



RAPPORT D'ENQUÊTE AÉRONAUTIQUE
A04P0422



RUPTURE DE COURROIE D'ENTRAÎNEMENT
ET COLLISION AVEC LE RELIEF

DE L'HÉLICOPTÈRE ROBINSON R44 RAVEN II N313AL
EXPLOITÉ PAR FLYING DOG HELICOPTER LLC
À 15 nm AU SUD-OUEST DE FAIRMONT HOT SPRINGS
(COLOMBIE-BRITANNIQUE)

LE 28 DÉCEMBRE 2004

Le Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) a enquêté sur cet événement dans le seul but de promouvoir la sécurité des transports. Le Bureau n'est pas habilité à attribuer ni à déterminer les responsabilités civiles ou pénales.

Rapport d'enquête aéronautique

Rupture de courroie d'entraînement et collision avec le relief

de l'hélicoptère Robinson R44 Raven II N313AL
exploité par Flying Dog Helicopter LLC
à 15 nm au sud-ouest de Fairmont Hot Springs
(Colombie-Britannique)
le 28 décembre 2004

Rapport numéro A04P0422

Sommaire

L'hélicoptère R44 Raven II (immatriculation N313AL et numéro de série 10056) se pose à l'aéroport de Cranbrook (Colombie-Britannique) à 12 h 37, heure normale des Rocheuses (HNR), où le pilote en profite pour faire le plein des réservoirs de carburant et pour obtenir des renseignements sur les conditions météorologiques et sur la préparation du vol. À 13 h 43 HNR, l'hélicoptère quitte Cranbrook à destination de Revelstoke (Colombie-Britannique), en suivant à l'évidence la route selon les règles de vol à vue qui part vers le nord le long du fleuve Columbia, en direction de Fairmont Hot Springs. Le vol doit durer deux heures. À 14 h 15 HNR, l'hélicoptère percute un relief escarpé, 33 milles marins au nord-nord-ouest de Cranbrook, à 4200 pieds dans une région montagneuse. Le pilote est mortellement blessé, et l'hélicoptère est détruit par les forces d'impact et par le violent incendie qui s'ensuit.

This report is also available in English.

Autres renseignements de base

Le METAR¹ de Cranbrook à 13 h, heure normale des Rocheuses (HNR)² (20 h, temps universel coordonné) signalait des nuages à 200 pieds au-dessus du sol (agl) et un plafond mesuré à 1100 pieds agl; il y avait un léger vent d'ouest soufflant à 3 noeuds et la température était de -4 °C. Au moment de l'accident, les conditions météorologiques observées sur les lieux de l'accident permettaient le vol selon les règles de vol à vue, puisqu'il y avait un couvert nuageux à 5000 pieds au-dessus du niveau de la mer sans aucune précipitation, une visibilité de 5 milles et une température estimée à -12 °C.

Le Robinson R44 Raven II immatriculé N313AL avait été construit en mars 2003. Un examen des carnets de bord et des dossiers de maintenance indiquait que l'hélicoptère avait été certifié, équipé et entretenu conformément à la réglementation en vigueur et aux procédures de maintenance approuvées. Au moment de l'accident, l'hélicoptère totalisait 343 heures de vol.

L'accident avait eu lieu sur un relief montagneux escarpé entouré de grands conifères. L'hélicoptère avait d'abord percuté un arbre dans une trajectoire de vol descendante, puis il avait commencé de se désintégrer. Il avait ensuite poursuivi son vol sur 100 pieds avant de percuter le sol à la base d'un autre arbre, de dévaler la pente sur 25 pieds et de s'immobiliser à la base de plusieurs autres arbres. Compte tenu des dommages subis par l'hélicoptère, les arbres et le relief, l'appareil était dans une trajectoire de vol en forte descente quand il a commencé à percuter les arbres, puis il a poursuivi son vol en piqué accentué jusqu'à son entrée dans les arbres en suivant un profil vertical. Les renseignements sur l'épave montrent que le rotor tournait au moment du premier impact avec les arbres et qu'il tournait beaucoup moins vite au moment de l'impact final avec le relief.

