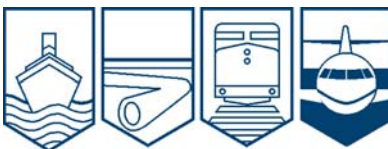




RAPPORT D'ENQUÊTE AÉRONAUTIQUE
A09P0210



DÉSINTÉGRATION EN VOL

DE L'HÉLICOPTÈRE ROBINSON R44 ASTRO C-FKAJ
EXPLOITÉ PAR KOOTENAY VALLEY HELICOPTERS LTD.
À 8,5 NM AU NORD-OUEST DE CRESTON
(COLOMBIE-BRITANNIQUE)
LE 22 JUILLET 2009

Le Bureau de la sécurité des transports (BST) du Canada 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

Désintégration en vol

de l'hélicoptère Robinson R44 Astro C-FKAJ
exploité par Kootenay Valley Helicopters Ltd.
à 8,5 nm au nord-ouest de Creston
(Colombie-Britannique)
le 22 juillet 2009

Rapport numéro A09P0210

Sommaire

Vers 12 h 45, heure avancée du Pacifique, l'hélicoptère Robinson R44 Astro, immatriculé C-FKAJ, numéro de série 0324, décolle de l'héliport de Kootenay Valley Helicopters Ltd. situé près de Creston (Colombie-Britannique). L'élève-pilote, seul à bord, effectue un vol selon les règles de vol à vue (VFR) et doit s'entraîner à faire des manœuvres dans des conditions météorologiques de vol à vue (VMC) de jour dans la zone d'entraînement locale. Vers 14 h, l'hélicoptère se désintègre en vol à la verticale d'un terrain marécageux plat. L'appareil s'écrase au sol à environ 8,5 milles marins au nord-ouest de Creston, à une altitude de 2100 pieds au-dessus du niveau de la mer. La majeure partie du fuselage tombe dans la rivière Kootenay, l'appareil laissant une traînée de débris sur plusieurs centaines de mètres. L'élève-pilote subit des blessures mortelles; l'hélicoptère est détruit par les forces qui se sont exercées lors de la désintégration en vol et de l'impact au sol. Il n'y a pas d'incendie. La radiobalise de repérage d'urgence (ELT) fonctionne encore lorsqu'on la retrouve. Par contre, aucun signal n'a été détecté parce que l'ELT se trouvait sous l'eau et qu'elle était conçue pour émettre un signal sur les fréquences de 121,5 et 243 MHz, lesquelles ne sont plus surveillées par le système de recherche et sauvetage par satellite.

This report is also available in English.

Autres renseignements de base

L'hélicoptère appartenait à la société Kootenay Valley Helicopters Ltd. (KVH) de Creston et il était utilisé par le centre de formation de KVH situé à environ 3,5 milles marins (nm) au sud-ouest de l'aéroport municipal de Creston (Colombie-Britannique).

Lors du vol ayant mené à l'accident, l'élève-pilote effectuait un vol solo autorisé qui devait durer une heure et demie. L'objectif du vol était de poursuivre l'entraînement au vol dans des zones exigües et à faire des virages à grande inclinaison. Lors des discussions qui ont eu lieu lors de la planification prévol avec l'instructeur, l'élève-pilote avait pris note du programme et des consignes de formation proposés. La progression de la formation de l'élève-pilote et les données de vol transmises par le dispositif de suivi du vol montrent que, au moment de l'accident, l'élève-pilote était fort probablement en train d'exécuter les tâches prévues.

L'élève-pilote effectuait son deuxième vol de la journée à bord du C-FKAJ. Le premier vol avait duré environ une heure et demie et s'était principalement déroulé dans le circuit de l'aéroport de Creston, avec l'instructeur à bord. Toutes les communications établies avec l'élève-pilote le jour de l'accident ont été normales, et aucun signe de problème de navigation ou de problème mécanique, météorologique ou personnel n'a été relevé, que ce soit avant ou pendant les vols.

L'accident s'est produit par 49°12.68' N et 116°39.55' W, soit à environ 15 nm au nord de l'héliport de KVH. Le lieu de l'accident se trouve dans une réserve locale pour oiseaux aquatiques réputée pour sa population de grands oiseaux migrateurs. Le jour de l'accident, de nombreux oiseaux ont été aperçus dans les marécages et dans les voies d'eau adjacentes. Les données de suivi du vol, la répartition des débris de l'épave et les trajectoires de vol montrent que l'hélicoptère a survolé cette zone.

Renseignements sur l'élève-pilote

L'élève possédait un permis d'élève-pilote (hélicoptère) délivré par Transports Canada et un certificat médical de catégorie 1 sans restriction, et les deux documents étaient valides jusqu'en mai 2014. L'élève avait débuté sa formation au pilotage chez KVH en mai 2009 dans l'intention d'obtenir une licence de pilote professionnel (hélicoptère) délivrée au Canada. Il n'avait jamais volé en qualité de pilote avant d'entamer ce cours de formation sur hélicoptère, et au moment de l'accident, il totalisait environ 52 heures de vol en double commande et en solo sur le Robinson R44 qui s'est écrasé.

L'élève-pilote était un élève d'âge mûr qui avait progressé de manière satisfaisante tout au long du programme de formation officiel de KVH. L'examen de son dossier de formation et de ses heures de vol n'a révélé aucun écart par rapport aux normes de formation au pilotage, aux critères de progression ou aux règlements régissant les heures de vol en vigueur, et aucune activité digne d'être mentionnée n'a été relevée dans les 48 heures qui ont précédé l'accident.

