

Bureau de la sécurité des transports
du Canada



Transportation Safety Board
of Canada

RAPPORT D'ENQUÊTE SUR DES PROBLÈMES DE SÉCURITÉ SII A05-01



RAPPORT SUR LES INCENDIES APRÈS IMPACT FAISANT SUITE À DES ACCIDENTS DE PETIT AÉRONEF

Canada



Rapport d'enquête sur des problèmes de sécurité SII A05-01

Rapport sur les incendies après impact faisant suite à des accidents de petit aéronef

Résumé

Introduction

Les incendies après impact contribuent de façon importante aux blessures et aux décès qui résultent d'accidents offrant des chances de survie mettant en cause des aéronefs ayant une masse maximale homologuée au décollage égale ou inférieure à 5700 kg (12 566 livres). Un accident offrant des chances de survie est un accident où la violence du choc ne dépasse pas les limites de la résistance humaine, la structure de l'aéronef préserve l'espace de survie nécessaire aux occupants et les dispositifs de retenue des occupants remplissent leur rôle.

La présente enquête se penche sur les données du Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) et sur l'historique des mesures de sécurité relatives aux incendies après impact pour en savoir plus sur cette question et offrir matière à discussion, le but visé étant de réduire les risques entourant les incendies après impact des petits aéronefs, notamment au niveau de la certification de leur conception. La fréquence des incendies après impact des avions ayant une masse inférieure à 5700 kg montre que, si les normes de conception restent comme elles sont actuellement, il est fort probable que d'autres événements similaires vont se produire, avec toutes les conséquences néfastes que cela pourra avoir sur l'être humain.

Énoncé du problème

Les incendies après impact continuent de contribuer aux blessures et aux décès résultant d'accidents de petit aéronef offrant des chances de survie. Le National Transportation Safety Board (NTSB) et la Federal Aviation Administration (FAA) des États-Unis ont déjà tenté de régler ce problème au moyen d'études spéciales et d'avis de projet de réglementation (*Notice of Proposed Rule Making*).

En 1994, des modifications aux *Federal Aviation Regulations* (FAR) des États-Unis ont introduit des normes complètes de certification en matière de résistance à l'écrasement du circuit carburant des hélicoptères de la catégorie normale et de la catégorie transport dans le but de minimiser les

risques encourus par les occupants à la suite d'un incendie de carburant résultant d'un accident offrant des chances de survie. Les moyens techniques et les principes de conception censés réduire la fréquence des incendies après impact ont fait leurs preuves dans les hélicoptères, dans les voitures de course et dans d'autres applications automobiles. Toutefois, rien n'oblige à incorporer ces mesures de prévention dans les petits avions, qu'ils soient nouveaux ou déjà existants, ni dans les petits hélicoptères certifiés avant novembre 1994.

Portée du projet

L'enquête se penche sur les accidents avec incendie de petit aéronef à moteur survenus au Canada entre 1976 et 2002. L'enquête examine les statistiques du BST sur les incendies après impact, l'historique de ces incendies, les exigences de certification actuelles, les moyens de prévention de ces incendies, les seuils de survie, les limites de l'analyse des avantages par rapport aux coûts et le montage en rattrapage de certains éléments sur les aéronefs actuels ainsi que les futures exigences possibles au niveau de la conception.

Méthodes

L'enquête a permis de dénombrer 521 accidents avec incendie dans la base de données du Système d'information sur la sécurité aérienne (SISA) du BST. La cause de la mort a été examinée dans les rapports d'autopsie, dans les rapports de coroner et dans les bulletins d'enregistrement de décès disponibles afin de déterminer si l'incendie avait contribué aux décès. D'autres sources de données ont été passées en revue dans le but d'établir si l'incendie avait contribué aux blessures graves. Dans 128 cas sur 521, il est apparu que l'incendie ou l'inhalation de fumée avait contribué, en tout ou en partie, à la mort ou aux blessures graves. On a effectué une recherche poussée des mesures prises par la FAA, le NTSB et le BST à propos des questions de sécurité entourant les incendies après impact. On a également procédé à un examen détaillé de l'analyse des avantages par rapport aux coûts effectuée par la FAA en réponse à des recommandations faites par le NTSB.

Résultats

L'enquête révèle que, dans les 128 cas où l'incendie après impact a contribué à la mort ou aux blessures graves, les occupants se sont trouvés à proximité immédiate de l'incendie ou de la fumée pendant un certain temps après l'impact. L'enquête a permis de dégager quatre conditions qui devaient être réunies pour qu'une telle situation se produise :

- une source d'incendie se trouvait à proximité d'un matériau combustible, comme le carburant;
- un matériau combustible se trouvait à proximité immédiate des occupants;
- l'évacuation des occupants a été compromise;
- l'incendie n'a pas été éteint à temps pour prévenir la mort ou les blessures.

L'analyse des données recueillies montre que les accidents de petit aéronef présentent un risque important d'incendie après impact ainsi qu'un risque important de blessures et de mort liées à l'incendie. L'analyse révèle également que les tentatives visant à modifier les exigences de

certification ont été infructueuses, en grande partie en raison de l'insuffisance des données qui a entraîné des conclusions de l'analyse des avantages par rapport aux coûts allant à l'encontre des mesures de sécurité proposées.

Conclusions

Les moyens de défense visant à prévenir les incendies après impact et à réduire les blessures liées à l'incendie peuvent et devraient être améliorés, dans le cas des aéronefs de masse inférieure à 5700 kg en cause dans des accidents offrant des chances de survie. Les incendies après impact exposent les occupants des petits aéronefs à des risques importants pour les raisons suivantes :

- la forte volatilité du carburant aviation;
- le carburant situé à proximité immédiate des occupants;
- le temps d'évacuation limité;
- les capacités limitées d'absorption d'énergie des structures des petits aéronefs en cas d'accident;
- la forte tendance aux blessures incapacitantes;
- l'incapacité des pompiers et du personnel d'intervention d'urgence des aéroports à éteindre les incendies après impact suffisamment tôt pour prévenir les blessures et les décès.

Le carburant liquide et volatile est le matériau combustible qui joue le rôle le plus significatif dans les accidents avec incendie. Compte tenu de la propension qu'ont les incendies alimentés par le carburant à se propager rapidement et des conséquences catastrophiques qu'ils peuvent avoir, empêcher un incendie de se produire, soit en confinant le carburant, soit en évitant qu'il ne prenne feu, soit les deux, constitue le moyen de défense le plus efficace contre les incendies.

Les moyens techniques servant à rendre les circuits de carburant résistants aux incendies après impact présentent des avantages qui ont fait leurs preuves dans le domaine des véhicules terrestres et, plus récemment, dans celui des hélicoptères civils certifiés. Rendre obligatoire l'incorporation de moyens techniques de prévention du même genre dans les petits avions existants, nouvellement construits et nouvellement certifiés en vertu de la FAR 23 ou d'un équivalent, dans les petits hélicoptères existants, dans les aéronefs de construction amateur ainsi que dans les ultra-légers de base et de type évolué, devrait réduire la fréquence des blessures graves et des blessures mortelles liées à l'incendie dans le cas des accidents offrant des chances de survie, tout en permettant d'augmenter de façon notable le taux de survie des occupants.

Les conséquences des améliorations apportées à la conception des nouveaux aéronefs seront importantes et le seront encore davantage sur les conceptions actuelles. Pour qu'il y ait harmonisation des nouvelles normes et des nouvelles lignes directrices, le processus visant à améliorer les normes de conception actuelles va demander des efforts considérables à Transports Canada et à la FAA ainsi qu'une grande coopération de la part de leurs homologues internationaux.

This report is also available in English.

Table des matières

1.0	Introduction	1
1.1	Contexte	1
1.2	Objectifs et retombées attendues de l'enquête	2
1.3	Méthodologie - Collecte et analyse des données	2
1.3.1	Procédures	2
1.3.2	Collecte des données	3
1.3.3	Problèmes liés à la collecte des données	4
2.0	Aperçu de l'expérience canadienne en matière d'incendie après impact	7
2.1	Statistiques du BST relatives aux incendies après impact	7
2.2	Enquête sur un incendie après impact et protocole d'autopsie et d'examen post-mortem	9
2.3	Répartition par région des accidents avec incendie et des blessures connexes	10
2.4	Nombre d'aéronefs immatriculés	11
2.5	Taux d'accidents des petits aéronefs par type d'exploitation	12
2.6	Différenciation des taux d'accidents avec incendie par type, par modèle et en fonction de l'immatriculation de l'aéronef	14
2.6.1	Avions de production	14
2.6.2	Hélicoptères de production	16
2.6.3	Avions, hélicoptères et autogires de construction amateur	16
2.6.4	Ultra-légers de base et de type évolué	16
2.6.5	Planeurs	17
3.0	Possibilité de survie à un accident avec incendie	19
3.1	Seuils de survie	19
3.2	Évacuation d'un petit aéronef en cas d'accident avec incendie	19
3.3	Extincteurs portatifs de bord	20
3.4	Lutte contre l'incendie	20
3.5	Type de carburant	22

4.0	Aperçu des exigences de conception relatives à la résistance à l'écrasement des aéronefs	23
4.1	Généralités	23
4.2	Exigences actuelles de la partie 23 des FAR concernant les aéronefs de production	23
4.3	Historique des modifications des exigences de certification de la FAR 23 relatives à la résistance à l'écrasement du circuit carburant	24
4.4	Essais de circuits carburant résistant à l'écrasement	26
4.5	Historique des modifications aux exigences de certification des parties 27 et 29 des <i>Federal Aviation Regulations</i> relatives à la résistance à l'écrasement du circuit carburant	27
4.6	Le <i>Small Airplane Crashworthiness Design Guide</i> de Simula Technologies	28
4.7	Améliorations apportées par les constructeurs en vue de réduire les incendies après impact ainsi que les blessures et les décès	28
4.8	Améliorations apportées par l'industrie automobile en vue de réduire les incendies après impact	29
5.0	Analyse des avantages par rapport aux coûts	31
6.0	Conditions dangereuses associées aux incendies après impact	33
6.1	Généralités	33
6.2	Présence d'une source d'incendie à proximité immédiate d'un matériau combustible	33
6.3	Présence d'un matériau combustible à proximité immédiate d'un occupant ...	34
6.4	Évacuation des occupants compromise	36
6.5	Extinction de l'incendie insuffisante ou tardive	38
7.0	Mise à jour sur les incendies après impact : 1 ^{er} janvier 2003 au 31 décembre 2004	39
8.0	Discussion	41

9.0	Mesures de sécurité	45
9.1	Recommandations	45
9.1.1	Recommandation visant la valeur estimative d'une vie statistique	46
9.1.2	Recommandation visant les normes de conception des nouveaux avions	47
9.1.3	Recommandation visant les aéronefs de production existants	48
9.2	Moyens techniques de résistance à l'écrasement destinés aux aéronefs de construction amateur, aux ultra-légers de base et de type évolué	49

Annexes

Annexe A	– Résumé des accidents avec incendie	51
Annexe B	– Références	53
Annexe C	– Sigles et abréviations	55

Figures

Figure 1	Comparaison entre les accidents de petit aéronef avec incendie et les accidents de petit aéronef sans incendie, 1976-2002	7
Figure 2	Répartition par région des accidents avec incendie et des blessures	11
Figure 3	Taux d'accidents au Canada par 100 000 heures de vol par type d'exploitation, 1993-2002	13
Figure 4	Répartition par admissibilité à l'immatriculation du nombre d'aéronefs dans des accidents avec blessures ou décès liés à l'incendie	13
Figure 5	Répartition par type d'immatriculation du nombre d'aéronefs dans des accidents avec blessures ou décès liés à l'incendie	14

Tableaux

Tableau 1	Blessures mortelles et blessures graves dans des accidents de petit aéronef avec incendie et des accidents de petit aéronef sans incendie, 1976-2002	8
Tableau 2	Modèles d'avion de production totalisant au moins cinq accidents avec incendie, 1976-2002	15

NOTA

Les documents suivants ont été rédigés ou utilisés dans la préparation du présent rapport. Ils sont tous disponibles sur demande auprès du Bureau de la sécurité des transports du Canada.

- Document 1 *A Review of the Process of Economic Analysis into Risk Control Options for Mitigation of Post-Impact Fire Risks for Aircraft with a Maximum Certified Take-off Weight of 5670 Kilograms or Less* (Examen du processus d'analyse économique dans les options de contrôle des risques visant à atténuer les risques d'incendie après impact des aéronefs ayant une masse maximale homologuée au décollage de 5670 kg ou moins)
- Document 2 Feuille de calcul en Microsoft Excel donnant l'ensemble de l'information sur les accidents ayant servi à la préparation de l'annexe A.
- Document 3 Chronologie d'accidents typiques avec incendie
- Document 4 Extraits du document de Simula Technologies intitulé *Small Airplane Crashworthiness Design Guide, Chapter 10: Post-Crash Factors* (Guide de conception sur la résistance à l'écrasement des petits avions), chapitre 10 : facteurs ultérieurs à l'impact)
- Document 5 Extraits du document de Simula Technologies intitulé *Small Airplane Crashworthiness Design Guide, Fuel System Design Checklist* (Guide de conception sur la résistance à l'écrasement des petits avions, liste de vérifications pour la conception de circuit carburant)

1.0 Introduction

1.1 Contexte

Le 30 mai 2000, le pilote d'un Cessna 177B Cardinal a tenté de décoller d'une piste en herbe à Calling Lake (Alberta). L'avion a heurté des arbres pendant la montée initiale, a percuté le sol et a pris feu. Les deux occupants ont été exposés pendant un certain temps à la fumée et aux flammes. L'un des occupants a perdu la vie dans l'incendie; l'autre a subi des brûlures graves. L'enquête sur cet accident est terminée, et le rapport a été rendu public (rapport A00W0109 du BST)¹.

L'enquête sur cet accident a montré que la résistance à l'écrasement des circuits carburant des petits aéronefs² constitue une lacune de sécurité. Le Bureau s'est rendu compte de la nécessité d'examiner dans quelle mesure la résistance à l'écrasement des circuits carburant et d'autres lacunes de sécurité contribuaient aux risques associés aux incendies après impact dans des accidents offrant des chances de survie³. Il a également constaté le besoin d'étudier les options de contrôle des risques disponibles pour atténuer ces risques.

D'après les données du BST pour la période allant de 1976 à 2002, un incendie après impact se produit dans environ 4 % des accidents de petit aéronef; ces accidents sont responsables d'environ 22 % de l'ensemble des décès et de quelque 11 % de l'ensemble des blessures graves liées aux accidents d'aviation. Dans l'ensemble, 6,2 % des blessures mortelles et 3,8 % des blessures graves résultant d'accidents de petit aéronef avec incendie sont liées à l'incendie. Comme les petits aéronefs ont un taux d'accident plus élevé et de ce fait un plus grand nombre d'accidents avec incendie, de meilleurs moyens de défense sont nécessaires pour atténuer les risques inhérents aux incendies. Pour ces raisons, le Bureau a décidé de mener une enquête sur des problèmes de sécurité⁴.

¹ Voir l'annexe C pour la signification des sigles et abréviations.

² Un petit aéronef est défini au paragraphe 101.01(1) du *Règlement de l'aviation canadien* (RAC) comme un avion ayant une masse maximale admissible au décollage de 5700 kg (12 566 livres) ou moins, ou un hélicoptère ayant une masse maximale admissible au décollage de 2730 kg (6018 livres) ou moins.

³ Un accident offrant des chances de survie est un accident où la violence du choc ne dépasse pas les limites de la résistance humaine, la structure de l'aéronef préserve l'espace de survie nécessaire aux occupants et les dispositifs de retenue des occupants remplissent leur rôle.

⁴ Une enquête sur des problèmes de sécurité examine de multiples événements qui, d'après le Bureau, sont le signe de situations ou de conditions dangereuses.

1.2 *Objectifs et retombées attendues de l'enquête*

L'enquête vise à améliorer la sécurité aérienne en examinant les données du BST sur les accidents de petit aéronef en vue de cerner les lacunes de sécurité qui contribuent aux incendies après impact ainsi qu'aux blessures et aux décès résultant d'accidents offrant des chances de survie. L'enquête vise également à déterminer les options de contrôle susceptibles d'atténuer les risques associés à ces accidents.

Les retombées attendues sont :

- une meilleure conscience de la fréquence et des effets des incendies résultant d'accidents offrant des chances de survie;
- une meilleure conscience de la nécessité de procéder à une enquête et à une documentation complètes des aspects pathologiques et techniques des accidents avec incendie;
- une meilleure conscience des méthodes pratiques visant à réduire les incendies;
- des propositions de modifications visant, au besoin, l'industrie et/ou la réglementation, en vue de réduire ou d'éliminer les risques associés aux incendies de petit aéronef.

1.3 *Méthodologie - Collecte et analyse des données*

1.3.1 *Procédures*

L'enquête est axée sur les accidents avec incendie survenus au Canada entre 1976 et 2002 à de petits aéronefs à moteur. Les données ont été puisées dans la base de données du Système d'information sur la sécurité aérienne (SISA) du BST ainsi que dans les dossiers et les rapports finals rendus publics sur les accidents concernés. L'enquête a examiné l'historique de ces incendies, les exigences de certification actuelles, les moyens de prévention permettant d'éviter ces incendies, les seuils de survie, les limites de l'analyse des avantages par rapport aux coûts et le montage en rattrapage de certains éléments sur les aéronefs actuels ainsi que les futures exigences possibles au niveau de la conception. L'enquête a également examiné des études de la Federal Aviation Administration (FAA) et du National Transportation Safety Board (NTSB) des États-Unis ainsi que des articles parus récemment dans des revues (voir l'annexe B).

