessaire d'offrir des moyens plus conviviaux pour consigner les données relatives aux facteurs humains si nous voulons mettre à profit les leçons d'autrui. Vu la fréquence de l'intervention des facteurs humains dans les accidents et les incidents, il est impératif de contribuer aux analyses futures de la sécurité par de meilleurs rapports et comptes rendus.

Appendice 1 au Chapitre 4

LISTES DE VÉRIFICATION POUR LES FACTEURS HUMAINS

Les modèles de listes de vérification présentés dans cet appendice sont basés sur des listes utilisées par trois États contractants de l'OACI. Même si chacune d'elles reflète une méthode différente d'enquête sur les facteurs humains, elles ont toutes trois pour objectif d'aider l'enquêteur à identifier les facteurs pertinents et à centrer son analyse sur les questions qui s'y rapportent. L'enquêteur pourra adapter à son usage une de ces listes, voire même les trois.

LISTE DE VÉRIFICATION A

Afin d'identifier les aspects qui justifient une enquête/analyse plus poussée sur les facteurs humains, évaluez l'importance de chaque facteur en inscrivant le chiffre approprié à droite.

- 0 = non contributif
- 1 = possiblement contributif
- 2 = probablement contributif
- 3 = danger prouvé

FACTEURS COMPORTEMENTAUX

- A. Planification défectueuse (avant le vol, en vol) _____
- B. Hâte (départ précipité, etc.) _____
- C. Insistance à voler par mauvais temps _____
- D. Ennui, inattention, distraction _____
- E. Problèmes personnels (familiaux, professionnels, financiers) _____
- F. motivation («retour au bercail») _____
- G. Manque de confiance _____
- H. Appréhension/panique _____
- I. Manque de discipline en vol _____
- J. Erreur de jugement _____
- K. Retard _____
- L. Relâchement de vigilance, manque de motivation, etc. _____
- M. Tension interpersonnelle _____
- N. Difficulté à surmonter le stress _____
- O. Abus de drogues _____
- P. Alcool/gueule de bois _____

- Q. Personnalité, humeur, caractère _____
- R. Cadre mental, influencé par la mémoire (attentes) _____
- S. Habitudes ancrées _____
- T. Perceptions ou illusions _____
- U. Syndrome du pilote de brousse _____

FACTEURS MÉDICAUX

- A. État physique, forme, santé générale _____
- B. Acuité sensorielle (vue, ouïe, odorat, etc.) _____
- C. Fatigue _____
- D. Privation de sommeil _____
- E. Perturbation du rythme circadien (décalage horaire) _____
- F. Nutrition (repas sautés, intoxication alimentaire, etc.) _____
- G. Médicaments (en vente libre) _____
- H. Médicaments (sur ordonnance) _____
- I. Ingestion de drogue/d'alcool _____
- J. États de conscience altérés _____
- K. Temps de réaction ou perturbation de la notion du temps _____
- L. Hypoxie, hyperventilation, etc. _____
- M. Dysbarisme, crampes abdominales, etc. _____

N. Décompression	_____	H. Distractions	_____
O. Mal des transports	_____	I. Mémoire à court terme	_____
P. Désorientation, vertige	_____	J. Hypothèses fausses (par rapport aux attentes, aux habitudes, etc.)	_____
Q. Illusions visuelles	_____	K. Gestion en équipe dans le poste de pilotage	_____
R. Stress	_____		
S. Hypothermie/hyperthermie	_____		
T. Autre(s) trouble(s) aigu(s)	_____		
U. Maladie(s) antérieure(s)	_____		

FACTEURS LIÉS À LA CONCEPTION DU MATÉRIEL

FACTEURS OPÉRATIONNELS

A. Sélection du personnel	_____
B. Expérience limitée	_____
C. Insuffisante formation de transition	_____
D. Qualifications et compétences pas à jour	_____
E. Connaissance insuffisante des systèmes de bord	_____
F. Connaissance insuffisante du matériel de survie de bord	_____
G. Politiques et procédures de la compagnie	_____
H. Supervision	_____
I. Relations hiérarchiques	_____
J. Pressions de la compagnie sur l'exploitation	_____
K. Compatibilité des membres d'équipage	_____
L. Formation de l'équipage (p. ex. CRM)	_____
M. Information de vol insuffisante (manuels de l'aéronef, plans de vol, etc.)	_____

A. Conception et emplacement des instruments et des commandes	_____
B. Éclairage	_____
C. Incompatibilité de l'espace de travail	_____
D. Incompatibilité anthropométrique	_____
E. Confusion de commandes, commutateurs, etc.	_____
F. Erreurs de lecture des instruments	_____
G. Éléments de structure limitant la vision	_____
H. Sursaturation de tâches (étapes complexes)	_____
I. Actionnement par inadvertance	_____
J. Manque d'uniformisation du poste de pilotage	_____
K. Gêne causée par du matériel personnel	_____
L. Matériel de survie en vol	_____
M. Effets de l'automatisation	_____
N. Design/configuration des sièges	_____
O. Conception et aménagement de l'aérodrome	_____
P. Visibilité d'autres aéronefs, véhicules, etc.	_____

FACTEURS LIÉS AUX TÂCHES

A. Renseignements sur la tâche (briefing, etc.)	_____
B. Éléments des tâches (nombre, durée, etc.)	_____
C. Cadence de la charge de travail	_____
D. Saturation par la charge de travail	_____
E. Surveillance du travail par un superviseur	_____
F. Jugement et prise de décisions	_____
G. Conscience de la situation	_____

FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX

A. Météo	_____
B. Turbulence de l'air	_____
C. Illusions (blanc dehors, trou noir, etc.)	_____
D. Restriction à la visibilité (éblouissement, reflets, etc.)	_____
E. Éclairage de l'aire de travail	_____
F. Bruit	_____
G. Forces d'accélération/de décélération	_____

H. Décompression	_____	AUTRES FACTEURS PERSONNELS	
I. Vibrations	_____	Contrôle de la circulation aérienne	_____
J. Chaleur/froid	_____	A. Attention (vigilance, oubli, etc.)	_____
K. Souffle aérodynamique	_____	B. Fatigue par opposition à charge de travail	_____
L. Mouvement (roulis hollandais, oscillation en lacet, etc.)	_____	C. Communications (phraséologie, cadence de la parole, prononciation, etc.)	_____
M. Fumée/émanations dans le poste de pilotage	_____	D. Milieu de travail (éclairage, bruit, visibilité, etc.)	_____
N. Contamination par l'oxygène	_____	E. Agencement et conception du matériel/des visualisations	_____
O. Empoisonnement par l'oxyde de carbone ou d'autres produits chimiques toxiques	_____	F. Jugement	_____
P. Radiations	_____	G. Formation et mise à jour	_____
Q. Décharge électrique	_____	H. Coordination et relève	_____
R. Vertige stroboscopique	_____	I. Présence de superviseurs	_____
S. Contrôle de la circulation aérienne	_____	J. Politiques et procédures d'exploitation de l'ATC	_____
		Conducteurs de véhicules	
FACTEURS DE TRANSFERT D'INFORMATION		K. Sélection et formation	_____
A. Documents écrits (disponibilité, compréhensibilité, récence, etc.)	_____	L. Milieu de travail (bruit, fatigue, visibilité, etc.)	_____
B. Interprétation erronée de communications verbales	_____	M. Maîtrise et contrôle, supervision	_____
C. Barrière linguistique	_____	Personnel d'entretien des aéronefs	
D. Perturbation par le bruit	_____	N. Sélection et formation	_____
E. Perturbations de la communication verbale	_____	O. Disponibilité de l'information pertinente	_____
F. Coordination entre membres d'équipage	_____	P. Pressions d'exploitation	_____
G. Communication entre l'équipage et l'ATS	_____	Q. Supervision	_____
H. Promptitude et précision des communications verbales	_____		
I. Communication non verbale entre membres d'équipage	_____	FACTEURS DE SURVIE	
J. Avertisseurs, klaxons, carillons, etc. dans le poste de pilotage	_____	A. Résistance à l'écrasement	_____
K. Visualisations dans le poste de pilotage	_____	B. Matériel de survie après un accident (sorties, lisières, gilets de sauvetage, radiobalises de détresse, trousse médicales, etc.)	_____
L. Signaux, marques et balisage lumineux de l'aéroport	_____	C. Procédures de commandement et de contrôle	_____
M. Signaux au sol/signalisation manuelle	_____	D. Formation de l'équipage	_____
		E. Briefings et démonstrations à l'intention des passagers	_____

B. LISTE DE VÉRIFICATION ÉTABLIE D'APRÈS LE MODÈLE SHEL

FACTEURS LIÉS À L'INDIVIDU (HUMAIN)

1. FACTEURS PHYSIQUES

Caractéristiques physiques

- * taille, poids, âge, sexe
- * ossature, hauteur assis, portée fonctionnelle, longueur des jambes, largeur des épaules
- * force, coordination

Limites sensorielles

Vision

- * seuil visuel
- * acuité visuelle (vision des détails)
- * durée d'accommodation
- * adaptation à la lumière
- * vision périphérique
- * perception des vitesses et perception tridimensionnelle
- * myopie du champ visuel vide
- * lunettes, verres de contact

Autres

- * seuil auditif, compréhension
- * appareil vestibulaire
- * odorat, toucher
- * sensations kinesthésiques (corporelles)
- * tolérances aux forces d'accélération

2. FACTEURS PHYSIOLOGIQUES

Facteurs nutritionnels

- * ingestion d'aliments en 24 heures
- * heures écoulées depuis le dernier repas
- * déshydratation
- * au régime/perte de poids

Santé

- * maladie
- * forme physique
- * douleur
- * maux de dents
- * don de sang
- * obésité
- * grossesse
- * gestion du stress (signes émotifs/comportementaux)
- * tabagisme

Style de vie

- * amitiés
- * relations avec autrui
- * changements dans les activités
- * habitudes de vie

Fatigue

- * aiguë (court terme)
- * chronique (long terme)
- * nature des tâches
- * niveau d'activité (mentale et physique)

Service

- * durée du vol
- * heures en service
- * périodes de congé — activités

Sommeil

- * repos et durée des siestes de l'équipage
- * manque de sommeil, perturbation du sommeil
- * perturbation du rythme circadien (décalage horaire)

Drogues

- * médicaments en vente libre
- * médicaments sur ordonnance
- * drogues illicites
- * tabagisme, café, etc.