Pour transférer la puissance du moteur à la transmission principale, l'hélicoptère R44 fait appel à quatre courroies d'entraînement trapézoïdales placées sur deux poulies – la poulie « menante » étant celle du bas, et la poulie « menée », celle du haut. Pour embrayer (ou débrayer) les courroies trapézoïdales, le pilote soulève (ou abaisse) la poulie supérieure à l'aide d'un actionneur électrique. En vol, l'actionneur surveille et maintient la tension des courroies trapézoïdales. Dans le présent accident, l'une des quatre courroies trapézoïdales était endommagée, mais entière, et a été trouvée autour des arbres supérieur et inférieur. Une deuxième courroie trapézoïdale a été trouvée cassée et coincée dans l'épave, entre la poulie supérieure et la structure de la poutre de queue. Quant aux deux autres courroies trapézoïdales, il a été impossible de savoir où elles étaient passées.

Les huit gorges de la poulie supérieure avaient été partiellement recouvertes d'une petite couche de suie provenant de l'incendie consécutif à l'impact. Les huit gorges de la poulie inférieure contenaient un résidu de caoutchouc provenant des courroies trapézoïdales. Si les quatre gorges arrière ne contenaient qu'un léger résidu des courroies trapézoïdales, le dépôt de caoutchouc était considérable dans les quatre gorges avant. L'apprêt à la surface des huit gorges

¹ METAR – message d'observation météorologique régulière pour l'aviation.

² Les heures sont exprimées en HNR (temps universel coordonné moins sept heures).

au total présentait une usure qui a été jugée normale et acceptable. L'uniformité des importants dépôts de caoutchouc dans les gorges avant montre que le transfert de caoutchouc a eu lieu au même moment pour chaque paire de courroies trapézoïdales.

En général, l'actionneur électrique qui sert à régler la tension des courroies trapézoïdales de l'hélicoptère R44 sort entre 0,8 et 1,0 pouce; l'actionneur de l'hélicoptère accidenté était sorti de 1,3 pouce. Si une courroie trapézoïdale s'était rompue en cours d'utilisation, les charges inhérentes à la transmission de la puissance auraient été supportées par les seules courroies trapézoïdales restantes, ce qui veut dire que les tensions individuelles auraient augmenté³. Cette augmentation se serait produite grâce à un déplacement (une sortie) de l'actionneur jusqu'à ce que la tension totale des courroies trapézoïdales ait été rétablie. Advenant la rupture d'une deuxième courroie trapézoïdale, l'actionneur se serait à nouveau déplacé pour rétablir la tension totale exigée. Des essais contrôlés de rupture de courroies trapézoïdales sur un hélicoptère R44 de référence ont montré que, après la dépose de deux courroies trapézoïdales, l'actionneur sortait de 1,3 pouce pour pouvoir appliquer la tension nécessaire au maintien d'un régime rotor normal. Les essais ont montré qu'il fallait 18 secondes pour que l'actionneur sorte de 1,0 à 1,3 pouce.

L'hélicoptère R44 dont il est question ici était équipé d'un moteur six cylindres à pistons Textron Lycoming IO-540-AE1A5 portant le numéro de série L-28579-48A, moteur qui avait été posé sur N313AL au moment de la construction de ce dernier en mars 2003. Il totalisait 343 heures de fonctionnement depuis sa mise en service initiale (TSN). L'examen du moteur qui a eu lieu après l'accident a montré que le moteur fonctionnait à un régime compris entre moyen et élevé au moment de l'impact. L'examen des dossiers de maintenance du moteur a révélé que, le 25 août 2004, ledit moteur avait été déposé de l'hélicoptère à 299 heures TSN, soit à la première inspection de maintenance aux 300 heures, à cause du collage des soupapes d'échappement des cylindres numéros 3 et 5 et de l'écaillage⁴ du poussoir et de la came de la soupape d'échappement numéro 5. Le moteur avait été retourné chez Lycoming pour y être inspecté et réparé, et il avait été reposé sur le N313AL le 11 novembre 2004.

L'examen du moteur effectué par le Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) a révélé que les extrémités de toutes les tiges des soupapes d'admission présentaient des dommages sous la forme de « renflement » dans le logement de clavette. Ce phénomène avait été causé par une survitesse du moteur, après l'inspection et la réparation chez Lycoming, dans les 43 dernières heures. Qui plus est, un examen microscopique des dommages permettait de supposer que cette survitesse s'était produite dans les dernières minutes de fonctionnement du moteur. En cas de rupture d'une ou plusieurs courroies trapézoïdales, la perte soudaine de la

³ L'actionneur n'est pas conçu pour compenser la rupture de courroies trapézoïdales, pas plus qu'il n'est censé le faire.