On a demandé à deux économistes spécialistes des transports de la faculté d'économie de l'Université de l'Alberta d'examiner le processus actuel d'analyse économique en aviation, y compris l'analyse des avantages par rapport aux coûts. Ils ont également évalué l'effet de ce processus sur la prise de décisions dans l'application des options de contrôle des risques

disponibles pour atténuer les risques liés aux incendies. Ils ont produit un rapport intitulé *A Review of the Process of Economic Analysis into Risk Control Options for Mitigation of Post-Impact Fire Risks for Aircraft with a Maximum Certified Take-off Weight of 5670 Kilograms or Less* (Examen du processus d'analyse économique dans les options de contrôle des risques visant à atténuer les risques d'incendie après impact des aéronefs ayant une masse maximale homologuée au décollage de 5670 kg ou moins) (document 1). Le rapport examine le processus d'analyse économique adopté aux États-Unis pour évaluer les mesures de sécurité aérienne et présente une analyse préliminaire des avantages potentiels des mesures de contrôle des risques des incendies en termes de vies épargnées au Canada.

1.3.2 Collecte des données

En interrogeant la base de données du SISA du BST au moyen de mots clés et en examinant des résumés d'accident et des rapports finals rendus publics, on a dénombré 521 accidents de petit aéronef avec incendie survenus entre 1976 et 2002. La mesure dans laquelle l'incendie a contribué aux décès n'a été déterminée qu'en notant la cause de la mort figurant dans les rapports d'autopsie, dans les rapports de coroner et dans les bulletins d'enregistrement de décès disponibles⁵.

Pour identifier les blessures graves liées à l'incendie, on a examiné des résumés d'accident, des rapports finals, des notes rédigées par les enquêteurs et des coupures de presse.

Les données de base entourant ces 521 accidents avec incendie ont été recueillies (document 2) et analysées pour cerner les accidents où l'incendie avait contribué aux blessures et aux décès (voir l'annexe A). Il a été établi que l'incendie avait contribué aux blessures et aux décès dans 128 cas. Le sous-ensemble de données « blessures/décès liés à l'incendie » a été créé pour regrouper ces 128 cas. Les données relatives aux 128 cas ont été examinées en vue de cerner les conditions dangereuses communes qui avaient ou n'avaient pas contribué manifestement aux blessures et aux décès liés à l'incendie. Chaque dossier a été examiné individuellement. Les données relevées ont ensuite été transcrites sur une feuille de calcul Excel. Dans certains cas, la contribution de certaines conditions dangereuses communes était inconnue ou n'a pu être établie.

⁵ Voici des exemples de libellés qui précisent que la mort est liée à l'incendie : inhalation de fumée et brûlures causées par l'incendie ou en étant la conséquence; inhalation de produits de combustion et brûlures thermiques; personne brûlée vive; inhalation de gaz chauds; état de choc causé par l'incendie ou en étant la conséquence; traumatismes corporels multiples dus à des brûlures très profondes. Et voici des exemples de libellés qui précisent que la mort est liée à l'impact : blessures multiples; multiples blessures fermées dues à un coup violent et à la décélération; lacération du ventricule cardiaque droit; lacération de l'aorte; blessures fermées à la tête, au tronc et aux extrémités dues à un coup violent; multiples blessures massives causées par un trauma fermé ou en étant la conséquence.

Sur ces 128 cas, 14 ont été choisis au hasard afin d'être examinés par trois enquêteurs, et les résultats ont été comparés pour voir si les enquêteurs étaient du même avis. Il s'est avéré que dans chaque cas, les trois enquêteurs avaient relevé les mêmes conditions dangereuses; autrement dit, si une condition avait été notée par un enquêteur, elle l'avait également été par les autres. Les 114 autres cas ont alors été examinés une fois par un seul enquêteur qui s'est chargé de la saisie des données.

1.3.3 *Problèmes liés à la collecte des données*

Les données sont incomplètes en raison de problèmes rencontrés lors de la collecte des données.

- Quelques dossiers dans la base de données du SISA du BST ne comportaient aucune référence à un incendie après impact dans les champs consacrés aux événements ou au résumé.
- Quelques dossiers d'accident archivés étaient incomplets (absence de rapport d'autopsie et de description des blessures des victimes).
- Quelques dossiers d'accident antérieurs à 1982 n'étaient pas archivés.
- Les événements de catégorie 5⁶ ne font pas l'objet d'une enquête par le BST.
- Les particularités des accidents et l'information sur les blessures et les chances de survie sont rarement consignées dans la base de données du SISA.

Étant entendu que la contribution totale des incendies aux décès et aux blessures graves est probablement sous-estimée, il importe également de savoir que plusieurs autres sources d'erreur affectent probablement le dossier des conditions dangereuses associées aux accidents. Par conséquent, la comparaison directe de la fréquence de ces conditions devrait faire l'objet d'une interprétation prudente si l'on veut s'en servir pour déterminer les conditions dangereuses qui ont contribué le plus à ces accidents. Parmi ces sources d'erreur, on peut citer :

- Les conditions dangereuses les plus faciles à déceler ou à identifier vont sembler plus présentes, d'où une possible augmentation de leur importance.

⁶ Tous les accidents signalés font l'objet d'un examen initial des faits qui permet de décider s'il y a lieu de procéder à une enquête. On ouvre une enquête s'il est établi que cela pourra améliorer la sécurité des transports. Si la tenue d'une enquête n'est pas jugée nécessaire, l'événement est classé en catégorie 5, et le Bureau recueille et conserve des données à des fins statistiques et d'analyse des tendances. Les événements de catégorie 5 ne font pas l'objet d'un rapport rendu public.

- La contribution de certaines conditions dangereuses peut être sous-représentée par rapport à d'autres, empêchant ainsi toute comparaison directe. Si certaines conditions dangereuses étaient connues, elles se retrouveraient dans la catégorie « n'a pas contribué » alors que d'autres se retrouveraient dans la catégorie « a contribué ».
- Le sens de l'expression « n'a pas contribué comme condition dangereuse » varie d'une condition dangereuse à une autre, ce qui veut dire que la fréquence des diverses conditions ne peut faire l'objet d'une comparaison directe (par exemple, si le liquide hydraulique n'a pas été le « principal combustible », devrait-on dire « n'a pas contribué »?). Comme les données ont été puisées dans de nombreux dossiers d'accidents compilés au fil des ans par de nombreux enquêteurs, l'absence de données relatives à une condition dangereuse peut vouloir dire, soit que sa contribution est inconnue, soit qu'elle est sans objet. De plus, il n'est pas clair si l'expression « sans objet » est différente des mots « n'a pas contribué ».
- Avant 1991, les enquêteurs sur les accidents d'aviation utilisaient un formulaire de rapport d'enquête en papier de plusieurs pages où figuraient diverses cases de conditions dangereuses à cocher se fondant sur les définitions de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) (p. 14, Données relatives à la survie; p. 15, Données relatives à l'incendie). Par conséquent, les conditions dangereuses inhérentes aux incendies ont été plus largement signalées avant 1991 (et notamment les sources d'incendie). Il se peut que les données antérieures à 1991 sur-représentent ces conditions dangereuses à cause des indications qui figuraient sur le formulaire utilisé par les enquêteurs, ou bien que les données ultérieures à 1991 sous-représentent ces mêmes conditions, les enquêteurs n'ayant alors plus aucune indication pouvant les inciter à vérifier l'éventuelle présence de conditions dangereuses additionnelles.
- Comme nous l'avons dit précédemment, les données originales ont été consignées par de nombreux enquêteurs sur une très grande période, et ce, dans le contexte de leur propre perception des conditions dangereuses prépondérantes. Ce contexte est aujourd'hui impossible à reproduire par l'équipe d'enquête.
- Dans de nombreux accidents, plus d'une condition dangereuse (notamment les sources d'incendie) sont consignées comme ayant contribué et se voient attribuer une même probabilité quant aux causes de l'accident, ce qui augmente l'importance apparente des conditions dangereuses les moins probables.

On a demandé au NTSB de nous fournir les statistiques des États-Unis relatives aux taux d'accidents de petit aéronef avec incendie ainsi que le nombre de décès liés à l'incendie dans les 10 dernières années. On a obtenu des données limitées couvrant 5 ans. Entre le 1^{er} janvier 1998 et le 31 décembre 2002, il y a eu 1368 accidents mortels de petit aéronef aux États-Unis. Le nombre d'accidents avec incendie n'était pas précisé. De plus, le nombre de décès liés à

l'incendie n'a pu être clairement établi, car les dossiers de la base de données pour les accidents avec incendie devaient faire l'objet d'une recherche individuelle pour déterminer la cause de la mort. En outre, dans de nombreux cas, aucune information sur la cause de la mort n'avait été consignée. Les données disponibles ont permis de dénombrer 9 accidents mortels où l'incendie était à l'origine des décès ou y avait contribué. Ces 9 accidents ont causé la mort de 16 personnes, dont une personne au sol qui se trouvait près du point d'impact au moment de l'accident. Du fait que l'information est incomplète, les résultats obtenus sont jugés prudents.

Comme nous l'avons dit précédemment, les résultats de la présente enquête sont limités en raison des données incomplètes. Par conséquent, il est fort probable que la véritable fréquence et les véritables conséquences des accidents de petit aéronef avec incendie sont sous-représentées. Li et Baker (1997) croient également que les blessures résultant d'accidents d'aéronef n'ont pas été bien documentées au pays et en concluent que l'importance des incendies risque d'être sous-estimée.

2.0 *Aperçu de l'expérience canadienne en matière d'incendie après impact*⁷

2.1 *Statistiques du BST relatives aux incendies après impact*

La base de données du SISA renferme des dossiers portant sur 13 806 accidents de petit aéronef survenus au Canada entre 1976 et 2002. Ces accidents concernent tous les types d'aéronefs utilisés en exploitation commerciale et privée, comme des avions de production⁸ et de construction amateur, des hélicoptères de production et de construction amateur, ainsi que des ultra-légers de base et de type évolué. Le suivi exercé dans le cadre de l'enquête A00W0109 a permis au BST de dénombrer 521 accidents avec incendie, ce qui représente 3,8 % de l'ensemble des accidents.

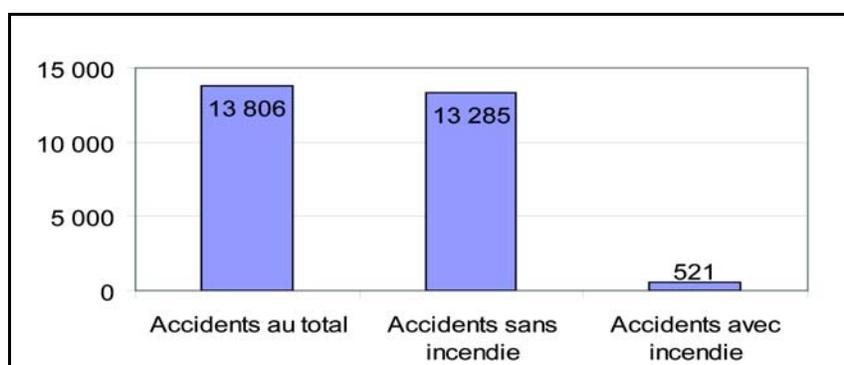


Figure 1. Comparaison entre les accidents de petit aéronef avec incendie et les accidents de petit aéronef sans incendie, 1976-2002

Ces 13 806 accidents ont fait 3311 morts et 2217 blessés graves. Les 521 accidents avec incendie ont fait 728 morts, soit 22 % du nombre total de morts, et 231 blessés graves, soit 10,4 % du nombre total de blessés graves. Par comparaison avec les chiffres correspondant au total des accidents, le taux de mortalité des accidents avec incendie est 5,5 fois plus élevé, et le taux des blessures graves est presque le triple.

⁷ Le document 3 présente la chronologie des accidents avec incendie qui sont représentatifs des 128 accidents où l'incendie a fait des morts ou des blessés graves.

⁸ Dans le présent rapport, les aéronefs possédant un certificat de type sont appelés avions de production ou hélicoptères de production.

(a) Tous les accidents (13 806)		
Catégorie de blessures	Nombre	Taux par accident
Blessures mortelles	3311	0,24
Blessures graves	2217	0,15
(b) Accidents avec incendie (521)		
Catégorie de blessures	Nombre	Taux par accident
Blessures mortelles	728	1,4
Blessures graves	231	0,44
Blessures mortelles liées à l'incendie	205	0,39
Blessures graves liées à l'incendie	80	0,15

Tableau 1. Blessures mortelles et blessures graves dans des accidents de petit aéronef avec incendie et des accidents de petit aéronef sans incendie, 1976-2002.

Source : BST (2002) et Lindsey et West (2003).

Les 521 accidents avec incendie ont fait l'objet d'un examen visant à différencier les blessures dues à l'impact de celles dues à l'incendie. Il est apparu que l'incendie ou l'inhalation de fumée avait été responsable, en tout ou en partie, d'au moins 205 décès (28 %) sur les 728 décès liés à ces accidents. Ce chiffre représente 6,2 % de tous les décès (3311) pour la plage des données et la catégorie de masse des aéronefs. Dans 129 cas sur 728, la cause de la mort n'était pas disponible ou n'avait pas été déterminée; par conséquent, le pourcentage des décès où l'incendie a été un facteur contributif présente une erreur de sous-représentation. En supposant que l'incendie ait contribué dans la même proportion à ces 129 décès qu'il ne l'a fait pour les décès dont la cause est connue, on constate alors que le pourcentage des décès où l'incendie a été un facteur contributif passe de 28 à 34 % des 728 décès dus à des accidents avec incendie (Lindsey et West, 2003). Il a été établi que l'incendie ou l'inhalation de fumée avait été responsable, en tout ou en partie, d'au moins 80 blessures graves, soit 3,8 % de toutes les blessures graves résultant d'accidents de petit aéronef.

Les 521 accidents avec incendie concernent 523 aéronefs, soit 382 avions de production, 94 hélicoptères de production, 27 avions de construction amateur, 2 hélicoptères de construction amateur, 1 autogire de construction amateur, 12 ultra-légers de base et 5 ultra-légers de type évolué. Deux de ces accidents sont des collisions en vol entre deux avions.

L'importance selon laquelle les accidents de petit aéronef avec incendie contribuent aux blessures et aux décès a été documentée dans d'autres études. Li et Baker (1997) ont examiné les données des certificats de décès provenant du National Center for Health Statistics concernant

tous les accidents d'aviation survenus dans les années 1980 à 1990, ce qui leur a permis d'établir que les brûlures avaient été consignées comme étant la cause immédiate de la mort dans environ 4 % des cas. Ils ont remarqué que les certificats ne mentionnaient que les blessures antérieures à la mort, d'où la possibilité d'une sous-estimation de l'importance des accidents avec incendie. Bensyl, Moran et Conway (2001) ont examiné les accidents en travail aérien en Alaska entre 1990 et 1999 et en sont arrivés à la conclusion que les accidents avec incendie constituaient la plus forte variable explicative des décès. Ils ont estimé que la probabilité de trouver la mort dans un accident d'aviation était 14 fois plus élevée en présence d'un incendie après impact que dans un accident sans incendie.

2.2 *Enquête sur un incendie après impact et protocole d'autopsie et d'examen post-mortem*

L'enquête sur un incendie après impact est un processus complexe qui nécessite un examen systématique et détaillé de l'épave ainsi qu'une analyse objective des données recueillies⁹. Compte tenu de la nature destructrice d'un incendie, les preuves physiques nécessaires pour étayer les constatations relatives à la source d'incendie, au déversement de carburant, à la propagation de l'incendie et aux problèmes d'évacuation risquent d'être impossibles à obtenir. Et cela est d'autant plus vrai en l'absence de compte rendu de survivant ou de témoin. Voici ce qu'en dit la FAA dans la discussion entourant l'avis de projet de réglementation (*Notice of Proposed Rule Making* ou NPRM) 85-7A :

[Traduction]

La nature des dommages causés par l'incendie est toutefois telle qu'il est difficile, voire impossible, de déterminer où l'incendie s'est déclaré, comment il s'est propagé et si la perte de vie aurait pu être évitée, et ce en ne s'intéressant qu'aux réservoirs, aux conduites ou aux raccords du circuit carburant. Les données permettent seulement d'établir qu'il y a eu déversement de carburant et qu'une personne a perdu la vie à la suite de blessures thermiques.

⁹ La National Fire Protection Association (NFPA) est un organisme international sans but lucratif basé aux États-Unis qui voit à l'élaboration de normes et qui s'occupe de prévention des incendies et d'autres questions de sécurité. La NFPA a publié deux manuels techniques basés sur des recherches et des principes scientifiques reconnus : le *Guide for Aircraft Accident Response* (NFPA 422) qui est un guide d'intervention en cas d'accident d'aviation et le *Guide for Fire and Explosion Investigations* (NFPA 921) qui est un guide d'enquête en cas d'incendie et d'explosion. Ces guides renferment de précieux conseils pour les enquêteurs en sécurité aérienne qui doivent enquêter sur un incendie.