Alcool

- * facultés affaiblies
- * gueule de bois
- * dépendance

Incapacités

- * empoisonnement à l'oxyde de carbone
- * hypoxie, anoxie
- * hyperventilation
- * perte de conscience
- * mal des transports
- * intoxication alimentaire
- * émanations nauséabondes
- * émanations toxiques
- * autres

Décompression/plongée

- * décompression
- * expansion des gaz abdominaux
- * plongée sous l'eau

Illusions

Vestibulaires

- * somatogyrales (vertige)
- * somatograviques
- * d'inclinaison
- * de Coriolis
- * d'ascenseur
- * main géante

Visuelles

- * trou noir
- * autokinésie
- * erreur de position horizontale
- * mouvements circulaires
- * mouvements linéaires
- * illusion à l'atterrissage
- * illusion de clôture à mailles losangées
- * vertige stroboscopique
- * illusion de perspective

3. FACTEURS PSYCHOLOGIQUES

Perceptions

Types

- * absence de perception
- * erreur de perception
- * retard de perception

Délai de réaction

- * pour déceler (un obstacle)
- * pour prendre la bonne décision
- * pour exécuter l'action appropriée

Désorientation

- * conscience de la situation
- * spatiale
- * visuelle
- * temporelle
- * géographique (égarement)

Attention

- * durée d'attention
- * inattention (générale, sélective)

- * distraction (interne, externe)
- * attention canalisée
- * fascination, fixation
- * vigilance, ennui, monotonie
- * perturbation des habitudes
- * substitution d'habitudes
- * perturbation de la notion du temps

Traitement de l'information

- * capacité mentale
- * prise de décision (tardive, mauvaise)
- * jugement (tardif, mauvais)
- * capacité de mémoriser
- * oubli
- * coordination, évaluation du temps

Charge de travail

- * saturation de tâches
- * insuffisance de tâches
- * établissement des priorités
- * éléments des tâches

Expérience/récence

- * à ce poste
- * sur ce type d'aéronef, temps total
- * sur les instruments
- * sur cette route, cet aérodrome
- * de nuit
- * des procédures d'urgence

Connaissances

- * compétences
- * habiletés/techniques
- * discipline de l'air
- * procédures

Formation

- * initiale
- * en cours d'emploi
- * au sol
- * en vol
- * de transition, transfert d'apprentissage
- * périodique
- * aspects posant problème
- * procédures d'urgence

Planification

- * avant le vol
- * en vol

Attitudes/humeur

- * humeur
- * motivation
- * habitude
- * attitude
- * ennui
- * relâchement de vigilance

Attentes

- * cadre mental/anticipations
- * hypothèses fausses
- * syndrome du retour au bercail
- * goût du risque

Confiance

- * en l'aéronef
- * envers le matériel
- * en soi
- * excès de confiance, fanfaron

État mental et émotif

- * émotivité
- * anxiété
- * appréhension
- * panique

- * niveau d'activation/réactions
- * pression mentale/stress auto-induit

Personnalité

- * introverti, grognon, intraitable
- * hostile, sarcastique, négatif
- * agressif, autoritaire, impulsif
- * émotif, négligent, immature
- * fervent du risque, insécure, suiveur
- * désorganisé, trainard, désordonné
- * anti-autoritaire, résigné
- * invulnérable, macho

4. FACTEURS PSYCHOSOCIAUX

- * tension mentale
- * conflits interpersonnels
- * perte personnelle
- * problèmes financiers
- * changements importants dans le mode de vie
- * pressions familiales

FACTEURS LIÉS AUX INDIVIDUS ET À LEUR TRAVAIL**1. INTERFACE HUMAIN-HUMAIN****Communication verbale**

- * perturbations causées par le bruit
- * erreur d'interprétation
- * phraséologie (de l'exploitation)
- * contenu, débit
- * barrière linguistique
- * répétition verbale/mentale

Signaux visuels

- * signalisation au sol/manuelle
- * langage corporel

Interactions entre membres d'équipage

- * supervision
- * briefings et consignes
- * coordination
- * compatibilité/jumelage
- * gestion des ressources en équipe
- * attribution des tâches
- * âge, personnalité, expérience

Contrôleurs

- * supervision
- * briefing
- * coordination

Passagers

- * comportement
- * briefing
- * connaissance des procédures de bord

RELATION ENTRE EMPLOYÉS ET DIRECTION**Personnel**

- * recrutement et sélection
- * effectifs nécessaires
- * formation
- * politiques
- * rémunérations/incitations
- * jumelage des membres d'équipage, horaires
- * ancienneté
- * attribution de ressources
- * soutien/contrôle d'exploitation

- * directives/ consignes/ordres
- * pressions exercées par la direction

Supervision

- * supervision de l'exploitation
- * contrôle qualité
- * normes

Relations de travail

- * entre employés, entre les employés et la direction
- * action revendicative
- * syndicats/groupes professionnels

Pressions

- * pressions mentales (opérationnelles)
- * moral
- * pression des collègues

Organisme de réglementation

- * normes
- * réglementation
- * application
- * contrôle
- * inspection
- * surveillance

2. INTERFACE HUMAIN-MATÉRIEL (HUMAIN-MACHINE)

Matériel

Commutateurs, commandes, affichages

- * conception des instruments/commandes
- * emplacement des instruments/commandes
- * déplacement des instruments/commandes
- * couleurs, marques, éclairage
- * confusion, uniformisation

Espace de travail

- * aménagement de l'espace de travail
- * uniformisation de l'espace de travail
- * matériel de communication
- * position de référence des yeux
- * design des sièges
- * restriction des mouvements
- * niveau d'éclairage
- * charge de travail
- * écrans d'affichage
- * restrictions de la visibilité
- * alertes et avertissements
- * confort du matériel personnel
- * liaison de données
- * manipulation des instruments (problèmes de doigts)

3. INTERFACE HUMAIN-DOCUMENTATION (HUMAIN-SYSTÈME)

Information écrite

- * manuels
- * listes de vérification
- * publications
- * règlements
- * cartes de vol à vue et de radionavigation
- * NOTAM
- * procédures d'utilisation normalisée
- * signalisation
- * directives

Ordinateurs

- * logiciels
- * convivialité

Automatisation

- * charge de travail de l'opérateur
- * surveillance des tâches
- * saturation par le nombre de tâches
- * conscience de la situation
- * maintien des habiletés
- * utilisation

Exigences réglementaires

- * qualifications pour le poste
- * qualifications en gestion
- * certification
- * certificat médical
- * licence/qualifications
- * non-application
- * antécédents d'infractions

4. INTERFACE HUMAIN-ENVIRONNEMENT

INTERNE

- * chaleur, froid, humidité
- * pression ambiante
- * éclairage, reflets
- * accélération
- * perturbations causées par le bruit
- * vibrations
- * qualité de l'air, pollution, gaz
- * ozone, radiations

EXTERNE

Météo

- * briefing météo, installations FSS
- * météo: réelle, prévisions
- * visibilité, plafond
- * turbulence (vent, mécanique)
- * blanc dehors

Autres facteurs

- * période de la journée
- * lumière ambiante, reflets
- * présence d'autres aéronefs
- * rafales
- * obstacles (relief/eau)

Infrastructure

Service de régulation des vols

- * type d'installations
- * utilisation
- * qualité du service

Porte d'embarquement

- * APU
- * matériel de remorquage
- * matériel de ravitaillement en carburant
- * matériel de soutien

Aérodrome

- * caractéristiques des pistes/voies de circulation
- * marques, balisage lumineux, obstacles
- * aides à l'approche
- * matériel de secours
- * installations radar
- * installations ATC
- * FSS, installations météo
- * installations du terrain d'aviation

Maintenance

- * matériel de soutien
- * disponibilité des pièces
- * normes, procédures et pratiques d'exploitation
- * pratiques de contrôle qualité
- * entretien et inspection
- * formation
- * documents exigés

LISTE DE VÉRIFICATION C — SÉLECTION, FORMATION ET EXPÉRIENCE

INTRODUCTION

Dans le contexte de l'aspect facteurs humains de l'enquête, la présente liste de vérification vise à aider l'enquêteur, pendant la phase d'enquête sur les lieux, à établir une base factuelle complète sur les questions de sélection, de formation et d'expérience en rapport avec l'accident dont il s'agit.

Cette liste est aussi générique que possible afin que les enquêteurs puissent l'appliquer à toute circonstance, en remplaçant, par exemple, «pilote» par «contrôleur aérien» ou «technicien d'entretien d'aéronef». Cependant, puisque la plupart des accidents sont uniques et différents, il faut faire preuve de discernement pour l'adapter à chaque cas particulier. La liste de vérification devient ainsi un outil dynamique, en étant actualisée à mesure qu'on l'utilise.

A. SÉLECTION

- 1) Quand le pilote a-t-il été choisi pour occuper ce poste?
 - 2) Comment le pilote a-t-il été choisi?
 - a) Quelles étaient les qualifications requises? (expérience, instruction, formation, exigences physiques/médicales)
 - b) Des examens ont-ils été nécessaires? Lesquels? Quand ont-ils eu lieu?
 - c) Quelles licences spéciales étaient exigées?
 - d) Les qualifications, références et licences du pilote ont-elles été vérifiées auprès de son dernier employeur avant son embauche?
 - 3) Une formation particulière a-t-elle été donnée au pilote avant l'affectation à son poste? Dans l'affirmative:
 - a) Décrire le contenu.
 - b) Préciser les dates.
 - c) Indiquer qui l'a dispensée.
 - 4) Une formation particulière a-t-elle été donnée au pilote après l'affectation à son poste? Dans l'affirmative:
 - a) Décrire le contenu.
 - b) Préciser les dates.
 - c) Indiquer qui l'a dispensée.
 - 5) Des problèmes de performance du pilote ont-ils été observés après son entrée en fonction? Dans l'affirmative:
 - a) Décrire les problèmes.
 - b) Quand ces observations ont-elles été effectuées?
 - c) Qui a fait ces observations?
 - d) Quelles ont été les mesures prises pour remédier aux problèmes, le cas échéant?
- 2) Dans quels autres emplois le pilote a-t-il utilisé d'autres matériels dans cette modalité?
 - 3) Quelle a été la durée de travail totale du pilote dans cette modalité?
 - 4) Depuis combien de temps le pilote travaille-t-il pour cet employeur?
 - 5) Combien de temps le pilote a-t-il travaillé pour ses employeurs précédents?
 - 6) L'employeur actuel a-t-il vérifié l'expérience antérieure du pilote?
 - 7) Le pilote a-t-il été mêlé à d'autres accidents dans cette modalité? Dans l'affirmative:
 - a) Décrire les circonstances.
 - b) Quand?
 - c) Quel était le matériel utilisé?
 - 8) Le pilote a-t-il déjà été mêlé à d'autres accidents dans d'autres modalités? Dans l'affirmative:
 - a) Décrire les circonstances.
 - b) Quand?
 - c) Quel était le matériel utilisé?
 - 9) Le pilote s'est-il déjà plaint ou a-t-il déjà signalé des problèmes d'utilisation de ce matériel particulier? Dans l'affirmative:
 - a) Décrire la nature des plaintes ou des comptes rendus.
 - b) Quand?
 - c) Des mesures correctives ont-elles été prises? Par qui? Quand?
 - d) Y a-t-il déjà eu des plaintes ou des comptes rendus similaires? Donner des précisions.

C. FORMATION DU PILOTE

L'enquêteur devrait examiner (demander copie au besoin) les dossiers, documents, règlements, manuels, bulletins et examens en rapport avec la formation du pilote.

- 1) Quelle formation le pilote a-t-il reçue sur l'utilisation du matériel dans cette modalité?
 - a) Décrire la formation en classe, sur simulateur, en cours d'emploi, le matériel utilisé, les sujets.
 - b) Quand le pilote a-t-il reçu cette formation?
 - c) Qui étaient les instructeurs et les superviseurs?
 - d) Comment la performance du pilote a-t-elle été évaluée (vérification en vol, au sol, sur simulateur, examen écrit)?
 - e) Quelle a été l'évaluation générale de la performance du pilote?
 - f) Des problèmes ont-ils été observés à propos de la performance du pilote? Dans l'affirmative:

B. EXPÉRIENCE DU PILOTE

- 1) Quelle autre expérience le pilote avait-il de ce matériel en particulier?