⁴ L'« écaillage » est une sorte de criquage par fatigue qui résulte de très fortes contraintes de compression.

tension des courroies va provoquer un patinage des courroies restantes sur la poulie menante, ce qui va alors se traduire par une augmentation rapide du régime du moteur et, probablement, par une survitesse⁵.

Les cylindres numéros 3 et 5, y compris les nouvelles soupapes et les nouveaux guides de soupape, avaient été posés à l'état neuf chez Lycoming, 43 heures de vol avant l'accident. L'examen des guides des soupapes d'échappement desdits cylindres qui a eu lieu après l'accident a révélé une usure excessive, compte tenu des heures de service de ces pièces. La cause d'une telle usure aussi importante n'a pu être établie.

Le régulateur de carburant du moteur a été examiné, et aucune anomalie n'a été découverte. Le papillon des gaz et l'orifice calibré étaient en position grande ouverte à l'impact, et le mécanisme de richesse était probablement en position plein riche.

Le ventilateur de refroidissement du moteur est fixé à ce dernier à l'aide d'un dispositif conique situé entre l'extrémité de l'arbre d'entraînement et le raccord du ventilateur. Plusieurs rapports techniques⁶ font état d'importants dommages dus à un éraillage⁷ survenu en vol et ayant nécessité le rejet et le remplacement du ventilateur. L'éraillage de cet assemblage a pour effet de créer une usure anormale, un déséquilibre et des vibrations, qui à leur tour amplifient le phénomène d'éraillage et accélèrent le processus d'usure. Tout cela donne finalement un ventilateur qui imprime des vibrations de plus en plus fortes à la poulie inférieure et aux courroies trapézoïdales. Dans un système de transmission par courroies, les vibrations sont connues pour être un des facteurs de rupture, de mauvais alignement et de perte des courroies trapézoïdales⁸.

Un examen métallurgique de l'arbre conique et du raccord de ventilateur conique de l'hélicoptère accidenté a révélé la présence d'un éraillage important qui, selon ce qui a été établi, se serait produit dans les dernières heures de fonctionnement du moteur. De plus, les huit rondelles et boulons qui servent à fixer le ventilateur au raccord conique présentaient une importante usure par frottement. Les trous de boulon dans la plaque arrière du ventilateur étaient allongés, et le métal s'était étiré jusque dans le diamètre intérieur. Aucun de ces dommages n'était présent au moment de la dernière inspection de maintenance effectuée à 299 heures TSN. L'analyse de l'usure par frottement et de l'élongation des trous et des rondelles effectuée par le Laboratoire technique du BST a révélé que le mécanisme d'usure avait été à

⁵ L'enquête consécutive à un accident de R44 survenu en Australie a révélé une rupture de courroie et une survitesse du moteur. Australian Transportation Safety Board (ATSB) 199905646.

⁶ Base de données du Système de rapports de difficultés en service de Transports Canada, et dossiers du National Transportation Safety Board et de la Federal Aviation Administration des États-Unis ainsi que de l'ATSB.

⁷ L'« éraillage » s'entend du piquage ou du rayage d'une surface de finition, notamment d'une surface d'appui, à la suite d'une usure de contact (le frottement de deux surfaces solides l'une contre l'autre).

⁸ *Heavy Duty V-Belt Drive Design Manual*, Denver, The Gates Rubber Company, 1999.

l'oeuvre pendant une période de temps similaire à celle de l'éraillage du dispositif conique de fixation du ventilateur, et probablement en même temps que celui-ci. On a jugé que l'étirement avait été causé par les forces d'impact.

L'enquête a donné lieu au rapport de laboratoire suivant :

LP021/05 - *Fan Assembly and Drive Train Examination* (Examen du ventilateur et de la transmission)

On peut obtenir ce rapport en s'adressant au Bureau de la sécurité des transports du Canada.

Analyse

La raison de l'usure excessive des guides des soupapes d'échappement des cylindres numéros 3 et 5 demeure inexpliquée. Il est peu probable qu'un bref épisode de survitesse ait pu causer une telle usure et, en l'absence de traces physiques de mauvais alignement des organes de distribution, aucune raison mécanique expliquant l'usure n'a pu être établie. Il se peut que, au moment de leur pose à l'état neuf, les guides des soupapes en cause n'aient pas été de la bonne dimension.