Lorsqu'une personne meurt de façon inattendue ou alors qu'elle n'est pas sous les soins d'un médecin, l'identification ainsi que l'établissement des circonstances entourant sa mort et la cause de la mort relèvent de la province ou du territoire où le décès est survenu. La cause médicale de la mort est établie par un pathologiste qui se base sur l'examen pathologique. Les lignes directrices servant à la Direction des enquêtes (Air) du BST en matière d'examen post-mortem se trouvent dans un document de 1996 intitulé *Autopsy and Post-Mortem Examination Protocol* (Protocole d'autopsie et d'examen post-mortem). En cas d'accident avec incendie, il faut procéder à un examen post-mortem de tous les occupants ayant subi des blessures mortelles, dans la mesure nécessaire et jusqu'au niveau permis par l'état des restes humains, afin de déterminer les décès liés à l'incendie et ceux liés à l'impact. Si les radiographies du corps sont quasiment systématiques, il n'est pas toujours nécessaire de procéder à une autopsie complète. Ce processus peut contribuer à identifier des questions de sécurité liées à la résistance à l'écrasement et aux possibilités de survie. Qu'il y ait ou non autopsie complète, la cause médicale de la mort doit figurer sur le bulletin d'enregistrement du décès.

Dans de nombreux accidents avec incendie, l'examen post-mortem détaillé s'est limité aux membres d'équipage de conduite, le but étant d'établir si une maladie préexistante, une incapacité ou des problèmes d'ordre toxicologique pouvaient avoir contribué à l'accident. Souvent, le dossier d'accident du BST ne contenait ni compte rendu ni information sur l'examen post-mortem ou le bulletin d'enregistrement du décès des passagers tués. De plus, dans de nombreux cas, le nom des passagers tués n'avait pas été consigné dans la base de données du SISA, ce qui a empêché de faire des demandes ultérieures d'accès aux dossiers documentaires auprès du coroner ou du médecin légiste pertinent.

2.3 *Répartition par région des accidents avec incendie et des blessures connexes*

Le nombre d'accidents avec incendie varie grandement d'une province à l'autre, la Colombie-Britannique comptant quelque 27 % du nombre total d'accidents. Le taux d'accidents dans une région et le relief sont deux facteurs qui semblent avoir une influence sur le nombre d'accidents avec incendie dans la région. Le relief montagneux de la Colombie-Britannique est un facteur contributif au taux d'accidents de petit aéronef plus élevé, et ce, à cause des risques opérationnels plus élevés inhérents au vol à vue (VFR) à basse altitude en montagne. Les accidents en montagne semblent entraîner des incendies plus fréquents et avoir une fréquence plus élevée de décès liés à l'impact, que l'accident soit suivi ou non d'un incendie. Ce phénomène est probablement dû aux accidents plus violents en terrain accidenté.

Le rapport entre blessures liées à l'impact et blessures liées à l'incendie varie lui aussi d'une province à l'autre. La proportion des blessures liées à l'impact dans les accidents avec incendie est plus élevée en Colombie-Britannique, au Yukon et dans les Territoires du Nord-Ouest, par comparaison avec les provinces situées dans les régions moins montagneuses du Canada. Parmi les facteurs ayant pu influencer le rapport entre blessures liées à l'impact et blessures liées à

l'incendie, on peut citer les forces dynamiques au moment de l'accident, les différences dans les protocoles d'examen post-mortem des diverses provinces et le niveau variable de communication du BST avec les différentes autorités dont relèvent les coroners et les médecins légistes.

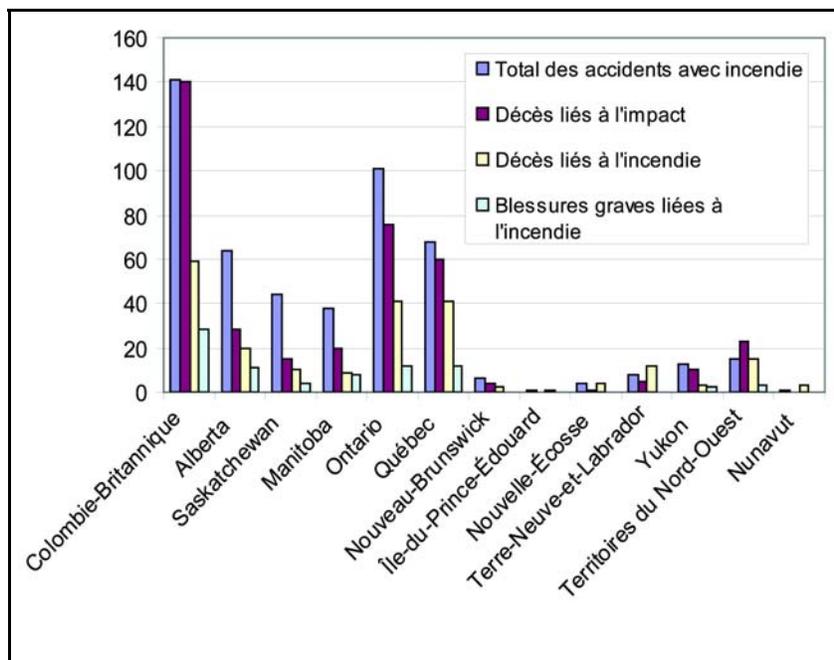


Figure 2. Répartition par région des accidents avec incendie et des blessures

Bien que l'on constate des taux d'accidents de petit aéronef plus élevés ainsi qu'une plus grande fréquence des incendies dans les régions montagneuses, les aéronefs peuvent être utilisés au-dessus d'une grande variété de reliefs, régions montagneuses comprises, pendant leur durée de vie en service; par conséquent, il est impossible de faire varier les normes de certification en fonction d'une utilisation possible au-dessus de régions précises.

2.4 Nombre d'aéronefs immatriculés

À la fin de 2002, le Registre d'immatriculation des aéronefs civils de Transports Canada comptait 28 744 aéronefs, dont des avions et des hélicoptères de production, des aéronefs de construction amateur et des ultra-légers; 27 374 d'entre eux avaient une masse égale ou inférieure à 5670 kg. Les chiffres de Transports Canada montrent que l'âge moyen des avions immatriculés au Canada ayant une masse inférieure à 5700 kg est de 37 ans. Comme un grand nombre de ces avions vont rester en service jusqu'à ce qu'ils aient un accident ou deviennent impossibles à entretenir d'un point de vue économique et que seuls quelques avions neufs sont mis en service chaque année, l'âge moyen de la flotte canadienne des appareils de moins de 5700 kg va en augmentant. Sur les quelque 220 000 aéronefs immatriculés aux États-Unis, on estime que 210 000 ont une masse au décollage inférieure à 5700 kg. Compte tenu des faibles taux de

production actuels des petits aéronefs et de leur faible taux de retrait du service, la plus grande partie de la flotte des appareils de moins de 5700 kg va être composée pendant un grand nombre d'années d'aéronefs déjà en service.

2.5 *Taux d'accidents des petits aéronefs par type d'exploitation*

À la fin de 2002, environ 80 % des petits aéronefs consignés dans le registre de Transports Canada étaient des aéronefs privés, 19 % étaient des aéronefs commerciaux et moins de 1 % étaient des aéronefs d'État. Les opérations aériennes faisant appel à des petits aéronefs en exploitation commerciale ou privée connaissent un taux d'accidents beaucoup plus élevé que les opérations effectuées avec de plus gros aéronefs. Il est généralement admis que les facteurs contributifs à ces taux d'accidents plus élevés sont : des normes de certification des aéronefs moins exigeantes, des exigences réduites en matière de formation au pilotage, une expérience des pilotes plus faible, des vols plus fréquents effectués par un seul pilote, une plus grande partie du temps consacrée à des vols VFR à basse altitude et l'utilisation plus fréquente de petits aéroports ou de pistes d'atterrissage dépourvus d'aides à la navigation et à l'atterrissage.

Le BST publie des statistiques des taux d'accidents sur 10 ans des opérations aériennes au Canada. Les taux d'accidents des taxis aériens présentent une tendance à la baisse, les chiffres passant de 13,2 accidents par 100 000 heures de vol en 1993 à 6,0 accidents par 100 000 heures de vol en 2002. Le taux d'accidents en travail aérien a lui aussi diminué de façon notable, passant de 12,7 accidents par 100 000 heures de vol en 1993 à 4,6 accidents par 100 000 heures de vol en 2002. Les taux d'accidents des aéronefs d'État et des hélicoptères sont demeurés relativement stables pendant cette période. Le taux d'accidents de la catégorie Affaires / Privée / Autre a connu une légère baisse, passant de 31,2 accidents par 100 000 heures de vol en 1993 à 28,4 accidents par 100 000 heures de vol en 2002. Bien que les taux d'accidents de ces petits aéronefs aient en général diminué, il n'en demeure pas moins qu'ils sont encore nettement supérieurs aux taux d'accidents des avions de transport régional et des avions de ligne, dont la masse est supérieure à 5700 kg.

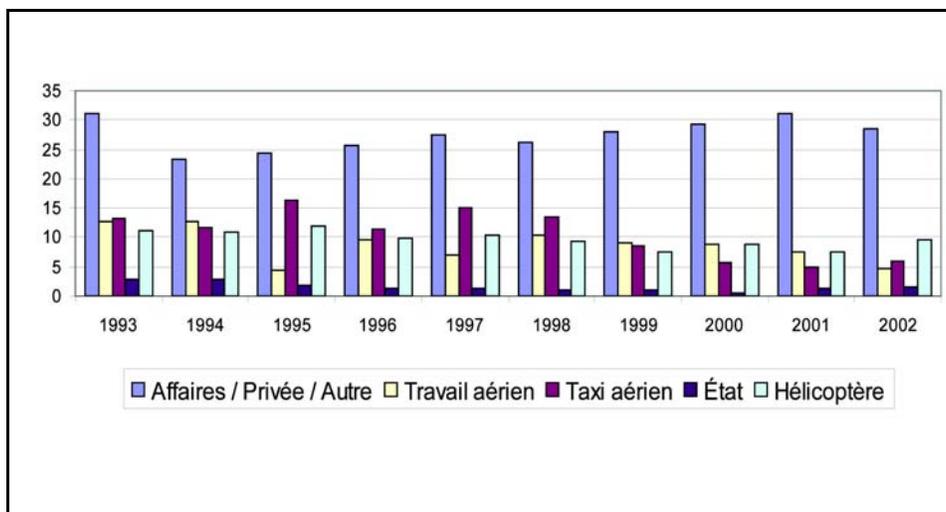


Figure 3. Taux d'accidents au Canada par 100 000 heures de vol par type d'exploitation, 1993-2002

Les 128 accidents où l'incendie a fait des blessés ou des morts concernent 98 avions de production, 20 hélicoptères de production, 6 avions de construction amateur, 2 ultra-légers de base et 2 ultra-légers de type évolué.

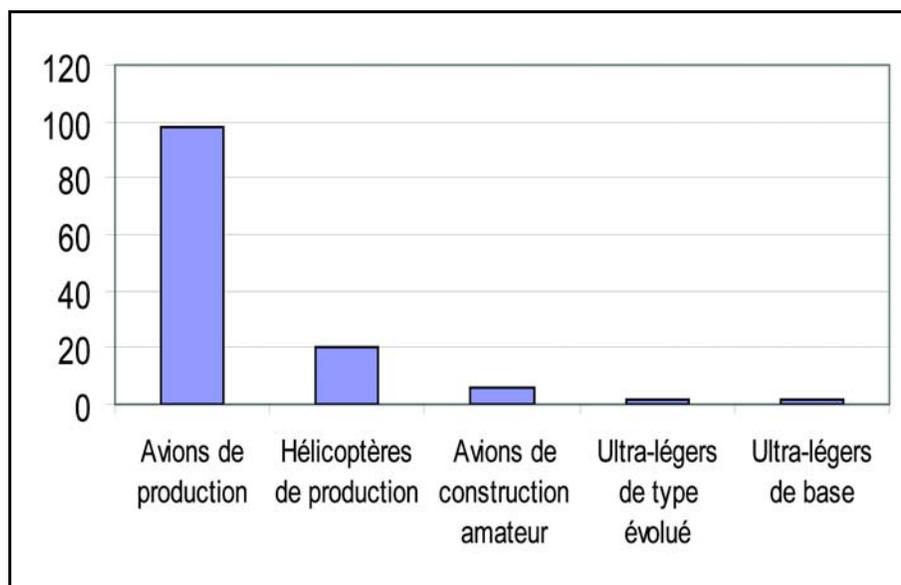


Figure 4. Répartition par admissibilité à l'immatriculation du nombre d'aéronefs dans des accidents avec blessures ou décès liés à l'incendie

Soixante des avions étaient en exploitation commerciale, 60 étaient en exploitation privée, 3 étaient exploités par une société, 2 étaient exploités par un organisme gouvernemental et 3 participaient à d'autres opérations.

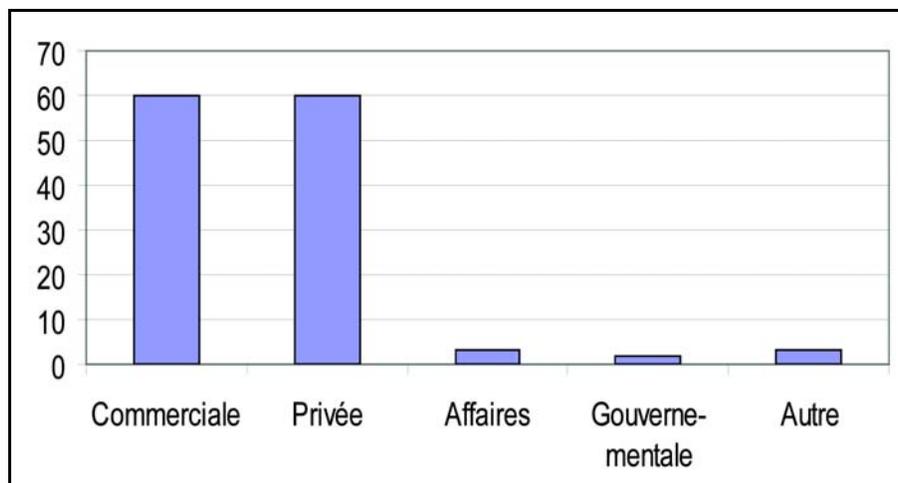


Figure 5. Répartition par type d'immatriculation du nombre d'aéronefs dans des accidents avec blessures ou décès liés à l'incendie

2.6 Différenciation des taux d'accidents avec incendie par type, par modèle et en fonction de l'immatriculation de l'aéronef

2.6.1 Avions de production

Un examen de la base de données du SISA a permis de dénombrer 382 accidents de petit avion de production suivis d'un incendie. Ces accidents ont causé la mort de 585 personnes; dans 169 cas, la mort a été reliée à l'incendie ou à l'inhalation de fumée; ces accidents ont également fait 175 blessés graves (dans 55 cas, les blessures ont été reliées à l'incendie). La majorité des avions possédait un certificat de type délivré en vertu des parties 3, 4, 5, 6, 8 ou 10 des *Civil Air Regulations* (CAR) ou de la partie 23 des FAR.

L'enquête a permis de différencier les taux d'accidents avec incendie en fonction de certains modèles communs d'avions de production, mais il n'a pas été possible d'évaluer la sécurité à partir des statistiques d'accidents disponibles. Malgré la présence plus fréquente de certains modèles dans les résumés des statistiques, le manque d'information précise, comme le nombre d'appareils en service, le nombre d'heures de vol annuelles et les différences dans les genres de vol, a rendu impossible toute véritable différenciation. De plus, même si une différence avait été établie, les organismes de réglementation n'appliquent pas de façon sélective les normes de navigabilité à des modèles d'avion précis. Un sommaire des modèles d'avion de production totalisant au moins cinq accidents avec incendie est présenté à des fins de référence.

Constructeur	Modèle	Accidents avec incendie	Accidents offrant des chances de survie suivis d'un incendie
de Havilland	DHC-2	15	8
de Havilland	DHC-3	16	5
de Havilland	DHC-6	7	3
Beech	15	5	2
Beech	90 / 100	8	2
Cessna	150 / 152	17	3
Cessna	172	21	3
Cessna	180	17	5
Cessna	182	10	2
Cessna	185	26	5
Cessna	206	14	3
Cessna	210	7	3
Cessna	310	5	2
Piper	PA-12	9	2
Piper	PA-18	11	2
Piper	PA-23	9	4
Piper	PA-24	5	0
Piper	PA-25	18	7
Piper	PA-28	16	6
Piper	PA-31	11	3
Piper	PA-32	9	1

Tableau 2. Modèles d'avion de production totalisant au moins cinq accidents avec incendie, 1976-2002

Bien qu'il n'ait pas été question dans la présente enquête de véritablement différencier par modèle d'avion de production les taux d'accidents avec incendie, il n'empêche que la fréquence élevée d'accidents avec incendie de DHC-2 Beaver offrant des chances de survie a de quoi surprendre. Il semblerait que deux facteurs inhérents à la conception entrent en ligne de compte. Les réservoirs de carburant principaux du DHC-2 Beaver (tout comme ceux du DHC-3 Single Otter et du DHC-6 Twin Otter) se trouvent immédiatement au-dessous du plancher de la cabine des passagers, entre les points de fixation du train d'atterrissage principal. À cet endroit, les réservoirs de carburant sont très vulnérables aux dommages en cas d'accident, comme une pénétration du train d'atterrissage, et exposent les occupants au front de flamme de l'incendie alimenté par le carburant, si le carburant prend feu. De plus, de gros câbles d'alimentation électrique à courant continu qui courent dans la partie inférieure du fuselage le long des

réservoirs de carburant pourraient s'avérer une véritable source d'incendie d'origine électrique s'ils venaient à être endommagés à l'impact. Sur tous les autres modèles d'avion figurant dans ce tableau, les réservoirs de carburant sont situés dans les ailes.