- Lesquels?
 - Comment ont-ils été consignés et par qui?
 - Quelles ont été les mesures correctives, le cas échéant?
- 2) Formation initiale et perfectionnement pour l'utilisation de ce matériel particulier:
- a) Le pilote a-t-il reçu de la formation sur ce matériel de plusieurs employeurs? Dans l'affirmative:
- Quel employeur lui a donné la formation initiale?
 - Quand?
 - Quelle a été l'importance accordée:
 - au respect des procédures d'utilisation normalisées (SOP)?
 - au respect des règles et règlements?
 - aux évaluations de performance (vérifications en vol, examens, etc.)?
- b) Y a-t-il eu des différences entre la formation initiale du pilote et tout suivi ou perfectionnement ultérieur, en ce qui concerne:
- le respect des SOP?
 - le respect des règles et règlements?
 - l'utilisation des évaluations de performance (vérifications en vol, examens, etc.)?
- c) Une de ces différences semble-t-elle avoir rapport avec l'événement?
- Le pilote a-t-il enfreint des SOP qui lui ont été enseignées? Dans l'affirmative:
 - Lesquelles?
 - Quand ont-elles été enseignées?
 - Le pilote a-t-il enfreint des règles ou règlements qui lui ont été enseignés? Dans l'affirmative:
 - Lesquels?
 - Quand ont-ils été enseignés?
 - Le pilote a-t-il déjà enfreint des règles, des consignes ou des SOP? Dans l'affirmative:
 - Dans quelles circonstances?
 - Quelles ont été les mesures prises?
 - Le pilote a-t-il reçu récemment une formation qui aurait pu:
 - perturber ses connaissances et ses habiletés d'utilisation du matériel?
 - exiger l'emploi de nouvelles SOP différentes en cas d'urgence?
- 3) Autres points à propos de la formation:
- a) Le pilote a-t-il reçu récemment une formation:
- de transition pour apprendre utiliser dans cette modalité un matériel différent?
 - pour apprendre d'autres façons d'utiliser des matériels similaires?
- b) Si le pilote a reçu récemment une formation de transition ou une formation sur les différences:
- Préciser quand et décrire le type.
 - Vérifier si cette formation a pu interférer avec l'utilisation du matériel accidenté.
- c) Le pilote a-t-il des connaissances à jour sur tous les aspects de l'utilisation de ce matériel?
- Décrire les aspects pour lesquels elles ne sont pas à jour.
 - Décrire les examens, certificats ou licences exigés pour confirmer que les connaissances sont entièrement à jour.
- d) Évaluer si la formation était suffisante en ce qui concerne:
- Les situations d'urgence.
 - Les défaillances du matériel.
 - Les rapports d'entretien, les procédures de plainte, les registres.
 - Les interactions et la coordination entre membres d'équipage.
 - Les conditions défavorables (visibilité réduite, eaux agitées, rafales ou vents violents, fortes précipitations, etc.).
 - Les procédures de communication.
 - Les aspects physiologiques (repos, santé, nutrition, médicaments, drogue, alcool, etc.).
- e) Si des simulateurs ou du matériel d'instruction ont été utilisés pour la formation:
- Quelle a été la formation donnée sur ces simulateurs ou à l'aide de ce matériel?
 - Quelles sont les principales similarités et différences entre les simulateurs ou le matériel d'instruction et le matériel réel?
 - Quand cette formation a-t-elle été donnée?
 - Des problèmes ont-ils été observés à propos de la performance du pilote?
- f) Le pilote avait-il reçu une formation spécifique relative aux conditions dans lesquelles s'est produit l'événement (cisaillement du vent, mauvais fonctionnement du matériel, types particuliers d'urgences, phénomènes météorologiques)? Dans l'affirmative:
- Quand? décrire le type.
 - Quelle a été la performance du pilote au cours de la formation.
- g) Est-ce que le pilote donnait ou recevait de la formation quand l'événement s'est produit? Dans l'affirmative:
- Décrire les circonstances en détail.
 - Déterminer les qualifications de l'instructeur/des instructeurs ou du/des stagiaires en cause.
 - Quand cette formation a-t-elle débuté, et depuis combien de temps était-elle en cours?

Appendice 2 au Chapitre 4

TECHNIQUES D'ENTREVUE AVEC LES TÉMOINS

Les entrevues avec les personnes directement ou indirectement mêlées à un événement constituent une source d'éléments qui peuvent servir à corroborer, clarifier ou étoffer les informations obtenues par ailleurs. En l'absence de données mesurables, les entrevues deviennent la seule source d'information. Il importe donc que les enquêteurs connaissent les techniques qui assurent des entrevues efficaces.

L'information tirée des entrevues aide à déterminer ce qui s'est passé. Plus important encore, les entrevues sont souvent le seul moyen de répondre aux importants «pourquoi», ce qui, à son tour, peut faciliter la mise en place de mesures de sécurité appropriées et efficaces.

Dans la plupart des enquêtes, il faudra évaluer les facteurs humains et l'enquêteur qui en sera chargé devra interviewer diverses personnes: survivants (membres d'équipage et passagers), parents, amis, collègues, personnel de direction/du service de formation de la compagnie.

En se préparant aux entrevues, l'enquêteur se rappellera que chaque témoin a sa façon particulière de percevoir l'événement. Des agents de cabine ayant survécu à un écrasement pourraient se sentir coupables d'être encore vivants alors que d'autres ont perdu la vie ou se débattre avec leur rôle en se torturant à se demander ce qu'ils auraient pu faire. Des membres d'équipage de conduite peuvent être en proie à des émotions multiples: chagrin lorsqu'il y a eu des morts, pressions de la direction de la compagnie ou de représentants syndicaux, stress à l'idée que leur gagne-pain est en jeu, anxiété dans la perspective de sanctions, confusion à propos de ce qui s'est passé. La direction de la compagnie peut avoir des préoccupations centrées sur les questions de réglementation et de litiges, et réagir en conséquence.

Interviewer des parents est toujours difficile. Il faut imaginer le bouleversement ressenti par les proches: chagrin et colère devant la perte d'un être cher, culpabilité peut-être, anxiété suscitée par les préoccupations financières, confusion provenant des reportages des médias, etc. Un cas particulier est celui du témoin qui prend des médicaments pour se remettre du choc émotif ou des médicaments antidouleur s'il a été blessé, situation qui influera sur la longueur de l'entrevue et la validité du témoignage.

L'enquêteur doit être une sorte de caméléon, pouvoir s'adapter à toutes sortes de scénarios. Pour être efficace, il doit demeurer objectif et éviter de faire des évaluations au début de l'entrevue. Même s'il se trouve devant des indices contradictoires, il doit écouter le témoin et suspendre son jugement sur

l'information fournie jusqu'à ce que les faits aient été recueillis et qu'une évaluation ait pu être faite: un pilote qui vient d'être renvoyé pourrait chercher par ressentiment à souiller la réputation de la compagnie, mais peut aussi être un témoin crédible qui relate des faits tout à fait véridiques.

L'enquêteur doit porter une attention spéciale aux parents affligés, leur témoignant la compassion qui convient tout en gardant sa réserve. L'entrevue est une situation dynamique et, pour en tirer parti, l'enquêteur doit pouvoir s'adapter, savoir quand il convient ou non d'insister. Avant d'interviewer quelqu'un, l'enquêteur doit s'efforcer d'obtenir autant d'information que possible sur des facteurs tels que les circonstances de l'écrasement (visiter les lieux peut être utile), les procédures applicables qui étaient en vigueur (pour comparer avec ce qui a été fait en réalité), sur l'équipage (l'examen des dossiers du pilote permet, par exemple, de savoir s'il devait porter des verres correcteurs et, lors des entrevues, d'essayer de déterminer s'il les portait pendant le vol), et ainsi de suite. En accumulant le plus d'information possible avant l'entrevue, l'enquêteur dispose d'une marge de manoeuvre et s'évite d'avoir à reprendre l'entrevue.

Réussite de l'entrevue

Les entrevues fructueuses découlent d'une planification efficace. Avant de procéder à l'entrevue, il faut considérer un certain nombre de points.

Moment choisi pour l'entrevue

Les entrevues devraient avoir lieu le plus tôt possible après l'événement pour éviter la perte d'information périssable résultant de défaillances de la mémoire ou de rationalisations. Plus le temps passe, plus l'information risque d'être contaminée, ce qui se produit lorsque les témoins discutent entre eux ou lisent et écoutent les reportages des médias. S'il est nécessaire de retarder les entrevues, des déclarations écrites devraient être demandées. Celles-ci ont le double rôle de recueillir les faits avant qu'ils ne s'estompent naturellement et d'aider l'enquêteur à préparer l'entrevue qui suivra.

Lieu

Les témoins devraient être mis à l'aise; à cet effet, l'enquêteur devrait choisir un endroit calme, assez confortable et à l'abri des interruptions. Si le témoin désire fumer, l'enquêteur devrait l'y autoriser. Les membres de la famille préféreront sans doute être interviewés chez eux.

Méthode

Puisque les facteurs humains imprègnent tous les aspects d'un accident, l'enquêteur sur cet aspect a souvent intérêt à mener ses entrevues en même temps que les enquêteurs d'autres groupes. Cette approche tient compte du besoin d'une «fertilisation croisée» dans le cadre d'une enquête et constitue ainsi un outil efficace pour obtenir de l'information. Le travail d'équipe peut éliminer la nécessité de soumettre un témoin à une deuxième entrevue et permettre ainsi une utilisation plus efficace des ressources. En outre, comme membres d'une équipe, les enquêteurs seront en mesure de corroborer l'information recueillie. Avant de décider d'adopter la méthode du travail en équipe, il faut tenir compte de la personnalité du témoin et du fait que l'information recherchée peut être de nature sensible. Dans certains cas, une entrevue en privé donne de meilleurs résultats.

Pendant une entrevue, l'enquêteur devrait limiter ses interventions et se concentrer plutôt sur l'écoute active (un enquêteur qui parle n'écoute pas). Bien entendu, il doit diriger l'entrevue et la faire avancer, mais en général, moins il est actif, plus l'entrevue est productive. En écoutant le témoin, l'enquêteur sera en mesure de reformuler des questions pertinentes, de relever les contradictions et les changements soudains dans la conversation, de percevoir les sous-entendus et d'observer les gestes et le comportement du témoin.

Le silence peut être très efficace au cours d'une entrevue, et l'enquêteur devrait éviter d'essayer de remplir trop rapidement les pauses dans la conversation. Dans bien des cas, le témoin désire parler de l'événement, de l'ami, du mari ou de l'épouse qu'il vient de perdre, des torts qui devraient être redressés, etc. et il remplit souvent les vides lui-même.

Coopération

La coopération, qui est essentielle à la réussite de l'entrevue, dépend souvent de l'impression que l'enquêteur produit sur la personne interviewée. Une attitude amicale et aussi discrète que possible, qui traite le témoin sur un pied d'égalité, est préférable à un style volubile ou bureaucratique. Des choses simples, comme le fait d'évaluer qui on va rencontrer et de s'habiller en conséquence, peuvent avoir une incidence sur l'empressement à fournir des renseignements. Des vêtements décontractés peuvent être préférables à un complet cravate et sembler moins intimidants dans certains milieux. En établissant une relation de confiance mutuelle avec le témoin, l'enquêteur a plus de chances de laisser libre cours à l'information, aux idées et aux opinions. Selon le *Manuel d'investigations techniques sur les accidents d'aviation* de l'OACI, «lorsque l'investigateur interroge un témoin, il doit procéder plutôt à un entretien qu'à un interrogatoire».