L'usure normale et uniforme de l'apprêt sur la poulie menante indique que, au moment de la repose du moteur, les poulies ont été bien alignées. L'arbre et le raccord du dispositif conique de fixation du ventilateur du moteur sont sujets à l'éraillage pendant le fonctionnement du moteur. Un tel éraillage peut imprimer des vibrations aux courroies trapézoïdales et aux poulies, ce qui est un facteur connu de rupture, de mauvais alignement ou de perte des courroies trapézoïdales. Le Laboratoire technique du BST a déterminé que l'éraillage du raccord du ventilateur et l'usure par frottement des boulons et des rondelles présents sur l'hélicoptère accidenté s'étaient produits dans les toutes dernières heures de fonctionnement du moteur. Par conséquent, il est fort probable que cette amplification des vibrations a fait sauter les deux courroies trapézoïdales arrière des poulies. Robinson Helicopters prétend toutefois que, même si un certain éraillage a été découvert sur des arbres de ventilateurs déposés au cours d'opérations normales de maintenance, ce phénomène n'a pas été relié directement aux systèmes de transmission par courroies.

Il se peut que l'anomalie au niveau des dimensions des guides des soupapes ait favorisé l'apparition de vibrations dans le moteur, lesquelles auraient alors été transmises aux courroies trapézoïdales et aux poulies; toutefois, aucune preuve directe confirmant cette hypothèse n'a été découverte. De telles vibrations, si elles avaient été présentes, auraient pu exacerber celles provenant du ventilateur de refroidissement et finir par provoquer la perte des courroies trapézoïdales. Cependant, si de telles vibrations avaient été présentes, elles ne seraient probablement pas passées inaperçues.

La perte des deux courroies trapézoïdales et la réduction soudaine de la tension des courroies auraient provoqué un patinage des courroies restantes sur la poulie menante. Ce patinage soudain se serait traduit par une importante perte de puissance au niveau du système de

transmission, d'où une diminution rapide du régime du rotor principal et une augmentation rapide du régime du moteur et, probablement même, une survitesse du moteur. Le patinage serait à l'origine de l'accumulation de caoutchouc dans les gorges de la poulie menante.

La diminution du régime rotor accompagnée d'une survitesse du moteur aurait été difficile à diagnostiquer et à contrer en temps opportun, et le pilote aurait été incapable d'empêcher la descente dans les arbres. Si le régime avait chuté au point de faire perdre toute efficacité à la commande de pas cyclique, le pilote aurait perdu la maîtrise de l'hélicoptère. Une fois que celui-ci a percuté le premier arbre, les dommages ont empêché au pilote de faire un rétablissement, et la collision avec le relief était inévitable.

Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs

1. L'éraillage du dispositif conique de fixation du ventilateur du moteur au cours des toutes dernières heures de fonctionnement du moteur a fait apparaître des vibrations dans le système de transmission par courroies, ce qui a alors provoqué un mauvais alignement des courroies dans les gorges des poulies et ce qui a fini par mener à la perte en vol de deux courroies des poulies.
2. La perte soudaine de la tension des courroies trapézoïdales a provoqué un patinage des deux courroies trapézoïdales restantes sur la poulie menante, ce qui s'est traduit par une perte rapide du régime du rotor principal. Ce phénomène a alors empêché le pilote d'éviter les arbres et a mené à la collision avec le relief et à la destruction de l'hélicoptère.

Faits établis quant aux risques

1. L'arbre et le raccord du dispositif conique de fixation du ventilateur du moteur sont sujets à l'éraillage, lequel imprime des vibrations aux courroies trapézoïdales et aux poulies, un facteur connu de rupture, de mauvais alignement et de perte de courroies trapézoïdales.
2. L'usure trouvée dans les guides des soupapes d'échappement des cylindres numéros 3 et 5 était trop importante par rapport aux temps d'utilisation de ces pièces et indique une anomalie au niveau du contrôle de la qualité du constructeur.

Le présent rapport met un terme à l'enquête du Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) sur cet événement. Le Bureau a autorisé la publication du rapport le 30 septembre 2005.

Visitez le site Web du BST (www.bst.gc.ca) pour plus d'information sur le BST, ses services et ses produits. Vous y trouverez également des liens vers d'autres organismes de sécurité et des sites connexes.