2.6.2 Hélicoptères de production

On a dénombré 94 accidents d'hélicoptère de production suivis d'un incendie dans la base de données du SISA. On a estimé que, dans 27 cas, l'accident offrait des chances de survie. Ces accidents ont fait 27 morts et 18 blessés graves liés à l'incendie. La majorité des accidents concerne des hélicoptères certifiés en vertu de la partie 27 des FAR, et ils avaient tous été construits avant 1994.

2.6.3 Avions, hélicoptères et autogires de construction amateur

Les exigences de navigabilité applicables aux aéronefs de construction amateur au Canada se trouvent au chapitre 549 du *Manuel de navigabilité*. En vertu de ce chapitre, est désigné comme aéronef de construction amateur (y compris celui construit à partir d'un ensemble préfabriqué ou kit) l'aéronef dont la majeure partie (plus de 50 %) est fabriquée à partir de matériaux bruts assemblés par une personne ou un groupe de personnes, sur une base non lucrative, à des fins de loisir ou d'éducation. Les aéronefs de construction amateur ne sont assujettis à aucune exigence de conception visant à réduire la fréquence des accidents offrant des chances de survie suivis d'un incendie.

L'examen de la base de données du SISA a permis de dénombrer 30 accidents d'aéronef de construction amateur suivis d'un incendie, soit 27 accidents d'avion, 2 d'hélicoptère et 1 d'autogire. On estime que, dans 4 cas, l'accident offrait des chances de survie; ces accidents ont causé 4 décès liés à l'incendie et fait 6 blessés graves liés à l'incendie.

2.6.4 Ultra-légers de base et de type évolué

On a dénombré 12 accidents d'ultra-léger de base suivis d'un incendie dans la base de données du SISA. Ces accidents ont causé 3 décès liés à l'incendie.

On a dénombré 5 accidents d'ultra-léger de type évolué suivis d'un incendie dans la base de données du SISA. Ces accidents ont causé 8 décès, dont 2 liés à l'incendie, ainsi que 1 blessé grave également lié à l'incendie.

Les ultra-légers de base, les ultra-légers de type évolué et les autogires ne sont assujettis à aucune exigence de conception visant à réduire la fréquence des incendies après impact dans les accidents offrant des chances de survie.

2.6.5 *Planeurs*

Les planeurs sont des aéronefs non entraînés par un moteur et ils ne transportent pas de carburant. Le carburant est le matériau combustible qui joue le rôle le plus significatif dans les accidents de petit aéronef avec incendie.

On a dénombré 279 accidents de planeur pour la période allant de 1976 à 2002 dans la base de données du SISA. Aucun d'entre eux ne fait état d'un incendie.

3.0 Possibilité de survie à un accident avec incendie

3.1 Seuils de survie

Les blessures que les occupants subissent dans un accident de petit aéronef sont classées en deux catégories : les blessures liées à l'impact et les blessures liées à l'incendie. Les blessures liées à l'impact sont réparties en deux groupes : les blessures dues au choc, qui se produisent lorsque le corps entre en contact avec la structure avoisinante au moment de l'impact, et les blessures dues à l'accélération, qui se produisent à la suite des violentes réductions de la vitesse des occupants. Il est possible de limiter les blessures dues au choc en prévoyant de meilleurs dispositifs de retenue, en utilisant de l'équipement de protection comme les casques, et en améliorant l'intérieur du poste de pilotage et de la cabine. Quant aux blessures dues à l'accélération, il est possible de les limiter en minimisant le transfert d'énergie aux occupants grâce à l'utilisation d'une structure et de sièges capables d'absorber cette énergie. Ces deux catégories de blessures liées à l'impact risquent toutefois de contribuer aux décès et aux blessures liés à l'incendie en immobilisant les occupants suffisamment longtemps pour les empêcher de quitter rapidement d'eux-mêmes un lieu où un incendie fait rage.

Les blessures liées à l'incendie peuvent être réparties en deux groupes : les brûlures et les blessures du système respiratoire. Les occupants exposés à un incendie risquent de subir des blessures thermiques au niveau de la peau, des blessures thermiques du système respiratoire et une exposition à des gaz toxiques, qui peuvent toutes être mortelles. D'après le *Small Airplane Crashworthiness Design Guide* (document 4), une personne dispose d'une vingtaine de secondes pour évacuer un lieu où il fait 400 °F (Hurley et Vandenburg, 2002).

3.2 Évacuation d'un petit aéronef en cas d'accident avec incendie

Par rapport à un accident avec incendie d'un gros aéronef, l'évacuation des occupants d'un petit aéronef dans pareilles circonstances risque d'être compromise pour plusieurs raisons. Il se peut que, à vitesse et à angle d'impact équivalents, les occupants soient soumis à des forces d'impact plus élevées dans un petit aéronef que dans un gros, compte tenu des dimensions structurales limitées de la cellule d'un petit avion capable d'absorber l'énergie. Il peut en résulter des fractures osseuses nuisant à la mobilité des occupants. Les occupants d'un petit aéronef sont généralement assis plus près du carburant que les occupants d'un gros avion et, compte tenu de l'épaisseur moindre du revêtement d'un petit avion, l'incendie met moins de temps pour traverser le revêtement.

Le *Small Airplane Crashworthiness Design Guide* de Simula Technologies renvoie à des essais effectués par le National Advisory Committee for Aeronautics (NACA), un ancien organisme fédéral des États-Unis, afin de mesurer les températures ambiantes et de rayonnement lors d'un incendie résultant d'un accident de petit ou de gros aéronef à voilure fixe, en vue de déterminer le temps dont disposent les occupants pour évacuer. Dans le cas d'un accident de gros aéronef

avec incendie, on estime que ce temps peut varier entre 53 et 220 secondes, la moyenne se situant à 135 secondes, compte tenu du temps que met l'incendie pour traverser le revêtement et de la résistance humaine à la chaleur. D'après les résultats des essais du NACA, il a été estimé que, dans le cas d'un accident de petit aéronef avec incendie, les occupants disposaient en moyenne de 17 secondes pour évacuer (Hurley et Vandenburg, 2002). Ce résultat montre que, s'il y a un incendie et qu'un occupant subit des blessures incapacitantes mais ne mettant pas sa vie en danger ou qu'il ne peut pas pour une raison ou une autre sortir de lui-même du petit aéronef, cet occupant court de grands risques d'être grièvement blessé ou de périr dans l'incendie.

3.3 *Extincteurs portatifs de bord*

En vertu de l'article 602.60 du *Règlement de l'aviation canadien* (RAC), tout aéronef entraîné par moteur autre qu'un avion ultra-léger doit être muni dans le poste de pilotage d'un extincteur portatif d'un type permettant d'éteindre les incendies pouvant vraisemblablement survenir. L'article 704.83 du RAC exige que, lorsque des passagers sont à bord, au moins un extincteur portatif soit facilement accessible pour usage immédiat et se trouve dans la cabine passagers.

Les extincteurs portatifs de bord sont obligatoires pour lutter contre la propagation d'un incendie en vol, mais la présente enquête révèle qu'ils constituent rarement un moyen de lutte contre un incendie après impact. Les occupants en état de se mouvoir vont probablement s'éloigner d'eux-mêmes en cas d'incendie, compte tenu du risque de propagation rapide ou encore d'explosion, plutôt que d'essayer d'atteindre un extincteur portatif de bord pour éteindre l'incendie. De plus, les extincteurs présents dans les petits aéronefs sont souvent montés dans des endroits susceptibles d'être endommagés à l'impact, par exemple sous un siège du poste de pilotage, et risquent de ne pas être facilement accessibles aux survivants. En outre, il se pourrait que les extincteurs portatifs ne contiennent pas une quantité suffisante d'agent chimique pour éteindre un violent incendie alimenté par le carburant. Dans les 128 cas où l'incendie a fait des morts ou des blessés graves, nous n'en avons trouvé aucun où l'extincteur portatif de bord a été délogé de son support et utilisé par les occupants dans l'espoir d'éteindre l'incendie.

3.4 *Lutte contre l'incendie*

La lutte contre l'incendie permet de limiter, voire d'empêcher, les dommages aux personnes ou aux biens. Dans son *Guide for Fire and Explosion Investigations* (NFPA 921) qui est un guide d'enquête en cas d'incendie et d'explosion, la NFPA indique que la combustion fait appel à quatre éléments : un combustible, un comburant, de la chaleur et une réaction chimique auto-entretenu. Le NFPA 921 précise ensuite que ces quatre éléments sont généralement représentés par une forme géométrique à quatre côtés appelée tétraèdre et qu'un incendie peut être prévenu ou éteint en régulant ou en supprimant un ou plusieurs côtés du tétraèdre.

Les exploitants d'aéroports desservis par un grand nombre d'aéronefs commerciaux de transport de passagers sont tenus d'offrir des services de sauvetage et de lutte contre les incendies d'aéronefs (SLIA). En vertu de l'article 303.18 du RAC, un exploitant d'aéroport doit démontrer que, dans les trois minutes suivant le déclenchement d'une alarme, un nombre suffisant de véhicules de lutte contre les incendies d'aéronefs capables de répandre l'agent extincteur principal à 50 % de la capacité totale de débit exigée doivent être capables d'atteindre le point situé à mi-longueur de la piste la plus éloignée utilisée par des aéronefs commerciaux de transport de passagers, ou tout autre point préétabli situé à une distance équivalente. À l'heure actuelle, le Canada compte 28 aéroports désignés qui doivent avoir des pompiers sur place, ainsi que 4 autres aéroports qui respectent les exigences de la sous-partie 303 du RAC sur une base volontaire. La sous-partie 308 du RAC s'applique également à 25 autres aéroports qui accueillent des aéronefs assujettis à la sous-partie 705¹⁰ du RAC.

Pour que l'extinction d'un incendie soit un moyen de défense efficace contre la mort ou les blessures liées à l'incendie dans les cas où les occupants sont incapables d'évacuer d'eux-mêmes un aéronef accidenté, il faut que l'incendie soit éteint ou circonscrit avant que la mort ou les blessures graves ne puissent survenir, ce qui risque de ne pas être possible dans la plupart des incendies alimentés par le carburant résultant d'un accident de petit aéronef. Plus souvent qu'autrement, les accidents de petit aéronef se produisent ailleurs que sur des aéroports désignés régis par la sous-partie 303 du RAC. Et même lorsqu'un accident de petit aéronef survient sur un aéroport désigné régi par la sous-partie 303 du RAC et qu'un incendie alimenté par le carburant éclate après l'impact, les 17 secondes dont peuvent s'attendre à disposer les occupants pour évacuer sont de beaucoup inférieures aux trois minutes constituant le délai d'intervention démontré des services SLIA. Cela révèle qu'il serait beaucoup plus avantageux de prendre toutes les initiatives techniques jugées nécessaires pour empêcher les incendies après impact, plutôt que de se fier à d'éventuelles mesures de sauvetage en cas d'incendie.

Le RAC est muet sur le délai d'intervention des pompiers en cas d'accident en dehors des limites d'un aéroport. De plus, la probabilité est très faible que des exigences renforcées en matière de délai d'intervention des services SLIA puissent réduire les risques associés aux incendies de petit aéronef.

Les risques accrus associés aux accidents d'aviation qui se produisent en dehors des aéroports ont déjà été identifiés dans d'autres études. Li et Baker (1993), dans leur examen de la survie des pilotes après un accident d'avion de transport régional ou de taxi aérien, ont indiqué que l'incendie après l'accident constituait le plus important facteur de risque de blessures mortelles.

¹⁰ Par aéronefs assujettis à la sous-partie 705 du RAC, on entend soit des avions ayant une masse maximale homologuée au décollage supérieure à 8618 kg, soit des avions pour lesquels un certificat de type canadien a été délivré autorisant le transport de 20 passagers ou plus, soit des hélicoptères dont la configuration prévoit 20 sièges ou plus, sans compter les sièges pilotes, lorsque ces aéronefs sont utilisés par un exploitant aérien canadien dans le but d'assurer un service de transport aérien.

Ils ont également mentionné que les accidents qui se produisent en dehors des aéroports, par mauvais temps ou de nuit, augmentent aussi les risques de blessures mortelles, vraisemblablement parce qu'il est plus probable que ces accidents s'accompagnent d'impact à haute vitesse après une perte de maîtrise, et parce qu'ils peuvent grandement compliquer la tâche des sauveteurs. Dans leur recherche sur l'épidémiologie entourant les accidents d'avion de transport régional et les accidents de taxi aérien, Li, Baker et Dodd (1996) ont indiqué que le fait que l'accident se produise en dehors d'un aéroport est l'un des facteurs associés à une plus grande probabilité d'incendie et ont mentionné de nouveau que les circonstances à hauts risques inhérentes à la nuit, le fait que l'accident survienne en dehors d'un aéroport et les conditions météorologiques de vol aux instruments compliquent souvent la tâche des pompiers et des sauveteurs.

3.5 *Type de carburant*

Dans les divers accidents ayant fait des morts et des blessés au cours des incendies qui ont suivi, 89 aéronefs utilisaient de l'essence aviation, 13 utilisaient de l'essence automobile, 3 du kérosène Jet A et 17 du kérosène Jet B¹¹. Un aéronef transportait à la fois de l'essence aviation et de l'essence automobile dans des réservoirs distincts. Dans 5 cas, le type de carburant n'était pas consigné. L'essence aviation a une tension de vapeur supérieure à celle du kérosène; il a donc une plus forte tendance à se vaporiser dans une plage plus grande de conditions ambiantes, notamment par des températures plus élevées et lors d'un accident. Il est donc permis de penser que les aéronefs alimentés en essence aviation ou en essence automobile sont exposés à des risques plus grands d'incendie. Toutefois, les statistiques d'accidents disponibles n'ont pas permis de déterminer l'importance du type de carburant sur la sécurité, car il a été difficile de faire la différence entre le taux d'accidents des aéronefs à moteur à pistons et celui des aéronefs à turbine dans la base de données du SISA.

L'examen d'autres rapports a révélé qu'un incendie après impact se produisait plus fréquemment si l'aéronef utilisait de l'essence aviation plutôt que du kérosène. Dans son rapport intitulé *Study of General Aviation Fire Accidents (1974-1983)* (Étude sur les accidents avec incendie d'aéronefs de l'aviation générale) (Ludwig, Clarke et Lawton, 1987), la FAA a remarqué que 94,5 % des accidents avec incendie figurant dans la base de données sur les incendies de la FAA concernaient des aéronefs utilisant de l'essence aviation et que les 5,5 % restant concernaient des aéronefs utilisant du kérosène. Ce rapport indique que, bien que le nombre de décès et le nombre d'accidents occupent des proportions similaires pour ces deux types de carburant, la majorité des aéronefs de l'aviation générale utilise de l'essence aviation, alors que le kérosène sert seulement aux plus gros aéronefs que l'on trouve généralement dans l'aviation d'affaires (Ludwig, Clarke et Lawton, 1987).

¹¹ Le Jet B est un type de carburant relativement rare dont les raffineurs pétroliers sont en train d'arrêter volontairement la production.

4.0 *Aperçu des exigences de conception relatives à la résistance à l'écrasement des aéronefs*

4.1 *Généralités*

Les moyens de défense administratifs qui régissent la certification des aéronefs de par le monde se trouvent essentiellement dans trois structures réglementaires : les *Federal Aviation Regulations* (FAR) des États-Unis, le *Règlement de l'aviation canadien* (RAC) et la réglementation de l'Agence européenne de la sécurité aérienne (AESA). La partie 23 des FAR établit les normes de navigabilité destinées aux avions des catégories normale, utilitaire, acrobatique et navette. Les FAR, le RAC et la réglementation de l'AESA étant harmonisés, cela veut dire que les petits aéronefs possédant un certificat de type construits aux États-Unis, au Canada et en Europe respectent essentiellement les mêmes normes. Pour alléger le présent rapport, seules les FAR seront mentionnées dans les renvois à la certification des aéronefs.