Contrôle

L'enquêteur doit absolument garder le contrôle de l'entrevue. Dans certains cas, un témoin peut désirer la compagnie d'une autre personne comme soutien (parent désirant être présent pendant l'entrevue avec un enfant, survivants préférant être

accompagnés par leur conjoint, membre d'équipage exigeant la présence d'un avocat ou d'un représentant syndical). Ce désir devrait être respecté. Le contrôle devient difficile en présence de tierces parties, mais si l'enquêteur établit dès le début les règles de base, il limitera les interruptions. Avant le début de l'entrevue, toutes les parties présentes devraient convenir que la présence d'une tierce partie, autre qu'un expert assistant l'enquêteur, ne sera envisagée qu'à la demande du témoin, que l'enquêteur est la seule personne qui posera des questions au témoin, que des questions d'autres parties présentes pourront être soumises par écrit à l'enquêteur et, si elles sont acceptées, être posées au moment opportun, et enfin que l'enquêteur a le droit de refuser la présence de certaines personnes si elle risque de nuire à l'entrevue.

Magnétophone

L'utilisation d'un magnétophone est importante car elle permet à l'enquêteur de concentrer toute son attention sur les paroles du témoin. Le magnétophone enregistre absolument tout ce qui est dit et permet de réécouter un témoignage. L'enquêteur doit être prêt à ce qu'un témoin ait des réticences à l'enregistrement de ses déclarations. Dans ce cas, il faudra lui expliquer que le magnétophone permet d'accélérer l'entrevue et de vérifier ce qui a été dit. L'utilisation du magnétophone peut être justifiée par le fait que c'est un moyen d'enregistrement fiable, pouvant éviter de soumettre un témoin à une autre entrevue. La réticence du témoin disparaît rapidement si le magnétophone est utilisé avec discrétion. S'il estime que cette réticence risque de ne pas se dissiper, l'enquêteur devra se servir d'un autre moyen, tel que la prise de notes. Ceux qui adoptent la méthode de l'entrevue en équipe sont mieux en mesure de le faire, car un des enquêteurs peut prendre des notes pendant qu'un autre pose des questions.

Structure

Les entrevues efficaces sont caractérisées par une structure logique axée sur l'obtention d'un maximum de qualité et de quantité d'information. L'entrevue comporte quatre parties principales : le plan, l'introduction, le corps et la clôture, chacune visant un but particulier. S'il y a de nombreux survivants, une liste de questions à poser à chacun d'eux devrait être préparée pour qu'il soit possible de comparer par la suite la fiabilité de leurs réponses.

Le plan

Avant d'interviewer un témoin, l'enquêteur doit définir les objectifs généraux de l'entrevue, être conscient des obstacles qui pourraient compromettre l'atteinte de ces objectifs et comprendre les attentes du témoin. L'enquêteur devrait avoir quelques renseignements sur la personne à interviewer et déterminer sur cette base les questions à lui poser. À cette étape, il peut établir l'ordre des questions et déterminer quand poser les plus difficiles. De nombreux témoins (notamment la famille proche) ont le droit légitime de s'informer sur ce qui s'est passé. L'enquêteur doit prévoir d'avance l'information qu'il communiquera au témoin au moment opportun pendant l'entrevue.

Préparer une liste de questions à suivre rigoureusement n'est pas le but de la planification. Celle-ci visera plutôt à faire en sorte que tous les points d'intérêt soient couverts pendant l'entrevue.

L'entrée en matière

Pour la plupart des témoins, c'est sans doute la première fois qu'ils sont interrogés par un enquêteur. Ils ont des appréhensions et peuvent être inquiets à propos de l'entrevue et de son résultat final. Il importe donc de les rassurer autant que possible. À cet effet, l'enquêteur devrait expliquer à chaque témoin le rôle de l'enquêteur, le rôle et les droits du témoin (l'aviser qu'il aura accès à la transcription), le but de l'entrevue, et la méthode d'entrevue. Il faut amener le témoin à prendre conscience de l'importance de sa participation pour la détermination de la cause de l'événement et la mise en place de mesures de prévention.

Le corps de l'entrevue

La bonne question posée de la bonne façon et au bon moment est un puissant outil. Elle est centrée sur l'information importante, met fin à une conversation improductive, aide le témoin à se concentrer, permet que l'entrevue se déroule sans accroc.

La façon la plus facile et la plus efficace d'amorcer une entrevue consiste dans bien des cas à demander au témoin de raconter ce qu'il sait, sans l'interrompre. L'enquêteur écoutera attentivement ce qui est dit et s'abstiendra de tous gestes ou mimiques suggestifs. Une telle approche n'est pas menaçante. Elle convainc les témoins que ce qu'ils disent est important, commence à établir un lien entre les deux interlocuteurs et donne à l'enquêteur de l'information «non contaminée».

Quand il devient évident que le témoin n'a rien d'autre à dire, l'enquêteur peut commencer à lui poser des questions plus précises. Cependant, il n'est pas nécessaire de modifier l'approche. L'enquêteur peut aborder chaque sujet particulier par une question générale, et demander davantage de précisions à mesure que le témoin donne des réponses plus précises. En amenant le témoin à coopérer dans un contexte général, l'enquêteur augmente ses chances de l'inciter à coopérer dans un contexte plus précis.

Il existe divers types de questions, et chacune entraîne un type différent de réponse. La question générale ou «ouverte» est la moins suggestive et laisse le témoin répondre à sa façon et formuler des opinions au besoin. Avec un des parents, une question du genre «Je ne connaissais pas votre fils; pourriez-vous me parler de lui?» produit le même résultat qu'une question qui permet de raconter librement. Le témoin commence à parler d'un sujet familier, non menaçant. Il arrive souvent que le témoin commence à répondre à une question avant que l'enquêteur ait fini de la poser. Ce dernier peut en tirer profit en posant des questions ouvertes ou incomplètes — par exemple, «Vous venez de dire que votre formation était ...». Ces questions peuvent susciter des descriptions rapides et précises, et inciter le témoin à participer davantage.

La question ouverte risque de ne pas susciter la réponse désirée. L'enquêteur peut avoir à ramener le témoin sur le sujet en lui posant des questions plus précises. Une mise en garde toutefois à ce propos: plus la question est précise, plus elle risque de devenir suggestive et de porter le témoin à se souvenir de quelque chose qu'il ne connaissait pas ou n'a pas observé. «Le pilote était-il fatigué?» est une question suggestive car elle contient un élément de réponse, ce qui contamine l'information. Il vaudrait mieux demander au témoin de «décrire l'état physique du pilote et sa perception récente de son travail». Une question telle que «Quelle était la compétence du pilote pour effectuer des remises des gaz sur un seul moteur?» emploie un mot «marqué» (compétence) et élimine en fait la neutralité que l'enquêteur cherchait sans doute à assurer par sa question. En employant des mots non marqués et en commençant par une série de questions, l'enquêteur peut obtenir l'information sans la contaminer. Demander, par exemple, «Quelle est la politique concernant les exercices de remise des gaz sur un seul moteur?», enchaîner par «Quand le pilote s'est-il exercé à pratiquer cette procédure?» et terminer par «Décrivez la procédure employée par le pilote pendant son dernier exercice» est une méthode neutre, non suggestive pour le témoin.

La question fermée (qui demande une réponse par oui ou par non) apportera très peu d'information et devrait être évitée, si ce n'est dans un but bien précis. «Votre mari vous a-t-il parlé de problèmes qu'il avait avec le chef pilote?»; «Le copilote craignait-il de se rendre à cet aéroport parce qu'il n'avait jamais volé sur cette route auparavant?»; «Le commandant et le copilote avaient-ils de la difficulté à travailler en équipe?» sont toutes des questions auxquelles on peut répondre par oui ou par non, et l'enquêteur devra employer une autre tactique pour obtenir des réponses plus complètes. Il peut avoir plus de succès en posant des questions telles que: «Comment votre mari percevait-il son travail au sein de cette compagnie?»; «Vous avez dit que le copilote craignait de se rendre à cet aéroport, pouvez-vous expliquer pourquoi?»; «Pouvez-vous décrire les relations de travail entre le commandant et le copilote?».

Il arrive que l'enquêteur doive poser des questions plus personnelles, ce qui demandera une approche indirecte. Par exemple, l'enquêteur pense que le pilote décédé était stressé par des problèmes conjugaux. S'il demande au conjoint «Quelque chose a-t-il pu contrarier votre mari le jour de l'accident?» ou «Avez-vous remarqué un changement de comportement chez votre mari récemment?», il a plus de chances de connaître la vérité. L'approche indirecte dans les situations délicates élimine également le risque de mettre brusquement un terme à l'entrevue, comme ce serait le cas d'une question plus directe telle que «Vous et votre mari, aviez-vous des problèmes conjugaux?»

Les questions devraient être brèves, claires et sans ambiguïté. Elles devraient porter sur l'information désirée et n'être posées qu'une à la fois. Éviter le jargon et la terminologie qui risquent d'égarer les témoins ou de les intimider. Certains témoins qui ont de la difficulté à se souvenir de ce qui s'est passé peuvent trouver utile d'écouter l'enregistrement de

leur description initiale de l'événement. En écoutant leur témoignage, ils se souviennent tout à coup d'informations oubliées. Vers la fin de l'entrevue, il convient de demander aux témoins s'ils ont d'autres renseignements à ajouter ou des questions à poser.

La clôture

La clôture de l'entrevue est le moment de résumer les points essentiels et de vérifier si l'information obtenue a été bien comprise, d'assurer le témoin que l'entrevue a été fructueuse, de lui demander s'il sera disponible plus tard au besoin, et de se mettre à sa disposition pour le cas où il voudrait fournir des renseignements complémentaires ou être mis au courant de la progression de l'enquête.

Évaluation

Aucune des informations recueillies pendant une entrevue ne devrait être prise pour argent comptant. Les faits relatifs à la santé peuvent être vérifiés d'après les dossiers médicaux, les questions de fatigue par les horaires de travail, les attitudes envers la direction, la formation ou l'entretien au moyen d'entrevues avec des membres de la famille, des amis et des

collègues, et ainsi de suite. En comparant l'information obtenue lors des entrevues à celle tirée d'autres sources, l'enquêteur sera en mesure de se faire une meilleure idée d'ensemble et d'établir la crédibilité des témoins. La pondération de l'information recueillie lors des entrevues et un tableau comparant les informations obtenues de plusieurs témoins sont des moyens efficaces de quantifier et de qualifier ces informations.

En évaluant la validité et l'importance de l'information, l'enquêteur ne doit pas oublier que les témoins perçoivent les faits d'après leurs propres idées préconçues, et qu'il en est de même pour les enquêteurs. Un exemple est «l'effet de halo», qui se manifeste lorsque l'enquêteur établit son impression générale (positive ou négative) d'une personne d'après une seule caractéristique, qui biaise son évaluation des idées de cette personne. Par exemple, une personne en apparence à l'aise et sûre d'elle peut dégager plus de crédibilité qu'elle n'en mérite.

Bref, l'entrevue est dynamique et se déroule en temps réel. Pour qu'elle soit fructueuse, il faut que l'intervieweur l'ait planifiée, maîtrisée et qu'il soit réceptif. Il est possible de réinterroger une personne, mais rien ne remplace une première entrevue efficace.

Appendice 3 au Chapitre 4

FACTEURS HUMAINS EXPLICATIFS

<i>Facteurs explicatifs</i>		<i>Facteurs explicatifs</i>	
L'INDIVIDU		Décompression/Plongée	Décompression Expansion des gaz abdominaux Plongée sous-marine
Facteurs physiques — caractéristiques de l'individu		Autres facteurs physiologiques limitatifs	
Caractéristiques physiques	Taille Poids Force Âge		
Limites sensorielles	Seuil sensoriel (vision/visuel) Audition Vestibulaire (oreille interne) Sensibilité proprioceptive (récepteurs sensoriels — muscles/articulations) Odorat Toucher Sens kinesthésique (sensations musculaires) Tolérance au facteur G	Facteurs psychologiques — état mental Perceptions/Illusions	Conscience de la situation Désorientation — spatiale Désorientation — visuelle Désorientation — temporelle Désorientation — géographique (perdu) Désorientation — autre Vertige Illusion — visuelle Illusion — vestibulaire
Autres facteurs physiques limitatifs		Attention	Durée d'attention Inattention Distraction Canalisation de l'attention Fascination Vigilance
Facteurs physiologiques — état physique			Attention — divers Motivation Attitude Habitudes Ennui/monotonie Relâchement de vigilance Idée fixe/attentes Fausses hypothèses Syndrome du retour au bercail Confiance — dans l'appareil Confiance — dans les équipements Confiance — en soi Attitudes — divers
Santé/style de vie	Maladie Aptitude physique Régime Obésité Âge Stress Fumeur (gros fumeur) Grossesse Don de sang Conditions prédisposantes — divers	Attitudes	Capacité mentale Prise de décisions Jugement Mémoire Oubli Coordination/évaluation du temps Traitement de l'information — divers
Fatigue	Fatigue — aiguë Fatigue — chronique Fatigue — habiletés Fatigue — divers Repos de l'équipage Déficit de sommeil/perturbation du sommeil Autres troubles du sommeil Disrythmie circadienne ("jet lag")	Traitement de l'information	Expérience — à ce poste Expérience — d'emploi des instruments Expérience — sur ce type d'avion Expérience — totale en aviation Expérience — divers Récence — à ce poste Récence — emploi des instruments Récence — sur ce type d'avion Récence — sur l'aérodrome/la route Récence — divers
Médicaments/drogues	Médicaments — en vente libre Médicaments — sur ordonnance Drogues — illicites Stimulants divers (café, cigarette)	Expérience/récence	Compétence Habiletés/techniques Discipline de l'air
Alcool	Alcool — facultés affaiblies Alcool — gueule de bois Alcool — dépendance		
Incapacités	Empoisonnement par monoxyde de carbone Hypoxie/anoxie Hyperventilation Perte de conscience Mal des voyages Émanations nauséabondes Émanations toxiques Médicales — divers	Connaissances	

<i>Facteurs explicatifs</i>		<i>Facteurs explicatifs</i>	
Formation	Formation — initiale Formation — en cours d'emploi Formation — au sol Formation — en vol Formation — périodique	Humain-machine — interactions avec les équipements au poste de travail	
Planification	Planification — avant le vol Planification — en vol	Équipements	Conception des instruments/ commandes Emplacement des instruments/ commandes
État mental	État émotionnel Anxiété Appréhension Panique Niveau d'activation/réactions Pression mentale/Stress auto-induit		Agencement de l'espace de travail Uniformisation de l'espace de travail Confort personnel Charge de travail moteur Affichages d'information Obstacles à la vision Alarmes et avertissements Position de référence des yeux
Personnalité	Type — agressif Type — ayant de l'assurance Type — manquant d'assurance Type — divers	Autres interactions humain-machine	
Charge de travail	Saturation Sous-occupation Conscience de la situation Détermination des priorités	Humain-systèmes de soutien — interactions avec les systèmes de soutien en milieu de travail	
Autres facteurs psychologiques limitatifs		Information écrite	Manuels Listes de vérification Publications Réglementation Cartes et cartes aéronautiques NOTAM Procédures d'utilisation normalisées (SOP)
Facteurs psychosociaux — interactions sociales en dehors du travail		Ordinateurs	Logiciels Convivialité
Problèmes en dehors du travail	Pression mentale Conflit interpersonnel Perte personnelle Problèmes financiers Changements importants dans le style de vie Culture Pressions familiales	Automatismes	Charge de travail de l'opérateur Tâches de surveillance Saturation de tâches Connaissance de la situation Maintien des habiletés
Autres facteurs psychosociaux limitatifs		Autres interactions humain-documentation	
LES INTERFACES ENTRE LES INDIVIDUS ET LEUR TRAVAIL			
Entre personnes — interactions avec les autres en milieu de travail		Humain-environnement (interne) — interactions avec l'environnement dans le milieu de travail immédiat	
Communications verbales	Erreurs d'interprétation Expressions conventionnelles Barrière linguistique Relecture/réaudition Questions de communication — divers	Environnement	Chaleur Froid Pression ambiante Éclairage Éblouissement Accélération Effet du bruit Brouillage Vibrations Qualité de l'air Humidité Pollution/émanations Ozone Rayonnement Conditions de travail — divers
Signaux visuels	Signalisation Signaux au sol/manuels Langage corporel Liaison de données		
Interactions entre membres d'équipage	Supervision de l'équipage Briefing de l'équipage Coordination de l'équipage Compatibilité de l'équipage Gestion en équipe du poste de pilotage Attribution des tâches aux membres d'équipage Équipage — questions de comportement diverses		
Contrôleurs	Supervision contrôleurs Briefing contrôleurs Coordination contrôleurs Contrôleurs — divers	Conditions météorologiques/ géographie	Visibilité météorologique Turbulence Infrastructure Heure de la journée Éclairage/éblouissement Autre trafic aérien Rafales
Passagers Autres interactions humain-humain	Comportement des passagers		

	<i>Facteurs explicatifs</i>		<i>Facteurs explicatifs</i>
Illusions	Somatograviques Somatogyrales D’inclinaison De Coriolis Myopie en espace vide Blanc dehors Vertige de papillotement Aérodrome — illusions à l’atterrissage Illusions — Divers	Supervision Conditions requises	Soutien à l’exploitation Contrôle d’exploitation Instructions/directives/consignes Pressions de l’encadrement sur l’exploitation Supervision de l’exploitation Contrôle de qualité Normes Qualification — pour le poste Qualification — sur type Certification Certificat médical Licence/qualifications Exigences non remplies Antécédents d’infractions Autres facteurs
Travailleur-encadrement — interactions entre le travailleur et les cadres			
Personnel	Recrutement du personnel Dotation en personnel Formation du personnel Politique du personnel Rémunération/encouragements Horaires de travail du personnel Jumelage des équipages Ancienneté Affectations	Relations de travail Pressions Autres interactions humain-environnement	Relations employé — cadres Action revendicative Groupe syndical/professionnel Pression mentale — opérationnelle Moral Pression des pairs

Appendice 4 au Chapitre 4

BASE DE DONNÉES SUR LES ACCIDENTS ET INCIDENTS D'AVIATION

Les sources les plus utiles de renseignements factuels sur lesquels s'appuyer sont les références et les bases de données directement liées au milieu de l'exploitation aéronautique, parce que ce sont les renseignements qu'il est le plus facile de généraliser par rapport aux faits établis d'un accident d'aviation déterminé. Les renseignements tirés de ces bases de données (si elles sont consultées avec circonspection) peuvent aider à répondre à la question «Quelle est la fréquence de tels événements ou comportements?» (c'est-à-dire, combien d'accidents ou d'incidents ont comporté les mêmes déficiences de la performance?). Pour parvenir à des conclusions sur les probabilités que des accidents ou incidents similaires se reproduisent, il faut disposer de renseignements précis à propos des caractéristiques des échantillons dans les bases de données examinées et de la fréquence avec laquelle les aéronefs ou les pilotes sont exposés à des situations similaires. On trouvera ci-après des exemples de sources de données.

Bases de données sur les accidents et les incidents établies par les organismes d'enquête

L'OACI tient à jour le système ADREP, décrit dans le Document 9156. En outre, plusieurs États membres de l'OACI ont leurs propres bases de données sur les accidents et incidents. Ces bases sont structurées différemment, et chacune a sa propre méthode d'accès aux données sur les facteurs humains. Étant donné que la terminologie des facteurs humains en aéronautique n'est pas encore normalisée et qu'il n'y a pas de taxonomie normalisée des causes d'erreur humaine, il n'y a pas d'ensemble de mots clés que l'on puisse employer pour trouver dans toutes les bases de données les causes communes relevant des facteurs humains.

Bon nombre de bases de données sur les accidents contiennent de l'information utile. Leur consultation est recommandée pourvu que l'enquêteur connaisse la signification des données qu'elles contiennent. Les États n'utilisent pas tous les mêmes critères de sélection des accidents à inclure dans leurs bases de données. Il est donc risqué de procéder à des analyses statistiques en combinant les données de plusieurs bases. En outre, les codes des bases de données (par exemple, les mots clés utilisés pour les facteurs humains) peuvent avoir des sens différents pour différentes personnes. L'enquêteur est fortement encouragé à demander l'aide du responsable de la base de données qu'il consulte. L'enquêteur a également intérêt à poser des questions aux enquêteurs et aux responsables du codage de l'information introduite dans la base de

données. Ce sont les seules personnes qui pourront expliquer, par exemple, le critère qui a été utilisé pour l'emploi du codage «surcharge mentale» ou «pression auto-induite» comme facteur causal sous-jacent d'un accident.

Bases de données sur les accidents et les incidents établies par les avionneurs

Un certain nombre de constructeurs aéronautiques tiennent à jour leurs propres bases de données sur les accidents et incidents pour répondre à leurs propres besoins et à ceux de leurs clients. Certaines sont accessibles au public. Voici un exemple de bases de données sur les accidents/incidents qui peut intéresser les enquêteurs:

- L'Organisme de sécurité des produits de *Boeing Commercial Airplane Company* publie chaque année un sommaire statistique des accidents survenus à des avions à réaction commerciaux. Il gère également une base de données informatisée et sur papier de tous les accidents d'avions à réaction commerciaux (à l'exception des avions construits ou exploités en Russie et des avions de type commercial exploités par les militaires). Les données sur les accidents sont tirées des rapports d'accidents établis par le gouvernement et par divers services d'information gouvernementaux et privés. Les accidents qui sont consignés correspondent à la définition du *National Transportation Safety Board* (NTSB) des États-Unis pour le terme «accident». Les variables intéressantes à relever dans cette base de données sont la phase du vol (considérations relatives à la charge de travail), le type d'avion (conception) et les facteurs ayant contribué à l'accident (y compris l'équipage de conduite).

Programmes volontaires de comptes rendus d'accidents et d'incidents

Les programmes confidentiels de comptes rendus établis par plusieurs États pour recueillir de l'information sur les accidents et les incidents auprès des pilotes, des contrôleurs et d'autres membres du personnel aéronautique peuvent fournir beaucoup de renseignements utiles sur les facteurs humains. La participation à ces programmes est volontaire (une personne qui est mêlée à un incident ou qui en a connaissance

n’est pas tenue d’en rendre compte). D’ordinaire, une certaine protection est assurée à l’auteur d’un compte rendu, qui dans la plupart des cas a commis une erreur involontaire pendant qu’il pilotait ou contrôlait l’avion. Il arrive qu’on lui garantisse une certaine immunité (contre des actions telles que la suspension ou la révocation de sa licence de pilote, par exemple) en échange de laquelle l’organisme qui reçoit le compte rendu pourra en apprendre long sur les circonstances de l’incident. Cette information est pour ainsi dire impossible à obtenir après un accident ou un incident par des méthodes normales d’enquête, soit parce que le pilote est décédé, soit parce que l’auteur du compte rendu (pilote, contrôleur ou autre) n’est pas loquace, par crainte de représailles de la part de l’organisme gouvernemental de délivrance des licences, de la police ou de son employeur.