4.2 *Exigences actuelles de la partie 23 des FAR concernant les aéronefs de production*

La FAR 23 renferme trois exigences relatives à la certification du circuit carburant qui réduisent les risques d'incendie en cas d'accident mineur. La FAR 23.967(e)(2)(I) exige que les réservoirs de carburant soient conçus, situés et installés de manière à retenir le carburant en cas d'atterrissage train rentré¹² sur une piste en dur. En vertu de cette exigence, l'arrachement d'un bâti-moteur doit être pris en considération, à moins que tous les moteurs ne soient installés au-dessus de l'aile ou sur l'empennage ou le fuselage. De plus, la FAR 23.994 exige que les composants du circuit carburant qui se trouvent dans un fuseau moteur ou dans le fuselage soient protégés contre les dommages qui pourraient constituer un danger d'incendie à la suite d'un atterrissage train rentré sur une piste en dur, et la FAR 23.999(b)(2)(vi) exige que des clapets de purge soient placés ou protégés de manière à empêcher tout déversement de carburant en cas d'atterrissage sur le ventre. Ces exigences ne concernent que les aéronefs munis d'un train d'atterrissage rentrant. À l'heure actuelle, les aéronefs à train rentrant régis par la FAR 23 ne sont assujettis à aucune autre norme obligatoire relative à la résistance à l'écrasement de leur circuit carburant, les aéronefs à train fixe régis par la FAR 23 n'étant quant à eux assujettis à aucune norme en la matière. Aucun ou presque des avions de production régis par la FAR 23 actuellement en service, à l'exception d'un petit nombre de nouveaux modèles pour lesquels les constructeurs ont incorporé volontairement des améliorations comme des tuyaux souples aux principaux points de jonction avec la structure, ne font appel à des techniques de résistance à l'écrasement du circuit carburant.

¹² Dans le présent rapport, les termes atterrissage train rentré et atterrissage sur le ventre sont utilisés invariablement.

Les FAR 23.561 et FAR 23.562 contiennent des exigences de base relatives à la sécurité des occupants, comme des critères de retenue et en cas de capotage dans des conditions d'atterrissage d'urgence contrôlé. De plus, la FAR 23.787(3) précise les exigences de protection des occupants contre les blessures dues à un contact avec des bagages ou du fret qui se seraient déplacés, et ce, jusqu'à un facteur de charge d'inertie avant de 9 g. Si ces exigences sont censées minimiser les blessures en cas d'accident mineur, il se pourrait que les occupants n'aient plus systématiquement leur mobilité après avoir été exposés aux conditions dynamiques mentionnées dans ces FAR.

4.3 *Historique des modifications des exigences de certification de la FAR 23 relatives à la résistance à l'écrasement du circuit carburant*

Des organismes gouvernementaux ont déjà essayé de régler la question des incendies de petit aéronef au moyen d'études spéciales et d'avis de projet de réglementation (*Notice of Proposed Rule Making* ou NPRM). De nombreuses préoccupations liées aux incendies après impact ont été traitées dans le rapport d'une étude spéciale du National Transportation Safety Board (NTSB) portant le titre *General Aviation Accidents: Postcrash Fires and How to Prevent or Control Them* (NTSB-AAS-80-2, 1980) (Accidents de l'aviation générale : comment prévenir et circonscrire les incendies après impact). L'étude spéciale du NTSB de 1980 a établi qu'il y avait eu 22 002 accidents de l'aviation générale aux États-Unis de 1974 à 1980, dont 1764 (8,0 %) avec incendie. Au terme de cette étude spéciale, le NTSB a fait six recommandations à la FAA.

De 1980 à 1996, la FAA a mis sur pied des projets destinés à étudier ces recommandations et a demandé qu'un groupe d'experts non officiel appelé General Aviation Safety Panel (GASP) soit formé pour se pencher sur les questions relatives à la sécurité de l'aviation générale, dont la question de la résistance à l'écrasement. Le GASP, composé de volontaires du milieu de l'aviation générale ayant des connaissances en la matière, a décidé en 1984 de formuler des recommandations concrètes sur la résistance à l'écrasement en vue de réduire la fréquence et les conséquences des incendies après impact touchant les avions de l'aviation générale. Un *Advanced Notice of Proposed Rule Making* (ANPRM) (avis préalable de projet de réglementation), publié le 5 mars 1985, annonçait l'intention de la FAA d'incorporer des normes de navigabilité portant sur la résistance à l'écrasement des circuits carburant des aéronefs relevant de la FAR 23. Par la suite, en réponse à cet ANPRM, le NTSB a signalé qu'environ 14 % des occupants ayant trouvé la mort dans des accidents avec incendie auraient pu avoir la vie sauve s'il n'y avait pas eu d'incendie et qu'environ 26 % des occupants grièvement blessés auraient pu subir des blessures moins graves en l'absence d'incendie.

Cet ANPRM avait pour objet de solliciter les observations du public sur la nécessité de procéder à des modifications réglementaires et sur les coûts de celles-ci. Après l'examen des réponses, le GASP a recommandé :

1. que tout aéronef pouvant transporter moins de 10 passagers soit conçu de façon à ce que, dans certaines parties de l'aéronef, l'écoulement accidentel de carburant ne dépasse pas 8 onces par raccord;
2. que les réservoirs de carburant se trouvant à certains endroits répondent à des critères précis de résistance à l'écrasement;
3. que la FAA s'intéresse à d'autres moyens de réduire l'écoulement accidentel des réservoirs de carburant en général;
4. que la FAA prépare une circulaire consultative précisant les moyens acceptables de se conformer à la réglementation sur les circuits carburant résistant à l'incendie.

Le NPRM 85-7A intitulé *14 CFR Part 23 Airworthiness Standards: Crash-Resistant Fuel Systems* (partie 23 du titre 14 du *Code of Federal Regulations* [14 CFR], normes de navigabilité, circuits carburant résistant à l'écrasement) et publié le 28 février 1990, proposait des modifications aux normes de navigabilité de la FAR 23 en vue d'améliorer la résistance à l'écrasement des circuits carburant des aéronefs des catégories normale, utilitaire, acrobatique et navette. Ce NPRM était axé sur le confinement du carburant et n'abordait pas la question de l'élimination des sources d'incendie résultant de l'accident.

Après des délibérations qui se sont étalées sur neuf ans, le NPRM 85-7A a fini par être retiré le 30 décembre 1999. L'avis de retrait indiquait que, à la suite des observations reçues, la FAA avait procédé à une révision de l'évaluation économique des recommandations de sécurité et qu'elle en était arrivée à la conclusion que les coûts des modifications proposées n'étaient pas justifiés par rapport aux avantages possibles. L'avis de retrait précisait également certaines des préoccupations soulevées dans les observations reçues, comme la nécessité de définir ce qu'est un « accident offrant des chances de survie », la fiabilité des dispositifs auto-obturant des conduites de carburant, la préférence pour un essai objectif des réservoirs de carburant plutôt que l'obligation d'utiliser des réservoirs souples et l'incapacité d'appliquer des normes sélectives en fonction des divers types d'aéronef.

Les calculs révisés à l'origine du retrait de ce NPRM n'ont pas été communiqués, et le document n'indiquait pas explicitement que les coûts estimés l'emportaient sur les avantages (Lindsey et West, 2003). Depuis le retrait du NPRM 85-7A, les organismes de réglementation n'ont pris aucune mesure tangible visant à régler le problème de la résistance à l'écrasement, au moyen de modification à la certification, au chapitre des accidents avec incendie des petits aéronefs de production.

Les préoccupations soulevées dans les observations à propos du NPRM 85-7A sur la définition d'un accident offrant des chances de survie ont été traitées dans le NPRM 90-24. Ce dernier, qui proposait des critères complets de conception et d'essai de circuit carburant résistant à l'écrasement destinés aux normes de navigabilité des giravions de la catégorie normale et de la catégorie transport, définissait comme suit un accident offrant des chances de survie :

[Traduction]

Selon le sens qui lui est donné dans le présent projet de réglementation, un accident offrant des chances de survie s'entend d'un accident où la limite d'accélération tolérée à laquelle peut survivre un être humain n'a été dépassée dans aucun des trois axes principaux du giravion, où la structure et le volume structural entourant les occupants demeurent suffisamment intacts pendant et après l'impact pour leur permettre de survivre, et où aucun objet de grande masse ne se libère de son dispositif de retenue, créant ainsi un danger pour les occupants.

Il suffirait de remplacer les mots « axes principaux du giravion » par « axes principaux de l'avion » pour que cette définition puisse tout aussi bien s'appliquer aux aéronefs à voilure fixe (Lindsey et West, 2003).

4.4 *Essais de circuits carburant résistant à l'écrasement*

Un rapport intitulé *Tests of Crash-Resistant Fuel System for General Aviation Aircraft* (Essais de circuits carburant résistant à l'écrasement destinés aux aéronefs de l'aviation générale) a été préparé en 1978 pour le compte de la FAA relevant du département des Transports des États-Unis. Ce rapport décrivait les essais qui avaient été effectués afin de démontrer le rendement de réservoirs de carburant souples et légers résistant à l'écrasement couplés à des raccords détachables de conduite de carburant. Ce rapport présentait les résultats de trois essais d'écrasement d'une cellule de Piper Navajo et en arrivait à la conclusion que ces réservoirs de carburant souples et légers résistant à l'écrasement couplés à des raccords détachables auto-obturants de conduite de carburant pouvaient réduire de façon efficace les incendies après impact des aéronefs de l'aviation générale équipés de réservoirs d'aile (Perrella, 1978). Ce rapport a déjà été cité dans les recommandations A-80-90 et A-80-91 du NTSB.

Soltis (1987) a évalué un large éventail de tailles et de configurations d'aéronef afin d'estimer les conséquences potentielles que pourrait avoir l'installation de réservoirs souples sur la conception des aéronefs. Il en a conclu que les opérations de reprise de la conception des petits aéronefs actuels afin de permettre la pose de réservoirs souples allaient entraîner une augmentation de la masse à vide des aéronefs et une réduction de leur volume de carburant, de leur charge marchande et de leur rayon d'action. Il a également tiré une conclusion d'ordre qualitatif en indiquant que, dans certains cas, des réservoirs souples de carburant risquaient d'être posés dans des endroits bien précis, comme des parties du caisson d'aile facilement accessibles à l'emplanture de l'aile ou dans les fuseaux moteur, là où pouvaient se trouver des sources d'incendie. De telles installations n'auraient qu'un impact minimal sur la conception ou la fonction des aéronefs (Soltis, 1987).

4.5 *Historique des modifications aux exigences de certification des parties 27 et 29 des Federal Aviation Regulations relatives à la résistance à l'écrasement du circuit carburant*

La partie 27 des FAR précise les normes de navigabilité concernant les giravions de la catégorie normale ayant une masse maximale de 7000 livres ou moins et un nombre de sièges passagers de 9 ou moins. La partie 29 des FAR spécifie les normes de navigabilité applicables aux giravions de la catégorie transport.

Une amélioration importante aux exigences de certification des hélicoptères civils a eu lieu en 1994 lorsque la FAA a imposé, en vertu des FAR 27.952 et 29.952, des normes de résistance à l'écrasement du circuit carburant des hélicoptères nouvellement certifiés. Les circuits carburant des hélicoptères certifiés après 1994 devaient répondre aux critères d'un essai de chute, respecter des facteurs de charge précis et posséder certaines caractéristiques de conception comme des raccords détachables auto-obturants ainsi que des fixations structurales frangibles ou déformables. Le carburant doit se trouver le plus loin possible des endroits où se trouvent les occupants et des sources potentielles d'incendie; de plus, les parois des réservoirs de carburant souples et rigides ou semi-rigides doivent être résistantes à l'impact et à la déchirure¹³.

¹³ Un article de recherche de Mark S. Hayden et coll. conclut ceci : [Traduction] « Les résultats de cette étude permettent de croire, en matière de prévention des incendies après impact, à un meilleur comportement des hélicoptères civils équipés d'un circuit carburant résistant à l'écrasement par rapport à ceux qui n'en ont pas. Une utilisation plus étendue des hélicoptères civils équipés d'un circuit carburant résistant à l'écrasement permettrait manifestement de prévenir un certain nombre de blessures thermiques (graves et mortelles). »

4.6 *Le Small Airplane Crashworthiness Design Guide de Simula Technologies*

Le *Small Airplane Crashworthiness Design Guide* préparé par Simula Technologies, Inc. pour le compte du Integrated Design and Manufacturing Technical Council de l'Advanced General Aviation Transport Experiments (AGATE) et pour le Langley Research Center de la National Aeronautics and Space Administration (NASA) constitue un document complet sur la conception des petits avions résistant à l'écrasement. Ce guide a été élaboré dans le but d'aider les concepteurs d'aéronef à mieux comprendre les éléments de conception à prendre en compte dans le développement d'aéronefs de l'aviation générale résistant à l'écrasement, et il contient de l'information sur les techniques de résistance à l'écrasement à la fine pointe de la technologie applicables aux aéronefs de l'aviation générale civile. Ce guide de conception est censé être la première et la meilleure source de renseignements en matière de conception d'avions légers résistant à l'écrasement (Hurley et Vandenburg, 2002). Le chapitre 10 du guide (document 4) présente une discussion complète des facteurs entourant les incendies après impact. L'annexe C du guide (document 5) donne des conseils sous la forme d'une liste de vérifications pour la conception de circuit carburant.

4.7 *Améliorations apportées par les constructeurs en vue de réduire les incendies après impact ainsi que les blessures et les décès*

Il existe plusieurs exemples de mesures prises volontairement par les constructeurs de petits avions pour réduire les risques et les conséquences des incendies après impact de leurs nouveaux produits. La société Piper Aircraft fait appel, dans son monoturbiné pressurisé à aile basse PA46-500TP Meridian, à une technique permettant d'éliminer totalement les conduites et les raccords de carburant dans les compartiments pressurisés du fuselage, ce qui réduit ainsi la possibilité de blessures dues à un incendie après impact. Les conduites de carburant entre les réservoirs de carburant et le moteur passent à l'extérieur de la cabine, et les réservoirs sont logés dans les ailes à l'extérieur du train d'atterrissage, ce qui augmente la distance entre les occupants et le carburant.

La société Cessna Aircraft a incorporé plusieurs dispositifs de sécurité dans sa nouvelle gamme de produits composée d'avions à aile haute, à savoir les modèles 172, 182 et 206, le but étant de réduire la fréquence des incendies après impact. Un petit compartiment étanche a été ajouté entre les réservoirs de carburant des ailes et le fuselage afin de réduire la possibilité d'un écoulement de carburant dans la cabine en cas d'accident, et des conduites de carburant flexibles sont maintenant montées aux jonctions de l'aile fuselage afin de réduire les risques de rupture des conduites à ces endroits. De plus, le décanteur de carburant a été relogé sur la cloison pare-feu dans le but de le rendre moins vulnérable aux dommages à l'impact, et les composants du circuit carburant et du circuit électrique sont mieux isolés les uns des autres.

Le réservoir de carburant des avions Diamond DA20 est fait d'aluminium soudé et possède des renforts intérieurs capables de supporter la force d'inertie du liquide en cas d'accident. Ce réservoir est monté dans le fuselage, loin des surfaces externes du fuselage, ce qui lui permet de résister à d'éventuelles perforations. Toujours dans le but de réduire les blessures dues à l'impact, la société Cessna Aircraft installe également des sièges capables d'absorber une énergie de 26 g et pose un meilleur capitonnage dans la cabine de sa nouvelle gamme de monomoteurs.

À l'heure actuelle, plusieurs hélicoptéristes installent dans leurs appareils des sièges à absorption d'énergie. Tout moyen technique entraînant une réduction des blessures des occupants et permettant à ceux-ci de ne pas perdre leur mobilité en cas d'accident va se traduire par une diminution des risques de blessures mortelles et de blessures graves liées à l'incendie.

4.8 *Améliorations apportées par l'industrie automobile en vue de réduire les incendies après impact*

Jennings et Mohler (1988), entre autres, ont décrit combien des avancées technologiques majeures dans le domaine de la protection des occupants avaient fait leurs preuves en course automobile sur l'Indianapolis Motor Speedway, où les vitesses atteintes sont comparables à la vitesse de croisière de nombreux aéronefs de l'aviation générale. En 1964, les dispositifs de retenue et de protection des occupants avaient déjà été considérablement améliorés, mais les voitures qui prenaient feu après un impact continuaient de causer la mort de pilotes automobiles. De nouvelles règles imposées en 1965 sont venues limiter le volume de carburant que les voitures pouvaient emporter et spécifiaient où ce carburant devait être logé. L'utilisation du méthanol est devenu obligatoire, tout comme la présence de membranes souples à l'intérieur des réservoirs de carburant soudés. Ces améliorations ont fait leurs preuves dès l'année suivante quand 17 voitures se sont embouties au départ de la course Indy 500; le carambolage n'a fait ni blessé ni incendie important (Jennings et Mohler, 1988).

Le Canada et les États-Unis ont adopté des normes de sécurité sévères concernant la conception et les composants des véhicules routiers à moteur, d'où le fait que les normes de résistance à l'écrasement de ces véhicules ont, historiquement parlant, toujours dépassé celles des petits aéronefs, notamment en ce qui concerne le contrôle des sources d'incendie, l'intégrité du circuit carburant et la protection des occupants en cas d'accident.

La *Federal Motor Vehicle Safety Standard (FMVSS) 301 (Fuel System Integrity)* (norme fédérale sur la sécurité des véhicules à moteur (FMVSS) 301 (intégrité du circuit carburant)) a pour principal objectif de réduire le nombre des blessures et des décès liés aux incendies dans les accidents de véhicule à moteur. D'après Parsons (1990), bien que la FMVSS 301 ait effectivement permis de réduire la fréquence des incendies dans les accidents de véhicule automobile, il n'empêche que le nombre de décès dus à ces accidents n'a pas diminué, car les forces présentes dans de nombreux accidents avec incendie dépassaient celles prévues dans la norme, en vertu de laquelle il devait y avoir confinement du carburant jusqu'à une force d'impact de 48 km/h.

L'effet de cette norme sur les brûlures était quant à lui incertain. Dans le cas des véhicules utilitaires légers, aucune réduction du nombre des incendies n'a été constatée. De plus, le rapport indiquait qu'il n'avait pas été possible de faire la distinction, dans les dossiers d'accident, entre la façon dont l'incendie et les forces d'impact avaient contribué à la mort et aux blessures.

En ce qui concerne la FMVSS 301, des exigences nettement améliorées portant sur des essais d'impact arrière sont en train d'être mises en oeuvre (en date de mars 2006) dans l'espoir de réduire davantage la fréquence des incendies après impact, d'épargner plus de vies et de limiter encore plus les blessures liées aux accidents automobiles. En vertu de la nouvelle règle, le confinement du carburant des véhicules devra être assuré jusqu'à un impact latéral arrière de 80 km/h.

Des dispositifs de coupure, comme des capteurs d'impact réinitialisables à bille et à aimant, des interrupteurs pendulaires à inertie ou des coupes-batteries réinitialisables, sont utilisés sur les nouveaux véhicules automobiles afin de désactiver les composants électriques comme les pompes carburant et les batteries, et ils ont montré qu'ils étaient très fiables en cas d'accident. La technique est au point et ne semble pas connaître de problèmes de fiabilité comme de fausses coupures, et peu de véhicules équipés de la sorte ont fait l'objet de rappel. Des dispositifs similaires pourraient être adaptés aux petits aéronefs, sans diminuer l'aptitude au vol de l'aéronef (après acceptation dans le respect des processus imposés en approbation de la conception), ce qui permettrait d'éliminer les sources potentielles d'incendie d'origine électrique dans les accidents offrant des chances de survie. Des techniques automobiles ont déjà été transférées à l'industrie aéronautique dans le passé; à titre d'exemple très récent, on peut citer l'approbation par la FAA du dispositif appelé *AmSafe Aviation Inflatable Restraint* (AAIR) qui est un dispositif de retenue par coussins gonflables à usage aéronautique mis au point par la société AmSafe et qui se base sur une technique d'origine automobile bien au point transposée aux aéronefs régis par la FAR 23.

5.0 *Analyse des avantages par rapport aux coûts*

Pour la présente enquête, on a fait appel à du personnel contractuel qui a été chargé d'examiner le processus existant des analyses économiques dans le domaine de l'aviation, y compris l'analyse des avantages par rapport aux coûts, et d'évaluer les effets de ce processus sur la prise de décisions dans l'application des options de contrôle des risques disponibles pour atténuer les risques d'incendie après impact (document 1).

L'analyse des avantages par rapport aux coûts cherche à attribuer une valeur monétaire à la totalité des avantages et des coûts différentiels d'une modification réglementaire (Lindsey et West, 2003). L'analyse économique de la réglementation et le recours à une analyse des avantages par rapport aux coûts sont obligatoires aux États-Unis en vertu du décret-loi 12866 (*Federal Register*, 1993; Lindsey et West, 2003). Les lignes directrices relatives à l'analyse des avantages par rapport aux coûts qui figurent dans le décret-loi 12866 sont complètes, mais elles ne sont pas strictes, ce qui oblige les analystes à faire preuve de leur jugement professionnel pour les mettre en oeuvre (Lindsey et West, 2003). Depuis 1986, le Conseil du Trésor du Canada précise lui aussi qu'il faut procéder à une analyse des avantages par rapport aux coûts, encore que, jusqu'à tout récemment, les autorités régulatrices des risques aient peu souvent effectué une telle analyse (Lindsey et West, 2003).

Le principal avantage attendu d'une réglementation plus ferme concernant les mesures de contrôle des risques des incendies après impact tient à une réduction du nombre de décès liés à l'incendie ou à l'inhalation de fumée (Lindsey et West, 2003). La valeur estimative d'une vie statistique est généralement reconnue comme un moyen approprié de mesurer ce que vaut une vie humaine du point de vue monétaire. Le rapport sur l'analyse des avantages par rapport aux coûts concluait que les actuelles lignes directrices des États-Unis portant sur l'analyse économique étaient dignes de mention, leur seul défaut apparent tenant au fait que la valeur estimative d'une vie statistique fixée à 3 millions de dollars qu'utilisent le département des Transports des États-Unis et la FAA est trop faible d'un facteur de deux, compte tenu des études empiriques récentes (Lindsey et West, 2003).

Les avantages attendus des mesures de contrôle des risques des incendies après impact sont directement proportionnels à la valeur estimative d'une vie statistique et au taux d'efficacité. La base de données canadiennes sur les incendies après impact qui a été constituée durant ce projet a permis de calculer les avantages attendus en termes de vies épargnées grâce à la prévention des incendies après impact. En utilisant ces statistiques, Lindsey et West (2003) ont indiqué que, pour un taux d'efficacité hypothétique de 100 % et pour les valeurs plausibles attribuées aux autres paramètres, les avantages attendus actuellement sous-estimés sont, sur la durée de vie utile d'un aéronef, de plusieurs milliers de dollars.

Dans les observations envoyées à la FAA en réponse au NPRM 85-7A, le NTSB a indiqué que quelque 14 % des occupants qui avaient trouvé la mort dans des accidents avec incendie auraient pu avoir la vie sauve s'il n'y avait pas eu d'incendie. Cela revient à dire que, si les accidents offrant des chances de survie n'étaient pas suivis d'un incendie, il y aurait une diminution annuelle d'environ 4 % des décès liés aux accidents d'avion de l'aviation générale. Le NTSB a également mentionné que quelque 26 % des occupants grièvement blessés dans des accidents avec incendie auraient pu subir des blessures moins graves s'il n'y avait pas eu d'incendie, ce qui correspond à une diminution annuelle d'environ 6 % du nombre de blessures graves.

La présente enquête a permis d'établir que l'incendie a contribué à 28 % des décès, pour l'ensemble des accidents de petit aéronef avec incendie. Autrement dit, il pourrait y avoir une diminution des décès annuels pouvant atteindre les 6 % si on pouvait éliminer les incendies qui éclatent après un accident offrant des chances de survie. L'enquête a également révélé qu'environ 35 % des occupants grièvement blessés dans des accidents avec incendie auraient pu subir des blessures moins graves s'il n'y avait pas eu d'incendie. Il est donc permis de penser que les incendies après impact ont contribué aux blessures mortelles et aux blessures graves liées à l'incendie dans une proportion plus grande que celle indiquée précédemment et que les mesures prises pour réduire les risques inhérents aux incendies après impact pourraient avoir des avantages encore plus grands au Canada, et peut-être même ailleurs, que ceux admis auparavant (Lindsey et West, 2003).

6.0 *Conditions dangereuses associées aux incendies après impact*

6.1 *Généralités*

Grâce à l'étude complète des faits entourant les 128 cas identifiés comme des accidents offrant des chances de survie, l'enquête a documenté les conditions dangereuses¹⁴ courantes qui ont contribué à l'incendie après impact ainsi que les blessures graves et les blessures mortelles liées à l'incendie. Plusieurs des conditions dangereuses courantes identifiées de façon récurrente dans l'analyse de ces accidents étaient liées à des lacunes au niveau de la conception du circuit carburant, lacunes qui ont déjà été traitées dans le NPRM 85-7A.

Dans chacun des 128 cas, on a relevé la présence de quatre conditions dangereuses. L'élimination d'une de ces conditions dangereuses aurait pu diminuer ou permettre de prévenir les blessures graves ou les blessures mortelles liées à l'incendie. Ces conditions dangereuses sont les suivantes :

- la présence d'une source d'incendie à proximité immédiate d'un matériau combustible;
- la présence d'un matériau combustible, comme le carburant, à proximité immédiate d'un occupant;
- l'évacuation des occupants a été compromise;
- l'extinction de l'incendie a été insuffisante ou tardive.

Les risques associés à ces conditions dangereuses ont été examinés, les moyens de défense contre ces conditions ont été étudiés, et des lacunes de sécurité liées à ces conditions dangereuses ont été cernées.

6.2 *Présence d'une source d'incendie à proximité immédiate d'un matériau combustible*

Les sources probables d'incendie consignées dans les dossiers d'accident examinés sont les articles portés à haute température (87 cas), les éléments électriques (66 cas) et le frottement (27 cas)¹⁵.

¹⁴ Une condition dangereuse s'entend d'une situation ou d'une condition qui pourrait déclencher, exacerber ou faciliter d'une façon ou d'une autre un événement non souhaitable.

¹⁵ Les documents permettaient de choisir un maximum de trois sources potentielles d'incendie dans chaque cas.

Les sources d'incendie courantes dues à des articles portés à haute température sont les conduites d'échappement chaudes, les gaz et les flammes sortant de l'échappement du moteur ainsi que les pièces de moteur chaudes. Les accidents où une conduite d'échappement chaude est la source d'incendie probable ont causé 91 décès liés à l'incendie; 32 des décès ont été attribués aux flammes et aux gaz d'échappement chauds et 9 à des pièces de moteur chaudes. Les principaux moyens de défense pour empêcher que des articles portés à haute température ne deviennent une source d'incendie en cas d'accident consistent à protéger les pièces chaudes du moteur contre les liquides inflammables et à prévenir les déversements de carburant dans le moteur. À l'heure actuelle, aucune exigence de conception n'est prévue pour réduire le risque que des articles portés à haute température ne deviennent une source d'incendie en cas d'accident de petit aéronef suivi d'un incendie et aucune exigence de conception n'est prévue pour se protéger contre ce risque.

Les arcs électriques, les fils électriques et les batteries sont également des sources d'incendie d'origine électrique courantes. Les accidents où des arcs électriques sont une source probable d'incendie ont causé 104 décès liés à l'incendie. Les arcs électriques ont été identifiés comme une source d'incendie courante dans d'autres rapports et documents intéressant l'aviation, y compris dans le rapport du NTSB intitulé *General Aviation Accidents: Postcrash Fires and How to Prevent or Control Them* (NTSB-AAS-80-2) (accidents de l'aviation générale : comment prévenir ou contrôler les incendies après impact). Il n'y a aucune exigence réglementaire traitant spécifiquement de la présence de sources potentielles d'incendie d'origine électrique à proximité de matériaux combustibles ou du contrôle ou de la suppression des sources d'incendie d'origine électrique dans les accidents de petit aéronef.

Des étincelles dues au frottement se produisent lorsque des métaux ferreux, comme ceux utilisés dans les composants du train d'atterrissage, dans les conduites ou les tuyaux d'échappement ou encore dans les bâtis-moteur, entrent en contact avec une surface dure, comme des roches, du béton ou de l'asphalte. Les accidents où le frottement est la source d'incendie probable ont causé 58 décès liés à l'incendie. Le principal moyen de défense contre la chaleur et les étincelles générées par le frottement consiste à isoler les métaux ferreux producteurs d'étincelles avec des matériaux non ferreux ou à protéger d'une autre façon les composants pour les empêcher d'entrer en contact direct avec une surface dure lors d'un accident. Aucune exigence de conception n'est prévue pour réduire le risque que le frottement devienne une source d'incendie lors d'un accident de petit aéronef avec incendie ni pour se protéger contre ce risque.

6.3 *Présence d'un matériau combustible à proximité immédiate d'un occupant*

Le carburant non confiné est le matériau combustible qui joue le rôle le plus significatif dans les accidents de petit aéronef. Le fait qu'il n'éclate pas d'incendie après un accident de planeur (puisque ces aéronefs ne transportent pas de carburant) nous permet de dire que la relation entre le carburant et les incendies après impact est évidente.

L'enquête a révélé que 91 des accidents du sous-ensemble de 128 accidents faisaient état d'un incendie après impact associé à la rupture d'un réservoir de carburant; 71 des 91 accidents étaient liés à la rupture d'une conduite de carburant. Le carburant provenant de décanteurs, de carburateurs et de filtres a pris feu dans, respectivement, 11, 9 et 6 accidents. L'huile du moteur ou le liquide hydraulique a pris feu dans 60 accidents, tandis que le capitonnage, le revêtement de l'aile ou du fuselage, des matériaux au sol ou le fret ont servi de combustible dans 95 accidents. Il est probable que la plupart des matériaux combustibles autres que le carburant qui ont été consommés se sont enflammés à la suite d'un incendie alimenté par le carburant et qu'ils n'ont pas pris feu au contact d'une autre source d'incendie.

La meilleure façon de prévenir un incendie après impact consiste à préserver l'intégrité du circuit carburant en cas d'accident. Dans un petit aéronef typique, les composants critiques du circuit carburant sont situés à des endroits vulnérables aux dommages à l'impact. Les conduites de carburant passent fréquemment sous le plancher ou dans les parois latérales du fuselage, à proximité immédiate des occupants et, lors d'un accident, elles ont tendance à se rompre aux principaux points de jonction avec la cellule, comme la jonction aile-fuselage ou la jonction fuselage-moteur. Les décanteurs de carburant sont installés à des endroits vulnérables aux dommages, comme la cloison pare-feu inférieure avant, et la structure principale ne protège pas les réservoirs de carburant contre les chocs lors d'un accident. De nombreux aéronefs sont munis de réservoirs de carburant structuraux, ce qui signifie que le revêtement de l'aile a été étanchéisé entre les longerons et les nervures pour former un réservoir intégral. Les compartiments des réservoirs structuraux ne sont pas renforcés pour supporter les charges en torsion et les importantes forces d'inertie du carburant qui se produisent lors d'un accident, pas plus qu'ils ne sont munis d'une garniture à haute résistance au déchirement ou à l'épreuve des perforations, ce qui signifie qu'ils sont particulièrement vulnérables aux importantes fuites de carburant à la suite d'un impact.

On peut améliorer la résistance à l'écrasement des circuits carburant grâce à divers moyens de défense physiques, notamment en utilisant des raccords détachables auto-obturants et des réservoirs souples résistant à l'impact, et en positionnant les réservoirs souples à des endroits non exposés aux dommages à l'impact et situés loin des parties où se trouvent les occupants de l'aéronef. Bien que les conditions dangereuses liées à la perte d'intégrité du circuit carburant lors d'un accident soient bien connues, aucune exigence ne traite, autrement que dans l'éventualité d'un atterrissage train rentré, de la question de l'intégrité du circuit carburant et du confinement du carburant en cas d'accident, ni de la proximité d'un matériau combustible, comme le carburant, par rapport à un occupant.

6.4 *Évacuation des occupants compromise*

L'évacuation des occupants était le plus souvent compromise par la chaleur, les gaz toxiques, les blessures et les obstacles. D'autres facteurs ayant contribué aux difficultés d'évacuation sont liés au fait que l'équipage de conduite, d'autres passagers ou le personnel au sol n'étaient pas disponibles ou n'ont pas pu venir en aide aux occupants à cause de l'incendie ou de blessures.

Parmi les conditions dangereuses ayant compromis l'évacuation des occupants, celle qui prévalait était liée aux effets physiques directs de la chaleur et des gaz toxiques. À un degré moindre se trouvaient les facteurs liés aux obstacles et aux blessures résultant de l'accident. Dans de nombreux cas, le pilote était seul à bord. Les cloisons pare-feu se sont souvent révélées incapables d'empêcher l'incendie de gagner la cabine, des vêtements ont souvent pris feu et les issues ont été fréquemment bloquées par l'incendie.

Les effets physiques directs de la chaleur ont compromis l'évacuation des occupants dans au moins 113 accidents et les gaz toxiques ont gêné l'évacuation des occupants dans au moins 47 accidents. Des vêtements en feu ont compromis l'évacuation des occupants dans au moins 44 accidents. Les accidents où l'évacuation des occupants a été gênée par la chaleur et les gaz toxiques ont causé 175 décès liés aux effets physiques directs de la chaleur, 113 décès liés aux gaz toxiques, 27 décès liés à des vêtements en feu et 7 décès liés à des cloisons pare-feu qui n'ont pas rempli leur rôle.

L'évacuation des occupants a été gênée par une structure d'aéronef déformée dans au moins 17 accidents, par des dispositifs de retenue dans au moins 12 accidents, par des issues endommagées dans au moins 9 accidents, par des occupants coincés dans l'aéronef dans au moins 9 accidents et par des issues difficiles à localiser ou à emprunter dans au moins 6 accidents. Les issues ont été bloquées par l'incendie dans au moins 6 accidents.

Les accidents où l'évacuation des occupants a été gênée par des obstacles ont causé 32 décès liés à la déformation de la structure de l'aéronef, 12 décès liés à un problème avec les dispositifs de retenue, 13 décès liés à des issues endommagées difficiles à ouvrir, 12 décès liés au fait qu'un occupant était coincé dans l'aéronef, 15 décès liés à des issues difficiles à localiser ou à emprunter, et 13 décès liés à des issues bloquées par l'incendie.

Dans de nombreux accidents, les blessures subies à l'impact ont gêné l'évacuation des occupants, causant des blessures graves et des blessures mortelles liées à l'incendie. Souvent, les moyens de protection contre les blessures à l'impact étaient inexistantes, ou ils n'ont pas été utilisés ou ils se sont avérés inefficaces.