En général, les comptes rendus émanant de personnel impliqué, qu’ils soient recueillis par un enquêteur après l’incident ou communiqués par la personne impliquée par le biais d’un programme de comptes rendus confidentiels, peuvent contenir des éléments non véridiques ou des incohérences et il convient de les considérer comme tout autre élément d’information, qu’il faut pondérer et valider. L’enquêteur risque de mal interpréter les données qui proviennent de tels programmes s’il les considère comme des statistiques et essaie d’en tirer des conclusions, en présumant à tort que l’échantillon dans ce type de base de données est comparable à celui utilisé dans une base de données sur les accidents établies par l’organisme d’enquête d’un État (base de données ADREP de l’OACI ou celle du NTSB des États-Unis, par exemple).

Les bases de données établies d’après des comptes rendus confidentiels ne contiennent que de l’information communiquée volontairement. En fonction du degré d’immunité accordé et du type d’erreurs pour lesquelles cette immunité est garantie, le niveau de compte rendu de certains types d’erreurs risque d’être exagéré. Par exemple, dans le cas du *Aviation Safety Reporting System* (ASRS) des États-Unis géré par la

Federal Aviation Administration (FAA) et la National Aeronautics and Space Administration (NASA), un important pourcentage des comptes rendus portent sur des écarts par rapport à l’altitude assignée, parce que les pilotes qui signalent ces écarts à l’ASRS sont protégés contre la suspension de leurs licences (sanction courante en la matière).

L’enquêteur qui utilise ces données devrait donc consulter les responsables pour en comprendre la signification. Comme dans le cas des bases de données sur les accidents et incidents, ces renseignements peuvent être très utiles pourvu que l’enquêteur connaisse la portée et les limites de la base de données consultée.

Voici quelques bases de données reposant sur un programme de comptes rendus confidentiels:

Australie	CAIR P.O. Box 600 Civic Square ACT 2608
Canada	SECURITAS P.O. Box 1996 Station B Hull, P.Q. J8X 3Z2
Royaume-Uni	CHIRP Freepost RAF IAM Farnborough, Hants. GU14 6BR
États-Unis	ASRS Office 625 Ellis Street, Suite 305 Mountain View, CA 94043

Appendice 5 au Chapitre 4

RÉFÉRENCES

GÉNÉRALITÉS

- Hawkins, Frank H., *Human Factors in Flight*, Gower Technical Press, 1987.
- Wiener, E., et Nagel, D., *Human Factors in Aviation*, Academic Press, 1988.
- IATA, *Airline Guide to Human Factors*, Association du transport aérien international, Montréal, 1981.
- Hurst, R., et Hurst, L.R. (Eds.), *Pilot Error (2nd Edition)*, Granada Publishing Ltd. London, 1978.

ASPECTS COMPORTEMENTAUX

- Benson, A.J., et Burchard, E., *Spatial Disorientation: A Handbook for Aircrew*, NATO AGARD-AG-170, 1973.
- Robinson, J.O., *The Psychology of Visual Illusion*, Hutchinson, London, 1972.
- Bond, N.A., Bryan, G.L., Rigney, J.W., Warren, N.D., *Aviation Psychology*, University of Southern California, 1985.
- Allnutt, M., *Human Factors: Basic Principles in Pilot Error (2nd Edition)*, Granada, 1983.
- Jenson, Richard S., *Aviation Psychology*, Gower Technical Press, 1989.
- Reason, J.T., *Human Error*, Cambridge University Press, New York, 1990.
- Perrow, Charles, *Normal Accidents, Living with High-Risk Technologies*, Basic Books, 1984.
- Rasmussen, J., Duncan, K., et Leplay, J. (Eds), *New Technology and Human Error*, Wiley, London, 1987.
- Sjenna, Olaf, *Le facteur humain: Traité sur les facteurs humains en hélicoptère*, Santé et Bien-Être Canada, 1986.
- Farmer, Eric W., *Personality Factors in Aviation*, International Journal of Aviation Safety, September 1984.
- Shaw, L., et Sichel, H., *Accident Proness*, Pergamon Press, Oxford, 1971.

ASPECTS MÉDICAUX

- Dehning, G., Sharp, G.R., et Ernsting, J., *Aviation Medicine*, Tri-Med Books, London.
- Dinges, David F., *The Nature and Timing of Sleep*, Transactions and Studies of the College of Physicians of Philadelphia, 1984.
- Dobie, T.G., *Aeromedical Handbook for Aircrew*, NATO AGARD-AG-154, 1972.
- Green, Roger, *Alcohol and Flying*, International Journal of Aviation Safety, Vol. 1, June 1983.

- Metz, B., et Marcoux, E., *Alcoolisation et accidents du travail*, Revue de l'Alcoolisme, 1960.
- OACI, *Manuel de médecine aéronautique civile*, Doc 8984, 1985.
- Hartzell, W. MD, *A Brief Review of Selected Areas of Aviation Medicine and Physiology*, AGARD-LS-125, 1982.
- Nicholson, Group Captain, A.N., *Circadian Rhythms and Disturbed Sleep: Its Relevance to Transport Operations*, International Journal of Aviation Safety, Vol. 1, No. 3, 1984.
- Green, Roger, *Stress and Accidents in Aviation*, International Journal of Aviation Safety, September, 1984.
- Selye, Hans, *Stress Without Distress*, J.B. Lippincott, New York, 1974.
- Haward, L.R.C., *Effects of Domestic Stress on Flying*, Revue de Médecine aéronautique et spatiale, 1974.
- Mohler, Stanley R. MD, *The Human Element in Air Traffic Control, Aeromedical Aspects, Problems and Prescriptions*, International Journal of Aviation Safety, Vol. 1, No. 3.

ASPECTS OPÉRATIONNELS

- FSF, *Preflight Crew Briefings: A Step Towards Improved Communication*, 1984.
- Helmreich, R.L., *What Changes and What Endures: The Capabilities and Limitations of Training and Selection*, The Flight Operations Symposium, Irish Air Line Pilots Association/Aer Lingus, Dublin, 1983.
- Hopkins, David, V., *Human Factors in Air Traffic Control* AGARDograph, N. 275, 1982.
- Melton, Smith et al., *Stress in Air Traffic Controllers: Comparison of Two Air Route Traffic Control Centres on Different Shift Rotation Patterns*, FAA-AM-75-7, 1975.
- Murrell, H., *Motivation at Work*; Methuen, London, 1976.
- Vroom, V.H., et Deci, E.L., *Management and Motivation*, Penguin Books, Harmondsworth, 1970.

ASPECTS LIÉS AUX TÂCHES

- Ruffell Smith, H.P., *A Simulator Study of the Interaction of Pilot Workload with Errors, Vigilance and Decision-Making*, NASA-Ames, 1979.
- Gabriel, R.F., *Some Potential Errors in Human Information Processing During Approach and Landing*, International Symposium on Human Factors, Air Line Pilots Association, Washington, 1977.

- Perrow, Charles, *Normal Accidents, Living with High-Risk Technologies*, Basic Books, 1984.
- Rasmussen, J., Duncan, K., et Leplay, J. (Eds) *New Technology and Human Error*, Wiley, London, 1987.
- Wickens, C.D., Stokes, A., et Barnett, B.J., *Componential Analysis of Decision-Making*, University of Illinois Aviation Research Laboratory Technical Report ARL-87-41 SCEE-87-1, 1987.
- Kahneman, D., Slovic, P., et Tversky, A. (Eds.), *Judgement Under Uncertainty: Heuristics and Biases*, Cambridge University Press, New York, 1982.
- Kahneman, D., et Tversky, A., *On the Psychology of Prediction*, *Psychological Review*, 80, 251-273, 1973.
- Kantowitz, B.H., et Sorkin, R.D., *Human Factors: Understanding People-System Relationships*. Wiley, New York, 1983.
- Loftus, G.R., Dark, V.J., et Williams, D., *Short-Term Memory Factors in Ground Controller/Pilot Communications*, *Human Factors*, 21, 169-181, 1979.
- Helmreich, R.L., *Social Psychology on the Flight Deck*, Proceedings of a NASA/Industry Workshop, Resource Management on the Flight Deck, 1979.
- Helmreich, R.L., Foushee, H.C., Benson, R., et Russini, W., *Cockpit Resource Management: Exploring the Attitude-Performance Linkage*, Aviation, Space and Environmental Medicine, 1986.
- Lauber, J.K., et Foushee, H.C., *Line-Oriented Flight Training*, The Flight Operations Symposium, Irish Air Line Pilots Association/Aer Lingus, Dublin, 1983.

ASPECTS LIÉS AUX ÉQUIPEMENTS

- Chapanis, A., *Ethnic Variables in Human Factors Engineering*, John Hopkins University Press, Baltimore, 1975.
- Hawkins, F.H., *Crew Seats in Transport Aircraft*, Shell Aviation News, 418:14-21, 1973.

- Hawkins, F.H., *Some Ergonomic Aspects of Cockpit Panel Design for Airline Aircraft*, Shell Aviation News, 437:2-9, 1976.
- Hopkin, V.D., et Taylor, R.M., *Human Factors in the Design and Evaluation of Aviation Maps*, NATO AGARD-AG-225, 1979.
- Stokes, A., Wickens, C., et Kite, K., *Display Concepts, Human Factors Concepts*, Society of Automotive Engineers, Inc., 1990.
- Wilson, J.W., et Bateman, L.F., *Human Factors and the Advanced Flight Deck*, The 32nd International Air Safety Seminar, 1979.
- Wiener, Earl L., *Human Factors of Cockpit Automation: A Field Study of Flight Crew Transition*, NASA-Ames, NCC2-152, 1985.

ASPECTS LIÉS À L'ENVIRONNEMENT

- Green, R.G. *Communication and Noise*, Aviation Medicine. G. Dhenim (Ed.), Vol. 1, Tri-Med Books, London, 1985.
- Rood, Dr. G., *Aircraft Cockpit and Flight Deck Noise*, International Journal of Aviation Safety, March 1985.
- Mason, C.D., *Visual Landing Illusion*, Business Aviation Safety, 1985.
- Mitchell, Michael K., *Bush Pilot Syndrome, A Critical Incident Analysis*, Alaskan Aviation Safety Foundation, avril, 1983.
- Transports Canada, *Tourisme aérien au Canada. La route de l'Alaska*, TP2168.
- Negrette, Arthur, J., *Wire Strikes: Misconceptions and Insights*, FSF Helicopter Safety Bulletin, juillet/octobre 1981.
- Myles, W.S., et Chin, A.K., *Physical Fitness and Tolerance to Environmental Stresses: A Review of Human Research on Tolerance to and Work Capacity in Hot, Cold and High Altitude Environments*, Rapport de l'IMCME n° 74-R-1008, Institut militaire et civil de médecine environnementale, Downsview, Ontario. 1974.

Notes

1^{re} Partie, Chapitre 2 — Facteurs humains, management et organisation

1. Rapport d'accident d'aviation 93/02 du National Transportation Safety Board (NTSB/AAR-93/02).
2. Reason, James. 1987. «The Chernobyl Errors». *Bulletin of the British Psychological Society*, 40, 201-206.
3. Hendrick, Hal. 1991. «Ergonomics in Organizational Design and Management». *Ergonomics*, Vol. 34, No. 6, 743-756.
4. Bruggink, Gerard. 1990. «Reflections on Air Carrier Safety». *The Log*, 11-15.
5. Turner, B., Pidgeon, N., Blockley, D., Toft, B. 1989. «Safety Culture: Its Importance in Future Risk Management». Deuxième atelier de la Banque mondiale sur le contrôle de la sécurité et la gestion des risques. Karlstad, Suède.
6. Pidgeon, Nick. 1991. «Safety Culture and Risk Management in Organizations». *Journal of Cross-cultural Psychology*, Vol. 22, No. 1, 129-140.
7. Meshkati, Najmedin. 1991. «Human Factors in Large-scale Technological Systems' Accidents: Three Mile Island, Bhopal and Chernobyl». *Industry Crisis Quarterly* 5, 133-154.
8. Reason, James. 1991. *How to Promote Error Tolerance in Complex Systems in the Context of Ship and Aircraft*.
9. Reason, James. 1987. «The Chernobyl Errors». *Bulletin of the British Psychological Society*, 40, 201-206.
10. National Transportation Safety Board (NTSB), 1991. Aircraft Accident Report AAR-91/08.
11. Moshansky, The Hon. Virgil P. 1992. Commission of Inquiry into the Air Ontario Crash at Dryden, Ontario. Final Report, Vol. III.
12. Wood, Richard H. 1991. *Aviation Safety Programs — A Management Handbook*. IAP Incorporated, Casper, Wyoming, États-Unis.
13. Hidden, Anthony (QC). 1989. Investigation into the Clapham Junction Railway Accident. The Department of Transport. London: HMSO.
14. Miller, C. O. 1991. Investigating the Management Factors in an Airline Accident. Brazilian Congress of Flight Safety, Rio de Janeiro, Brésil.
15. National Transportation Safety Board (NTSB), 1991. Aircraft Accident Report AAR-91/03.
16. Smircich, Linda. 1983. «Concepts of Culture and Organizational Analysis». *Administrative Science Quarterly*, 28, 339-358.
17. Westrum, R. 1988. «Organizational and Inter-organizational Thought». Atelier de la Banque mondiale sur le contrôle de la sécurité et la gestion des risques. Washington, D.C.
18. Certaines organisations aéronautiques ne répondent pas exactement à ce concept. C'est notamment le cas de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), des administrations de l'aviation civile, de la Fondation pour la sécurité aérienne (FSF) et de l'Association internationale des enquêteurs de la sécurité aérienne (ISASI). Se fixant comme objectif essentiel d'oeuvrer en faveur de la sécurité et de l'efficacité de l'aviation civile, ces organisations ne participent pas activement aux activités de production, la production de sécurité devenant un objectif primordial.
19. Wood, Richard H. 1991. *Aviation Safety Programs — A Management Handbook*. IAP Incorporated, Casper, Wyoming, États-Unis.
20. Transports Canada, 1991. Manuel de l'agent de sécurité aérienne des compagnies, Vol. 1.
21. Pope, John A. 1989. «Questions, More Questions». Flight Safety Foundation, *Flight Safety Digest*, janvier 1989, 1-4.
22. Helmreich, Robert L. 1992. Étude du rôle des facteurs humains dans l'accident d'Air Ontario. Commission d'enquête sur l'écrasement d'un avion d'Air Ontario à Dryden (Ontario). Annexes techniques.
23. Hofstede, G. 1980. «Motivation, Leadership and Organization: Do American Theories Apply Abroad?». *Organizational Dynamics*, été 1980, 42-63.
24. Adler, Nancy J. 1991. *International dimensions of organizational behaviour* (2nd. edition). Boston: PWS-Kent Publishing Company.
25. Turner, B., Pidgeon, N., Blockley, D., Toft, B., 1989. «Safety Culture: Its Importance in Future Risk Management». Deuxième Atelier de la Banque mondiale sur le contrôle de la sécurité et la gestion des risques. Karlstad, Suède.
26. Turner, B. 1989. «How Can We Design A Safe Organization?». Deuxième conférence internationale sur la gestion des crises industrielles et organisationnelles. New York University, New York, États-Unis.
27. Bureau canadien de la sécurité aérienne, 1986. Rapport sur les faits aéronautiques n° 84-H40006.
28. Meshkati, Najmedin 1991. «Human Factors in Large-scale Technological Systems' Accidents: Three Mile Island, Bhopal and Chernobyl». *Industry Crisis Quarterly* 5, 133-154.
29. Fennell, D. 1988. Investigation into the King's Cross Underground Fire. The Department of Transport. London, HMSO
30. Cinq aspects au moins sont à envisager pour définir l'environnement: socio-économique, éducatif, juridique, politique et culturel.

31. Hendrick, Hal. 1991. «Ergonomics in Organizational Design and Management». *Ergonomics*, Vol. 34, n° 6, 743-756.
32. National Transportation Safety Board, 1991. Aircraft Accident Report AAR-91/09.
33. Ministry of Justice, Major Accident Report No. 2/1988, Helsinki, 1990. Aircraft Accident Report, Embraer 110 Bandeirante, OH-EBA, in the vicinity of Ilmajoki Airport, Finlande, 14 novembre 1988.
34. Reason, James. 1990. *Human Error*, Cambridge University Press.
35. Pour plus de détails, voir la 2^e Partie, Chapitre 4.
36. Reason, James. 1990. Op. cit.
37. Bureau canadien de la sécurité des transports, 1990. Rapports sur les faits aéronautiques n° 89H0007.
38. Transports Canada, 1991. Sécurité aérienne — Nouvelles, ASL 3/91.
39. Reason, James. 1990. Op. cit.
40. Meshkati, Najmedin. 1991. Op. cit.
41. Lautman, L. G., Gallimore, P. 1989. «Control of Crew-caused Accidents». Flight Safety Foundation, *Flight Safety Digest*, octobre 1989.
42. Lauber, John K. 1989. «Human Performance and Aviation Safety — Some Issues and Some Solutions». *Airline Pilot*, juin 1989.
43. National Transportation Safety Board, 1990. Aircraft Accident Report AAR-90/05.
44. Wagenaar W., Hudson P., Reason J. 1990. «Cognitive Failures and Accidents». *Applied Cognitive Psychology*, Vol. 4, 273-294.
45. Wood, Richard H. 1991. *Aviation Safety Programs — A Management Handbook*. IAP Incorporated, Casper, Wyoming, États-Unis.
46. Degani, A., Wiener, E. 1991. «Philosophy, Policies, Procedures and Practices: The Four P's of Flight Deck Operations». Proceedings of the Sixth International Symposium on Aviation Psychology, Columbus, Ohio, États-Unis.
47. British Airways Ground Proximity Warning System Policy, 4 janvier 1993.
48. Reason, James. 1990. *Human Error*. Cambridge University Press.
49. Wood, Richard H. 1991. Op. cit.
50. Hill, Maury. 1993. *An Assessment of Conventional Risk Management, Human Reliability Assessment and System Analysis, and their Role in Complex Man-Machine Systems*. Montréal, Canada.

1^{re} Partie, Chapitre 3 — Questions de facteurs humains dans le développement et la mise en oeuvre des systèmes de communications, navigation et surveillance/gestion du trafic aérien (CNS/ATM)

1. Voir à ce propos Harold E. Price, «Conceptual System Design and the Human Role», dans *MANPRINT*, ouvrage dirigé par Harold R. Booher. Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.
2. Bainbridge, L., «Ironies of Automation». Dans *New Technology and Human Error*, ouvrage dirigé par J. Rasmussen, K. Duncan et J. Lepalt (éd.). John Wiley and Sons Ltd., 1987.
3. Pour une plus ample discussion de cette question, voir Wiener, E.L., et Nagel, D.C.: «Human Factors in Aviation, Section Two: Pilot Performance». San Diego, Academic Press, Inc., 1988. Voir aussi Cooley, M.J.E.: «Human Centered Systems: An Urgent Problem for System Designers». *AI and Society* 1, 1987.
4. Delta Airlines, «Énoncé d'une philosophie de l'automatisation».
5. Voir d'autres définitions de l'automatisation dans la 2^e Partie, Chapitre 3, *Incidences opérationnelles de l'automatisation dans les postes de pilotage à technologie avancée*.
6. Dr. A. Isaac, «Imagery Ability and Air Traffic Control Personnel», communication présentée à la Conférence néo-zélandaise de psychologie — Symposium de psychologie aéronautique. Massey University, Palmeston North, 1991.
7. Une autre étude de psychologie cognitive (réalisée aux États-Unis) indique que le traitement de données à des niveaux multiples (deux exemples étant la manipulation physique et la répétition) devrait améliorer la mémoire pour l'information traitée. Cependant on ne sait pas grand chose de la façon dont ce processus fonctionne dans l'ATC et on ne sait guère si l'automatisation aura des incidences négatives sur la mémoire pour les données de vol.
8. Ces préoccupations sont discutées de façon approfondie dans la 2^e Partie, Chapitre 3, *Incidences opérationnelles de l'automatisation dans les postes de pilotage à technologie avancée*.
9. Bainbridge, L., «Ironies of Automation». *New Technology and Human Error*, J. Rasmussen, K. Duncan et J. Lepalt (éd.). John Wiley and Sons Ltd., 1987.
10. Comme lecture complémentaire à propos de cette question, voir Perrow, C., *Normal Accidents: Living with High Risk Technologies*. Basic Books Inc., New York, 1984.
11. Pour en savoir plus sur les avantages d'un investissement précoce dans les facteurs humains, voir Harold E. Price, «Conceptual System Design and the Human Role», dans *MANPRINT*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.
12. Reason, J., *Human Error*. Cambridge State University, Royaume-Uni, 1990.
13. Chapitre 2 — *Facteurs humains, management et organisation*.

14. Ellen Goodman, «The Boston Globe Newspaper Company/Washington Post Writers Group», 1987. Cité par Harold E. Price, «Conceptual System Design and the Human Role», dans *MANPRINT*, ouvrage publié sous la direction de Harold R. Booyer. Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.
15. Pour une plus ample discussion de cette question, voir Harold E. Price, «Conceptual System Design and the Human Role», dans *MANPRINT*. Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.
16. Wiener, E.L., «Management of Human Error by Design». Actes de la Conférence sur les techniques de prévention de l'erreur humaine. Society of Automotive Engineers, Inc., 1988.
17. Billings, C.E., «Human Centered Aircraft Automation: A Concept and Guidelines». NASA Technical Memorandum 103885, 1991.
18. MITRE Corporation, bureau d'étude qui effectue des analyses de systèmes et qui fournit à la Federal Aviation Administration (FAA) de l'appui technique et des éléments d'orientation en ingénierie. Dans Charles E. Billings, «Human-Centered Aircraft Automation: A Concept and Guidelines». National Aeronautics and Space Administration (NASA). Technical Memorandum 103885, 1991.
19. Pfeiffer, J., «The Secret of Life at the Limits: Cogs Become Big Wheels», dans *Smithsonian*, Vol. 27, n° 4, 1989.
20. Wiener, E.L. et Curry, R.E. *Ergonomics*, 1980.
21. Lane, N. E., «Evaluating the Cost Effectiveness of Human Factors Engineering». Orlando, Floride, Essex Corporation, 1987. Cité par Harold E. Price, «Conceptual System Design and the Human Role», dans *MANPRINT*. Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.
22. Reason, J., *Human Error*. Cambridge University Press, Royaume-Uni, 1990.
23. Voir Charles E. Billings, «Human-Centered Aircraft Automation: A Concept and Guidelines». National Aeronautics and Space Administration (NASA). Technical Memorandum 103885, 1991.