Dans au moins 15 accidents, l'absence de ceintures-baudriers a contribué à des blessures qui ont gêné l'évacuation des occupants. Dans au moins 15 accidents, le non-port du casque de sécurité¹⁶ a également causé des blessures qui ont gêné l'évacuation des occupants. On a dénombré 27 décès liés à des accidents où l'absence de ceinture-baudrier a contribué à des blessures qui ont gêné l'évacuation des occupants. On a également dénombré 14 décès liés au non-port du casque.

On a également examiné 17 autres types de conditions dangereuses ayant gêné l'évacuation des occupants dans 40 accidents. Le type de condition dangereuse et le nombre d'accidents où cette condition s'applique sont les suivants : blessures dues à la non-utilisation des dispositifs de retenue (5), blessures dues aux sièges qui se détachent (5), obstacle dû à des issues bloquées (5), obstacle dû à du fret (4), blessures dues aux facteurs de charge (3), manque de force pour ouvrir les issues (3), blessures dues à des projectiles (2), blessures dues à un casque qui n'a pas tenu le choc (2), nombre insuffisant d'issues (2), mauvaise conception des issues (2), blessures par broyage (1), blessures dues à l'absence de dispositif de retenue (1), blessures dues à la défaillance du dispositif de retenue (1), issues difficiles à atteindre (1), orientation par rapport aux issues (1), marquage des issues (1), problème de mobilité préexistant (1).

Les facteurs concernant l'aide aux occupants pour l'évacuation ont été examinés. Dans de nombreux cas, les passagers et l'équipage n'ont pas pu venir en aide aux occupants à cause de l'incendie. Les occupants n'ont pas reçu d'aide du personnel au sol pour l'évacuation, car, dans de nombreux cas, le personnel au sol ne se trouvait pas à proximité pour aider les occupants, qu'il s'agisse de personnes qui passaient dans les environs, de membres du personnel de lutte contre les incendies d'aéronefs ou d'autres membres du personnel d'intervention d'urgence.

Le moyen de défense le plus efficace contre les difficultés d'évacuation des occupants en cas d'incendie après impact consiste justement à prévenir ce type d'incendie. Les moyens de défense secondaires sont la diminution ou la prévention des blessures à l'impact grâce à la conception des aéronefs, de manière à maintenir la mobilité des occupants, et la mise à disposition d'issues fonctionnelles et accessibles permettant aux occupants d'évacuer sans aide. Pour ce qui est de la conception des aéronefs, les concepts qui vont permettre de réduire la fréquence des décès et des blessures en cas d'incendie après impact sont les concepts qui permettent de minimiser la déformation structurale à l'impact dans les zones occupées et ainsi éviter que des occupants restent coincés, qui offrent de bons dispositifs de retenue, qui réduisent les forces de décélération ressenties par les occupants, qui offrent des moyens d'évacuation rapide et qui maximisent la distance entre les occupants et le carburant.

¹⁶ Le port du casque n'est pas obligatoire et est associé à certaines opérations aériennes, notamment la lutte contre l'incendie et l'épandage aérien.

6.5 *Extinction de l'incendie insuffisante ou tardive*

La plupart des accidents du sous-ensemble de 128 accidents sont survenus à l'extérieur d'un aéroport ou dans un endroit empêchant une intervention rapide des services de sauvetage et de lutte contre les incendies d'aéronefs (SLIA) ou des services d'intervention d'urgence (SIU) des environs. Les services SLIA (camions de pompiers de l'aéroport) sont intervenus dans 7 accidents. Les services SIU (camions de pompiers de l'endroit) sont intervenus de façon indépendante dans 27 accidents, et les services SLIA et les services SIU sont intervenus dans 4 accidents.

Dans 88 cas sur 128, le délai d'intervention des services SLIA et des services SIU est inconnu. Dans 2 cas, les services SLIA sont intervenus en 3 minutes ou moins. Dans les 38 cas restants, le délai d'intervention des services SLIA et des services SIU allait de plus de 3 minutes à 3 jours. Dans 39 cas sur 128, des passants sont intervenus en 3 minutes ou moins. Le délai d'intervention des passants est inconnu dans 50 cas et, dans les 39 cas restants, le délai d'intervention des passants allait de 4 minutes à 9 jours.

Dans 47 cas sur 128, la distance par rapport au matériel de lutte contre l'incendie disponible n'a pas été consignée. Pour les 81 accidents restants, cette distance allait de très proche sur l'aérodrome à 122 km du lieu de l'accident.

De nombreux accidents du sous-ensemble de 128 accidents sont survenus à l'extérieur d'un aéroport, à un endroit où les services de lutte contre l'incendie ne pouvaient intervenir immédiatement. Dans 47 cas sur 128, l'accident s'est produit à une distance inconnue du matériel de lutte contre l'incendie disponible, et 48 des accidents sont survenus à des distances supérieures à 5 km du matériel de lutte contre l'incendie. Six accidents ont eu lieu sur des aérodromes certifiés et, dans seulement 2 de ces cas, du matériel de lutte contre l'incendie était disponible sur l'aérodrome.

Dans les quelques cas où les services SLIA et les services SIU sont intervenus à temps, le temps nécessaire pour éteindre l'incendie a dépassé le temps d'évacuation ou de survie disponible et, dans le sous-ensemble de 128 accidents, on n'a trouvé aucun cas où l'intervention des services SLIA ou des services SIU a permis de réduire le nombre de blessures ou de décès liés à l'incendie. Ce constat révèle qu'il vaut mieux prévenir les incendies après impact en cas d'accident offrant des chances de survie plutôt que de se fier aux services SLIA ou aux services SIU pour réduire la fréquence des blessures et des décès liés à l'incendie.

7.0 *Mise à jour sur les incendies après impact : 1^{er} janvier 2003 au 31 décembre 2004*

L'étude sur les incendies après impact se fonde sur les données recueillies pour les accidents avec incendie survenus au Canada entre le 1^{er} janvier 1976 et le 31 décembre 2002. La base de données du SISA contient des dossiers sur 40 autres accidents avec incendie survenus entre le 1^{er} janvier 2003 et le 31 décembre 2004. Sur les 40 accidents enregistrés, on dénombre 21 accidents survenus à des aéronefs immatriculés au Canada, dont 2 aéronefs avec une masse supérieure à 5700 kg et 19 accidents survenus à l'étranger à des aéronefs immatriculés au Canada ou à des aéronefs immatriculés à l'étranger pour lesquels on a eu recours aux services d'enquêteurs canadiens pour l'enquête. Trois des aéronefs avaient une masse supérieure à 5700 kg.

Vingt accidents concernent des aéronefs immatriculés au Canada ou immatriculés à l'étranger et ayant une masse inférieure à 5700 kg qui se sont écrasés au Canada. Ces accidents ont fait 18 morts et 6 blessés graves. Sur les 20 accidents enregistrés, 7 ont fait l'objet d'une enquête de catégorie 3; les 13 autres ont été classés en catégorie 5 et n'ont pas fait l'objet d'une enquête complète. Pour de tels événements, les données portant spécifiquement sur les décès et les blessures graves liés à l'incendie ne sont pas consignées de façon systématique dans la base de données du SISA. En conséquence, il n'a pas été possible d'étudier dans quelle mesure les incendies après impact ont contribué aux blessures mortelles et aux blessures graves résultant de ces récents accidents suivis d'un incendie.

La Direction des enquêtes (Air) du BST étudie des moyens d'améliorer la quantité et la qualité des données d'accident complémentaires qui sont consignées dans la base de données du SISA.

8.0 Discussion

Le problème des incendies après impact ne touche pas un modèle précis d'aéronef à moteur. En proportion, un plus grand nombre de personnes subissent des blessures graves ou mortelles dans les accidents avec incendie que dans les accidents sans incendie. Entre 1976 et 2002, on a enregistré 521 accidents avec incendie au Canada à de petits aéronefs immatriculés au Canada ou à de petits aéronefs immatriculés à l'étranger. Cela représente un large échantillon des accidents de petit aéronef avec incendie. Ces accidents représentent environ 4 % de l'ensemble des accidents de petit aéronef figurant dans la base de données du Système d'information sur la sécurité aérienne (SISA) pour cette période, et ils comptent pour environ 22 % de l'ensemble des décès et 10 % de l'ensemble des blessures graves.

L'enquête a permis d'établir que dans 128 cas l'accident offrait des chances de survie, car la violence du choc ne dépassait pas les limites de la résistance humaine, la structure de l'aéronef avait préservé l'espace de survie nécessaire aux occupants et les dispositifs de retenue des occupants ont rempli leur rôle. Lors de ces accidents, un certain nombre et dans certains cas tous les occupants ont survécu à l'impact mais se sont trouvés à proximité immédiate de l'incendie ou de la fumée pendant un certain temps après l'accident et ont subi des blessures graves ou des blessures mortelles liées à l'incendie. Ces 128 accidents ont causé au moins 80 blessures graves (environ 4 % de l'ensemble des blessures graves liées à l'incendie) et 205 blessures mortelles (environ 6 % de l'ensemble des blessures mortelles liées à l'incendie). On estime que ces statistiques sont des données prudentes car les données disponibles ne sont pas complètes; de ce fait, les véritables conséquences des incendies après impact sont probablement sous-représentées.

Les quatre conditions dangereuses énoncées précédemment devaient être réunies pour causer des blessures et des décès liés à l'incendie, c'est-à-dire qu'une source d'incendie se trouvait à proximité d'un matériau combustible comme le carburant, le matériau combustible se trouvait à proximité immédiate des occupants, l'évacuation des occupants a été compromise et l'incendie n'a pas été éteint suffisamment tôt pour prévenir les blessures et les décès liés à l'incendie. Dans de nombreux cas, les moyens de défense prévus pour atténuer les dangers associés à ces conditions dangereuses n'existaient pas ou étaient insuffisants et auraient pu être améliorés.

Les efforts déployés par le National Transportation Safety Board (NTSB) et la Federal Aviation Administration (FAA) des États-Unis se sont traduits en 1994 par l'introduction de normes de certification complètes portant sur la résistance à l'écrasement du circuit carburant pour les hélicoptères de la catégorie normale (FAR 27) et de la catégorie transport (FAR 29), le but étant de minimiser le danger d'incendie de carburant auquel pourraient être exposés les occupants à la suite d'un accident offrant des chances de survie. Ces normes ont montré leur efficacité en faisant diminuer le risque et la fréquence des incendies après impact. Un avis de projet de réglementation (*Notice of Proposed Rule Making* ou NPRM) qui devait introduire des normes de certification similaires pour les avions de production régis par la FAR 23 a été retiré après une

révision de l'évaluation économique de ce NPRM, révision qui concluait que les éventuels avantages ne justifiaient pas les coûts de la modification proposée. Il se peut toutefois que l'évaluation économique révisée ait utilisé des données sur les blessures liées à l'incendie qui aient été sous-estimées ou une valeur peu élevée pour la valeur estimative d'une vie statistique. Il n'existe aucune norme de conception applicable aux aéronefs de construction amateur ou aux ultra-légers visant à réduire les risques inhérents aux incendies après impact et, dans le passé, les organismes de réglementation n'ont déployé aucun effort pour traiter les problèmes de conception liés aux incendies après impact touchant ces types d'aéronef.

L'analyse des données recueillies dans le cadre de la présente enquête montre qu'il y a en permanence un important risque d'incendie après impact ainsi qu'un risque important de blessures et de mort liées à l'incendie dans les accidents de petit aéronef, et que les moyens de défense visant à prévenir les incendies après impact et réduire les blessures liées à ces incendies peuvent être grandement améliorés. En général, les petits aéronefs ne sont pas conçus pour limiter les sources d'incendie induites par les dommages ni pour offrir une protection suffisante contre les déversements de carburant en cas d'accident. Les facteurs qui augmentent les risques tiennent à la forte volatilité des carburants aviation, à la proximité immédiate du carburant par rapport aux occupants, au peu de temps disponible pour évacuer l'appareil, aux caractéristiques limitées d'absorption d'énergie de la cellule des petits aéronefs pendant un accident, à la forte propension aux blessures incapacitantes et à l'incapacité des services SLIA et des services SIU d'éteindre les incendies après impact à temps pour prévenir les décès et les blessures liés à l'incendie. Les techniques et les études de conception censées réduire la fréquence des incendies après impact ont démontré leur efficacité dans le domaine des hélicoptères et des véhicules automobiles. Le recours à des mesures de prévention similaires dans la conception des avions de production, des hélicoptères de production, des aéronefs de construction amateur ainsi que des ultra-légers de base et de type évolué pourrait réduire la fréquence des blessures mortelles et des blessures graves résultant d'accidents offrant des chances de survie et permettre d'augmenter le taux de survie des occupants.

De nombreux renseignements techniques qui existent déjà, comme ceux contenus dans le *Small Airplane Crashworthiness Design Guide* de Simula Technologies, documentent la façon de réduire les risques inhérents aux incendies après impact. Des mesures volontaires prises par certains fabricants vont réduire la fréquence des incendies après impact ainsi que l'importance des blessures résultant de ces incendies. Toutefois, il faudra que les organismes de réglementation prennent des mesures visant à assurer que la conception de tous les nouveaux aéronefs permettra également une réduction des incendies après impact. Compte tenu du nombre élevé de petits aéronefs qui sont déjà en service et de la faible cadence de fabrication des nouveaux petits aéronefs, il est peu probable que l'on puisse obtenir une baisse significative des taux d'incendie après impact sans exiger le montage en rattrapage de certains moyens techniques permettant d'augmenter la résistance à l'écrasement des aéronefs déjà en service.

Un incendie qui éclate après un accident offrant des chances de survie expose les occupants des petits aéronefs à d'importants risques indus de mort et de blessures liées à l'incendie. Les dangers inhérents aux incendies après impact sont bien connus et bien spécifiques et il existe des lignes directrices détaillées en matière de conception visant à réduire la fréquence des incendies après impact, mais les moyens de défense permettant de limiter ces dangers dans la plupart des petits aéronefs ne sont pas suffisants en regard des risques associés aux conditions dangereuses. Des normes de certification en matière de résistance à l'écrasement pour les hélicoptères de production de la catégorie normale et de la catégorie transport ont été rendues obligatoires en vue de minimiser le danger d'incendie de carburant auquel pourraient être exposés les occupants après un accident offrant des chances de survie, mais aucune mesure concrète n'a été prise pour imposer des améliorations équivalentes dans les avions de production neufs ou existants, les hélicoptères, les aéronefs de construction amateur et les ultra-légers existants. Par conséquent, les occupants des petits aéronefs continuent d'être exposés à des risques de mort et de blessures graves liées aux incendies après impact. Les données antérieures sur les incendies résultant d'un accident de petit aéronef montrent qu'il est fort probable que des événements similaires vont continuer à se produire si aucune modification n'est apportée aux normes de conception actuelles.

9.0 *Mesures de sécurité*

9.1 *Recommandations*

Dans les 521 accidents avec incendie dénombrés dans la base de données du Système d'information sur la sécurité aérienne (SISA), l'incendie ou l'inhalation de fumée a été identifiée comme la cause unique ou en partie de la mort dans 205 cas de blessures mortelles sur 728 (près de 30 %), et comme la cause unique ou en partie des blessures graves dans 80 cas de blessures graves sur 231 (près de 35 %). Ces chiffres viennent étayer la préoccupation voulant qu'il existe un important risque d'incendie après impact ainsi qu'un risque élevé de mort et de blessures liées à l'incendie lors d'un accident de petit aéronef, et voulant que les organismes de réglementation devraient reconsidérer les moyens de réduire les risques et les conséquences des incendies qui éclatent après un accident offrant des chances de survie. Les principes de conception permettant d'obtenir un circuit carburant résistant à l'écrasement sont bien connus, mais il n'existe aucune norme de navigabilité exigeant la présence de mesures de prévention améliorées à bord des petits aéronefs dans le but de réduire la fréquence des incendies après impact dans des circonstances autres qu'un atterrissage train rentré.

Les incendies après impact ainsi que le nombre de décès et de blessures liés à l'incendie peuvent être atténués en modifiant la conception des aéronefs en cas d'accident, de manière à prévenir une inflammation induite par les dommages, à préserver l'intégrité du circuit carburant et à réduire les blessures liées à l'impact. Ces principes de conception, qui ont prouvé qu'ils pouvaient réduire les risques d'incendie et épargner des vies dans les accidents d'hélicoptère et de véhicules automobiles, pourraient être appliqués de manière tout aussi efficace aux petits aéronefs possédant un certificat de type et aux hélicoptères certifiés avant novembre 1994.

Les milieux de la construction amateur et des ultra-légers pourraient tirer avantage de la diffusion d'information de sécurité sur les risques d'incendie après impact et les moyens de défense en la matière.

Compte tenu de la propension qu'ont les incendies après impact alimentés par du carburant à se propager rapidement et des conséquences catastrophiques qui peuvent suivre, le meilleur moyen de défense contre les incendies après impact consiste encore à éviter qu'un incendie se déclenche à l'impact, soit en éliminant les sources d'incendie, soit en confinant suffisamment le carburant pour empêcher qu'il n'entre en contact avec des sources d'incendie, ou les deux.