1^{re} Partie, Chapitre 5 — Les questions de facteurs humains dans le contrôle de la circulation aérienne

1. Le modèle SHELL est décrit au Chapitre premier.
2. Pour une explication complète du concept de système, voir le Chapitre 4 — *Ergonomie*.
3. Pour les aspects ergonomiques de l'aménagement de la position de travail du contrôleur, voir le Chapitre 4 — *Ergonomie*.
4. Wise, Hopkin et Smith (1991). *Automation & Systems Issues in Air Traffic Control*.
5. Voir aussi le Chapitre 2 — *Systèmes CNS/ATM* («Loi d'airain» de Wiener).
6. EATCHIP est le Programme européen d'harmonisation et d'intégration ATC. Son Équipe de ressources humaines a publié une brochure intitulée «Guidelines for Developing and Implementing Team Resource Management».
7. Une des plus récentes publiées au moment où ceci est écrit est une note de travail de l'Organisation internationale du travail à Genève, intitulée «Occupational stress and stress prevention in air traffic control» (OSBN (2-2-110070-7)).

1^{re} Partie, Chapitre 6 — Les facteurs humains dans la maintenance et l'inspection des aéronefs

1. TechLog — «Is There a Maintenance Problem.» *AEROSPACE*, Juin 1993.
2. Reason, J. 1993. *Comprehensive Error Management (CEM) in Aircraft Engineering*.
3. Drury, C.G. «Errors in Aviation Maintenance: Taxonomy and Control». Actes de la 35^e réunion annuelle de la *Human Factors Society*, 1991, pp. 42-46.
4. Hollnagel, E. *Human Reliability Analysis — Context and Control*. Academic Press, San Diego, CA, 1993.
5. Marx, D.A. et R.C. Graeber, *Human Error in Aircraft Maintenance*. Boeing Commercial Airplane Group, Seattle, Washington, 1993.
6. National Transportation Safety Board. «Aviation Accident Report, American Airlines DC-10, Chicago, 1979» (NTSB/AAR-79/17). Washington, D.C., 1979.
7. Boeing 747 SR-100, JA8119, «Accident at Gunma Prefecture, Japan, on 12 August 1985». Rapport publié par la Commission d'enquête du Japon.
8. National Transportation Safety Board. «Aircraft Accident Report, Aloha Airlines Flight 243». Boeing 737-200, N73711, Near Maui, Hawaii, 28 April 1988 (NTSB/AAR-89/03). Washington, D.C. 1989.
9. Sears, R.L. 1986. «A new look at accident contributions and the implications of operational training programs» (Rapport non publié). Cité dans Graeber, R.C. et D.A. Marx. *Reducing Human Error in Aviation Maintenance Operations*. (Présenté au 46^e Séminaire annuel de sécurité de l'aviation de la *Flight Safety Foundation*. Kuala Lumpur, Malaisie, 1993.)
10. United Kingdom Civil Aviation Authority (UK CAA). «Maintenance Error». *Asia Pacific Air Safety*. Septembre 1992.
11. Graeber, R.C. et D.A. Marx. *Reduced Human Error in Aircraft Maintenance Operations*. 1993.
12. Résumé de «Finger-Tight at 290 (a tale of the unexpected)». Robin Rackham, *Log*, BALPA, août/septembre 1993.
13. National Transportation Safety Board. «Aircraft Accident Report, Eastern Airlines Inc., L-1011». Miami (Floride), 5 May 1983 (NTSB/AAR-84/04). Washington, D.C.
14. Compte rendu d'accident d'aviation 1/92 de l'AAIB, «Report on the Accident to BAC One-Eleven, G-BJRT» over Didcot, Oxfordshire on 10 June 1990. Londres: HMSO.

15. National Transportation Safety Board. «Aircraft Accident Report, Continental Express Flight 2574». In-Flight Breakup, EMB-120RT, N33701. Septembre 1991 (NTSB/AAR-92/04). Washington, D.C., 1992.
16. National Transportation Safety Board. «Aircraft Accident Report, Eastern Airlines Inc., L-1011». Miami (Floride), 5 mai 1983 (NTSB/AAR-84/04). Washington, D.C.
17. Ibid. Pour une analyse détaillée des questions de facteurs humains ayant joué un rôle dans cet incident, voir Marx, D.A. et R.C. Graeber. *Human Error in Aircraft Maintenance*. Boeing Airplane Commercial Group, Seattle, Washington, 1993.
18. Pour une analyse plus approfondie de cette question, voir le Chapitre 2 — *Facteurs humains, management et organisation*.
19. Compte rendu d'accident d'aviation de l'AAIB 1/92. «Report on the Accident to BAC One-Eleven, G-BJRT» over Didcot, Oxfordshire on 10 June 1990. Londres: HMSO, pp. 54. (Facteurs causaux: ajouté les italiques).
20. «From Individuals to Organizations». Note de position de l'OACI présentée au cours de validation du Collège Algonquin sur les facteurs humains en aviation. Février 1993.
21. National Transportation Safety Board. «Aircraft Accident Report, Continental Express Flight 2574». In-Flight Breakup, EMB-120RT, N33701, septembre 1991 (NTSB/AAR-92/04). Washington, D.C., 1992.
22. Ibid. pp. 54. John K. Lauber, Membre du NTSB. «Dissenting Statement».
23. Ibid. pp. 52-54 (adapté et souligné).
24. National Transportation Safety Board. «Aircraft Accident Report, United Airlines Flight 232, McDonnell Douglas DC-10-10». Sioux Gateway Airport, Sioux City, Iowa, 19 juillet 1989 (NTSB/AAR-90/06). Washington, D.C., 1990.
25. Voir Marx, D.A. et R.C. Graeber, *Human Error in Aircraft Maintenance*. Boeing Commercial Airplace Group, Seattle, Washington. 1993.
26. National Transportation Safety Board. «Aircraft Accident Report, Continental Express Flight 2574», In-Flight Breakup, EMB-120RT, N33701, septembre 1991 (NTSB/-AAR-92/-04). Washington, D.C. 1992.
27. Sur les facteurs humains et la culture d'entreprise/d'organisation, voir la 1^{re} Partie, Chapitre 2 — *Facteurs humains, management et organisation*.
28. AAIB Aircraft Accident Report 1/92, «Report on the Accident to BAC One-Eleven, G-BJRT» over Didcot, Oxfordshire on 10 June 1990. Londres: HMSO.
29. On trouvera un exposé complet sur les programmes CRM dans la 2^e Partie, Chapitre 2 — *Formation à la gestion des ressources en équipe dans le poste de pilotage (CRM)*.
30. Robertson, M., J. Taylor, J. Stelly et R. Wagner. «Maintenance CRM Training». Assertiveness attitudes effect on maintenance performance in a matched sample. WEEAP Conference. Mars 1994. Dublin. Voir aussi Stelly, J. et J. Taylor, «Crew Coordination Concepts for Maintenance Teams». Actes du 7^e Symposium international sur les facteurs humains dans l'entretien et l'inspection des aéronefs, 1992. Washington, D.C.
31. Pour une explication complète de ces concepts, voir Campbell, R.J. «Measurement of Workforce Productivity». Actes de la cinquième réunion de la Federal Aviation Administration sur les facteurs humains dans la maintenance et l'inspection des aéronefs — Le milieu de travail dans la maintenance des aéronefs. Janvier 1992. Washington, D.C.
32. On trouvera au Chapitre 6 un exposé détaillé sur *l'automatisation axée sur l'élément humain*.
33. D'après Marx, D.A. et C.R. Graeber (1994). *Human Error in Aircraft Maintenance*. In N. McDonald, N. Johnston, and R. Fuller (Eds), *Aviation Psychology in Practice*. Aldershot — Ashgate Press.
34. Ibid.
35. Bamett, M.L. 1987. *Factors in the Investigation of Human Error in Accident Causation*. College of Maritime Studies, Warsash, Southampton, Royaume-Uni.
36. National Transportation Safety Board. «Aircraft Accident Report, Aloha Airlines Flight 243», Boeing 737-200, N73711, Near Maui, Hawaii, April 28, 1988 (NTSB/AAR-89/03). Washington, D.C. 1989.
37. Johnson, W.B. et W.B. Rouse, 1982. *Analysis and Classification of Human Errors in Troubleshooting Live Aircraft Power Plants*. IEEE, Transactions on Systems, Man and Cybernetics.

2^e Partie, Chapitre 2, Appendice 1

1. Circulaire d'information (Projet 1.1), Groupe de travail CRM/LOFT, Sous-Comité de la formation, Groupe d'étude conjoint du gouvernement et de l'industrie sur la performance des équipages — 30 octobre 1987.
2. Circulaire d'information — 30 octobre 1987.
3. Circulaire d'information — 30 octobre 1987.

2^e Partie, Chapitre 3 — Questions de formation en rapport avec l'automatisation et les postes de pilotage de technologie avancée

1. Deux niveaux de gestion des systèmes sont à prendre en compte dans la conception du poste de pilotage: conduite de l'aéronef (boucle interne, faisant appel aux facultés psychomotrices) et surveillance (boucle externe, faisant appel aux facultés cognitives).

2. Les directeurs donnaient pour la première fois une «information de commande». Les données brutes étaient mises à la disposition des pilotes, mais elles n'étaient pas toujours utilisées pour vérifier ou contrôler les renseignements intégrés présentés par le directeur de vol.

3. La méfiance est un facteur essentiel dans la conception des systèmes. Si un système est ainsi conçu qu'il fera toujours ce que les pilotes pensent qu'il devrait faire et ne fera jamais ce que les pilotes pensent qu'il ne devrait pas faire, sa conception est sans doute bonne (voir le principe n° 1 de Wiener-Curry, Appendice 2). Les pilotes responsables des essais de certification devraient avoir ce point à l'esprit et n'accepter aucun compromis lors de l'évaluation d'un système et de son fonctionnement.

4. On trouvera dans la 2^e Partie, Chapitre 2, un exposé approfondi sur l'entraînement LOFT.

5. «Trans-cockpit authority gradient» est l'expression employée pour désigner la relation d'autorité entre le commandant de bord et le copilote. Dans le cas d'un commandant de bord dominant et d'un copilote qui ne s'affirme pas, la pente est prononcée. Elle est peu prononcée si deux commandants font équipage ensemble.

2^e Partie, Chapitre 4 — Instruction sur les facteurs humains pour les enquêteurs de la sécurité aérienne

1. James Reason, «Human Error», Cambridge University Press, New York, 1990, page 302. Voir aussi la 1^{re} Partie, Chapitre 2, du présent manuel.

2. Besco, R.O., «Why Pilots Err: What can we do about it?», document publié dans «*Forensic Reports*», Vol. 4, n° 4 (1991), pages 391-416.

3. «The Role of Analysis in the Fact-finding Process», Society of Air Safety Investigators, *Forum*, 1975.

4. Ibid.

5. Ronald L. Schleede, «Application of a Decision-making Model to the Investigation of Human Error in Aircraft Investigation», Forum de l'ISASI, 1979.

6. Richard Wood, «Aircraft Accident Report Development», *Forum*, Vol. 22, n° 4, 1989.

7. Ibid.

8. Richard Wood, «How Does the Investigator Develop Recommendations?», *Forum*, Vol. 12, n° 3, 1979.

— FIN —