Les recommandations qui suivent visent à corriger les lacunes de sécurité liées aux conditions dangereuses courantes qui contribuent à l'apparition des incendies après impact ainsi qu'aux décès et blessures liés aux incendies que la présente enquête a permis d'identifier. En règle générale, ces recommandations s'appliquent aux petits avions de production et, le cas échéant, aux petits hélicoptères certifiés avant novembre 1994. Il se pourrait que Transports Canada et la Federal Aviation Administration (FAA) souhaitent faire connaître les préoccupations et les

recommandations relatives aux incendies après impact à l'Agence européenne de la sécurité aérienne (AESA) et à d'autres autorités de navigabilité d'États étrangers où sont construits des aéronefs.

9.1.1 *Recommandation visant la valeur estimative d'une vie statistique*

Le rapport soumis au BST portant sur le processus d'analyse économique dans les options de contrôle des risques servant à atténuer les risques d'incendie après impact identifiés dans les lignes directrices des États-Unis en matière d'analyse économique et d'analyse des avantages par rapport aux coûts est digne de mention, mais il n'empêche que la valeur estimative d'une vie statistique de 3 millions de dollars qu'utilisent actuellement le département des Transports des États-Unis et la FAA est faible par rapport aux récentes estimations empiriques. L'analyse originale des avantages par rapport aux coûts de l'avis de projet de réglementation (*Notice of Proposed Rule Making* ou NPRM) 85-7A fixait la valeur estimative d'une vie statistique à 1 million de dollars. Compte tenu du développement de nombreuses avancées technologiques rentables visant à éliminer les incendies après impact et compte tenu du fait que les avantages sont directement proportionnels à la valeur choisie comme valeur estimative d'une vie statistique et au taux d'efficacité des mesures de contrôle des risques des incendies après impact, il se pourrait que les avantages calculés soient plus grands et que les coûts soient proportionnellement moindres si les récentes valeurs estimatives empiriques d'une vie statistique étaient appliquées à l'analyse originale des avantages par rapport aux coûts. En utilisant la base de données complète sur les incendies après impact constituée au cours de la présente enquête, il est possible de calculer les avantages attendus sous forme de vies épargnées en prévenant les incendies après impact. Si l'on utilise les statistiques canadiennes sur les incendies après impact, les avantages attendus actuellement sous-estimés sur la durée de vie utile d'un aéronef se chiffrent à plusieurs milliers de dollars américains, un résultat suffisamment important qui pourrait justifier une analyse détaillée des avantages par rapport aux coûts dans le cas de certaines techniques des diverses options de contrôle des risques inhérents aux incendies après impact (Lindsey et West, 2003). En conséquence, le Bureau recommande que :

Transports Canada, de concert avec la Federal Aviation Administration et d'autres organismes de réglementation étrangers, revise l'analyse des avantages par rapport aux coûts du *Notice of Proposed Rule Making* (NPRM) 85-7A à l'aide des statistiques canadiennes sur les incendies après impact et des chiffres canadiens actuels de la valeur estimative d'une vie statistique, en tenant compte des dernières avancées technologiques en matière de prévention des incendies après impact.

A06-08

9.1.2 *Recommandation visant les normes de conception des nouveaux avions*

La conception des aéronefs joue un rôle fondamental dans la prévention des incendies après impact dans le cas des accidents offrant des chances de survie. Il n'existe actuellement aucune norme de conception traitant spécifiquement des mesures de prévention capables de réduire la fréquence des incendies qui se déclarent après des accidents offrant des chances de survie mettant en cause des petits aéronefs de production nouvellement construits, et ce dans des circonstances autres qu'un atterrissage train rentré; par conséquent, les occupants des nouveaux modèles d'aéronef sont toujours exposés à des risques de mort et de blessures en cas d'accident suivi d'un incendie. Il existe de nombreux principes techniques et produits réputés pour éliminer les sources potentielles d'incendie et pour éviter les déversements de carburant lors d'un accident offrant des chances de survie. Le fait d'exiger de tenir compte et d'adapter des mesures de prévention dans les principes de conception des nouveaux avions pourrait réduire de façon notable les risques d'incendie et la fréquence des incendies qui se déclarent après des accidents offrant des chances de survie. En conséquence, le Bureau recommande que :

afin de réduire le nombre d'incendies qui se déclarent après des accidents offrant des chances de survie et mettant en cause de nouveaux avions de production ayant une masse inférieure à 5700 kg, Transports Canada, la Federal Aviation Administration et d'autres organismes de réglementation étrangers ajoutent dans les normes relatives à la définition de type des nouveaux avions :

- des méthodes visant à réduire le risque que des articles portés à haute température ne deviennent des sources d'incendie;
- des procédés techniques conçus pour neutraliser la batterie et le circuit électrique à l'impact pour empêcher les arcs électriques à haute température d'être une source d'incendie;
- des exigences imposant la présence de matériaux isolants protecteurs ou sacrificiels aux endroits exposés à la chaleur ou aux étincelles dues au frottement lors d'un accident pour empêcher les étincelles de frottement d'être une source d'incendie;
- des exigences en matière de résistance à l'écrasement du circuit carburant;

- des exigences voulant que les réservoirs de carburant soient situés le plus loin possible des parties occupées de l'aéronef et voulant que les conduites de carburant passent à l'extérieur des parties occupées de l'aéronef afin d'augmenter la distance entre les occupants et le carburant;
- de meilleures normes relatives aux issues, aux dispositifs de retenue et aux sièges afin d'améliorer les chances de survie et les possibilités d'évacuation des occupants.

A06-09

9.1.3 *Recommandation visant les aéronefs de production existants*

Un grand nombre de petits aéronefs sont déjà en service, et leurs moyens de défense contre les incendies après impact dans le cas des accidents offrant des chances de survie sont insuffisants et vont le demeurer jusqu'à la mise en place de mesures de prévention visant à réduire les risques. Les moyens les plus efficaces de prévention des incendies après impact dans le cas des petits aéronefs existants consistent à éliminer les sources potentielles d'incendie, comme les articles portés à haute température, les arcs électriques à haute température et les étincelles dues au frottement, et à éviter tout déversement de carburant en préservant l'intégrité du circuit carburant, après un accident offrant des chances de survie. Les moyens techniques connus pour réduire la fréquence des incendies après impact en évitant l'inflammation et en confinant le carburant en cas d'accident pourraient être montés en rattrapage de façon sélective sur les petits aéronefs existants, y compris sur les hélicoptères certifiés avant 1994. En conséquence, le Bureau recommande que :

afin de réduire le nombre d'incendies qui se déclarent après des accidents offrant des chances de survie mettant en cause de nouveaux avions de production ayant une masse inférieure à 5700 kg, Transports Canada, la Federal Aviation Administration et d'autres organismes de réglementation étrangers effectuent des évaluations des risques des éléments qui suivent afin de déterminer la faisabilité du montage en rattrapage sur les aéronefs existants :

- certains moyens techniques permettant d'éviter que des articles portés à haute température ne deviennent des sources d'incendie;
- des procédés techniques conçus pour neutraliser la batterie et le circuit électrique à l'impact pour empêcher les arcs électriques à haute température d'être une source d'incendie;

- la présence de matériaux isolants protecteurs ou sacrificiels aux endroits exposés à la chaleur ou aux étincelles dues au frottement lors d'un accident pour empêcher les étincelles de frottement d'être une source d'incendie;
- certains composants du circuit carburant résistant à l'écrasement capables de confiner le carburant.

A06-10

9.2 *Moyens techniques de résistance à l'écrasement destinés aux aéronefs de construction amateur, aux ultra-légers de base et de type évolué*

On a dénombré, dans la base de données du SISA, 30 accidents avec incendie à des aéronefs de construction amateur, 12 à des ultra-légers de base et 5 à des ultra-légers de type évolué. Ces accidents ont causé huit décès et sept blessés graves liés à l'incendie.

Il n'existe aucune exigence de conception propre aux aéronefs de construction amateur, aux ultra-légers de base ou aux ultra-légers de type évolué visant à réduire la fréquence des incendies qui se déclarent après un accident offrant des chances de survie. De plus, on ne sait pas dans quelle mesure les concepteurs d'aéronefs de construction amateur et d'ultra-légers incorporent des mesures de prévention contre les incendies après impact dans leurs produits. Par conséquent, il se pourrait que Transports Canada, la Federal Aviation Administration et d'autres organismes de réglementation étrangers souhaitent diffuser de l'information à cet égard à la communauté des aéronefs de construction amateur et des avions ultra-légers afin de réduire les risques d'incendie après impact pour ces types d'aéronef.

Le présent rapport met un terme à l'enquête du Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) sur ce sujet. Le Bureau a autorisé la publication de ce rapport le 13 juin 2006.

Annexe A – Résumé des accidents avec incendie

Accidents avec incendie survenus au Canada entre le 1 ^{er} janvier 1976 et le 31 décembre 2002 à des aéronefs immatriculés au Canada et à des aéronefs immatriculés à l'étranger ayant une masse inférieure à 5700 kg										
	Certificat de type		Construction amateur		Ultra-légers de base		Ultra-légers de type évolué		Total	
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
Accidents	474		30		12		5		521	
Aéronefs dans des incendies après impact	476		30		12		5		523	
Avions	382	80%	27	90%	12	100%	5	100%	426	81%
Hélicoptères	94	20%	2	7%	s/o	-	s/o	-	96	18%
Autogires	0	0%	1	3%	s/o	-	s/o	-	1	0%
Décès	686		22		12		8		728	
Incendie ¹	196	29%	4	18%	3	25%	2	25%	205	28%
Impact ²	374	55%	14	64%	9	75%	4	50%	401	55%
Mort naturelle ³	0	0%	1	5%	0	0%	0	0%	1	0%
Cause indéterminée	116	17%	3	14%	0	0%	2	25%	121	17%
Blessures graves	223		7		0		1		231	
Incendie ⁴	73	33%	6	86%	0	-	1	100%	80	35%
Blessures légères liées à l'incendie ⁵	4		0		0		0		4	
Accidents avec blessures mortelles ou blessures graves	351		23		8		5		387	
Aéronefs impliqués	353		23		8		5		389	
Avions	287	81%	21	91%	8	100%	5	100%	321	83%
Décès	585		20		12		8		625	
	169	29%	4	20%	3	25%	2	25%	178	28%
	328	56%	12	60%	9	75%	4	50%	353	56%
	0	0%	1	5%	0	0%	0	0%	1	0%

Accidents avec incendie survenus au Canada entre le 1 ^{er} janvier 1976 et le 31 décembre 2002 à des aéronefs immatriculés au Canada et à des aéronefs immatriculés à l'étranger ayant une masse inférieure à 5700 kg										
	Certificat de type		Construction amateur		Ultra-légers de base		Ultra-légers de type évolué		Total	
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
Cause indéterminée	88	15%	3	15%	0	0%	2	25%	93	15%
Blessures graves	175		7		0		1		183	
	55	31%	6	86%	0	-	1	100%	62	34%
	3		0		0		0		3	
Hélicoptères	66	19%	1	4%	s/o	-	s/o	-	67	17%
Décès	101		1		s/o		s/o		102	
Incendie ¹	27	27%	0	0%	s/o	-	s/o	-	27	26%
Impact ²	46	46%	1	100%	s/o	-	s/o	-	47	46%
Cause indéterminée	28	28%	0	0%	s/o	-	s/o	-	28	27%
Blessures graves	48		0						48	
	18	38%	0	-	s/o	-	s/o	-	18	38%
Blessures légères liées à l'incendie ⁵	1		0						1	
Autogires	0	0%	1	4%	s/o	-	s/o	-	1	0%
Décès	0		1		s/o		s/o		1	
Incendie ¹	0		0		s/o		s/o		0	
Impact ²	0		1		s/o		s/o		1	
Cause indéterminée	0		0		s/o		s/o		0	
Blessures graves	0		0		s/o		s/o		0	
	0		0		s/o		s/o		0	
Blessures légères liées à l'incendie ⁵	0		0		s/o		s/o		0	

1 La mort a été attribuée en tout ou en partie à l'incendie ou à l'inhalation de fumée.

2 La mort a été attribuée à la violence du choc.

3 Mort naturelle attribuée à une valvulopathie aortique antérieure à l'accident.

4 Les blessures liées à l'incendie ne sont pas nécessairement la cause des blessures graves.

5 Blessures graves accompagnées de blessures légères liées à l'incendie.

Annexe B – Références

- Bensyl, D.M., K. Moran et G.A. Conway (2001), « Factors associated with pilot fatality in work-related aircraft crashes, Alaska, 1990-1999 », *American Journal of Epidemiology*, 154(11), p. 1037-1042.
- Bureau de la sécurité des transports du Canada (1996), Direction des enquêtes (Air), *Autopsy and Post-Mortem Examination Protocol*, novembre 1996.
- Federal Aviation Administration (1990a), 14 CFR Part 23, Airworthiness Standards: Crash-Resistant Fuel Systems, proposed rule, *Federal Register*, 55(40), 28 février 1990.
- Federal Aviation Administration (1990b), 14 CFR Parts 27 and 29, Airworthiness Standards: Crash-Resistant Fuel Systems in Normal and Transport Category Rotorcraft, Notice of Proposed Rule Making, *Federal Register*, 55(194), 5 octobre 1990.
- Federal Aviation Administration (1994), 14 CFR Parts 27 and 29, Airworthiness Standards: Crash-Resistant Fuel Systems in Normal and Transport Category Rotorcraft, final rule, *Federal Register*, 59(190), 3 octobre 1994.
- Federal Aviation Administration (1999), 14 CFR Part 23, Airworthiness Standards: Crash-Resistant Fuel Systems, Notice of Proposed Rule Making, withdrawal, *Federal Register*, 64(250), 30 décembre 1999.
- Hayden, M.S., D.F. Shanahan, L.-H. Chen et S.P. Baker (2005), « Crash-resistant fuel system effectiveness in civil helicopter crashes », *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 76(8), p. 782-785.
- Hurley, T.R. et J.M. Vandenburg (2002), *Small Airplane Crashworthiness Design Guide*, Simula Technologies, Inc., 12 avril 2002.
- Jennings, R.T. et S.R. Mohler (1988), « Potential crashworthiness benefits to general aviation from Indianapolis Motor Speedway technology », *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, janvier 1988, p. 67-73.
- Li, G. et S.P. Baker (1993), « Crashes of commuter aircraft and air taxis: What determines pilot survival? », *Journal of Occupational Medicine*, 35(12), p. 1244-1249.
- Li, G., S.P. Baker et R.S. Dodd (1996), « The epidemiology of aircraft fire in commuter and air taxi crashes », *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 67(5), p. 434-437.

Li, G. et S.P. Baker (1997), « Injury patterns in aviation-related fatalities, implications for preventive strategies », *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, 18(3), p. 265-270.

Lindsey, R. et D.S. West (2003), *A Review of the Process of Economic Analysis into Risk Control Options for Mitigation of Post-Impact Fire Risks for Aircraft with a Maximum Certified Take-off Weight of 5670 Kilograms or Less*, document préparé pour le compte du Bureau de la sécurité des transports du Canada, 14 mars 2003.

Ludwig, B. Jr., R. Clarke et R. Lawton (1987), *Study of General Aviation Fire Accidents (1974-1983)*, rapport numéro DOT/FAA/CT-86/24, rapport final préparé pour le compte de la Federal Aviation Administration du département des Transports des États-Unis, février 1987.

National Transportation Safety Board (1980), étude spéciale, *General Aviation Accidents: Postcrash Fires and How to Prevent or Control Them*, NTSB-AAS-80-2, Washington, D.C.

Parsons, G.G. (1990), *Motor Vehicle Fires in Traffic Crashes and the Effects of the Fuel System Integrity Standard*, National Highway Traffic Safety Administration, rapport numéro DOT HS 807 675, novembre 1990.

Perrella, W.M. Jr. (1978), *Tests of Crash-Resistant Fuel System for General Aviation Aircraft*, rapport numéro FAA-RD-78-28, rapport d'étape préparé pour le compte de la Federal Aviation Administration du département des Transports des États-Unis.

Soltis, S. (1987), « General aviation aircraft/fuel system configuration study regarding fuel bladder cell installation », 66^e assemblée annuelle du Transportation Research Board.

Annexe C – Sigles et abréviations

AESA	Agence européenne de la sécurité aérienne
AGATE	Advanced General Aviation Transport Experiments
ANPRM	<i>Advance Notice of Proposed Rule Making</i> (avis préalable de projet de réglementation)
BST	Bureau de la sécurité des transports du Canada
CAR	<i>Civil Air Regulations</i>
CFR	<i>Code of Federal Regulations</i>
FAA	Federal Aviation Administration (États-Unis)
FAR	<i>Federal Aviation Regulations</i>
FMVSS	<i>Federal Motor Vehicle Safety Standard</i> (norme fédérale sur la sécurité des véhicules à moteur)
g	facteur de charge
GASP	General Aviation Safety Panel
kg	kilogramme
km	kilomètre
km/h	kilomètre par heure
NACA	National Advisory Committee for Aeronautics
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NFPA	National Fire Protection Association
NPRM	<i>Notice of Proposed Rule Making</i> (avis de projet de réglementation)
NTSB	National Transportation Safety Board (États-Unis)
OACI	Organisation de l'aviation civile internationale
RAC	<i>Règlement de l'aviation canadien</i>
SISA	Système d'information sur la sécurité aérienne
SIU	services d'intervention d'urgence
SLIA	services de sauvetage et de lutte contre les incendies d'aéronefs
VFR	règles de vol à vue
%	pour cent
°F	degré Fahrenheit