L'élève-pilote était un élève assidu du vol en hélicoptère. Par ailleurs, il connaissait bien les conséquences dangereuses découlant d'une collision en vol avec un oiseau et accordait une importance particulière aux mesures d'évitement des oiseaux et aux techniques de pilotage de l'hélicoptère. L'élève-pilote était parfaitement conscient des risques de collision avec un oiseau et des conséquences.

Conditions météorologiques régionales

Creston se trouve presque à égale distance de Cranbrook et de Castlegar (Colombie-Britannique). Les messages d'observation météorologique régulière pour l'aviation (METAR) diffusés pour ces deux aéroports montrent que vers 14 h¹, heure de l'accident, les conditions météorologiques à ces aéroports étaient favorables au vol VFR et étaient stables. Un vent léger de 8 nœuds soufflait du sud-est, il y avait quelques nuages, et la température était d'environ 34 °C.

Il n'existe aucune observation météorologique officielle pour la région de l'accident. Par contre, les conditions météorologiques qui régnaient dans le secteur avant l'accident correspondent à des conditions météorologiques de vol à vue (VMC) : pas de précipitation, visibilité illimitée, vents légers et température de l'air extérieur estimé à 35 °C. Les conditions météorologiques n'ont joué aucun rôle dans l'accident.

Renseignements sur l'hélicoptère

L'hélicoptère Robinson R44 Astro est équipé d'un moteur à pistons O-540-F1B5 de Textron Lycoming d'une puissance de 260 HP (horsepower). Sa masse maximale brute est de 2400 livres. L'examen des carnets de bord et des dossiers de maintenance montre que l'hélicoptère était certifié, équipé et entretenu conformément aux règlements en vigueur et aux procédures de maintenance approuvées. Au moment de l'accident, l'hélicoptère totalisait environ 3280 heures de vol depuis sa mise en service initiale. L'hélicoptère n'était pas équipé d'un enregistreur de vol, et la réglementation ne l'exigeait pas.

Masse et centrage

L'hélicoptère avait une masse à vide de 1461,9 livres et son centre de gravité se situait à 106,4 pouces². Avant le décollage le jour de l'accident, l'élève-pilote avait rempli les deux réservoirs carburant externes au niveau des 35 gallons US, pour une masse totale de carburant au décollage de 210 livres. Les calculs du BST indiquent que la masse de l'hélicoptère s'élevait probablement à 1820 livres au décollage de KVH, le centre de gravité se situant à 101,49 pouces (voir le carré dans la Figure 1). Au fur et à mesure que le vol progressait et que la réserve de carburant diminuait, le centre de gravité se serait déplacé vers l'avant vers la position de la masse sans carburant de 101,2 pouces (voir le triangle dans la Figure 1). Au moment de

¹ Les heures sont exprimées en heure avancée du Pacifique (temps universel coordonné moins sept heures).

² Le centrage à la masse à vide est calculé sans le pilote ni carburant à bord. Le fait que le centre de gravité se déplace vers l'avant si rapidement est une caractéristique de conception du R44.

l'accident, la masse et le centrage (voir le cercle dans la Figure 1) étaient probablement conformes aux limites spécifiées et proches de la limite arrière de la plage de centrage. Le mât du rotor principal se trouve à 100 pouces de la ligne de référence.

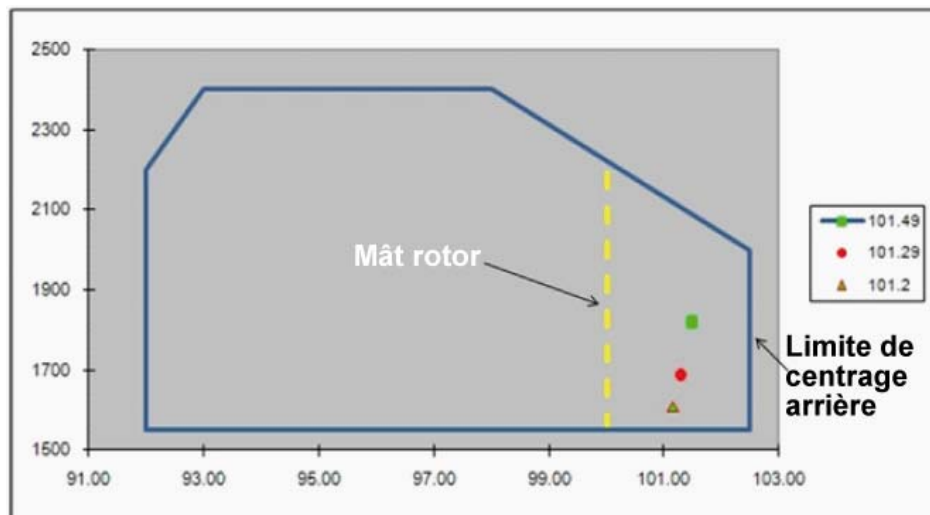


Figure 1. Plage de centrage arrière du C-FKAJ

Il est acceptable de voler avec une limite de centrage arrière dans le domaine de vol certifié. Voler avec un centrage arrière oblige le pilote à maintenir une pression vers l'avant sur le manche cyclique, ce qui réduit la course disponible du cyclique vers l'avant. En conditions normales, cette action fait partie des caractéristiques d'exploitation de l'hélicoptère et suppose une sollicitation douce du cyclique pour éviter d'atteindre la limite avant de la course longitudinale du cyclique. Il n'en demeure pas moins que le débattement disponible du cyclique peut s'avérer insuffisant pour permettre au pilote de contrôler l'hélicoptère dans certaines conditions inhabituelles.

Lieu de l'accident

Plusieurs pièces légères de l'hélicoptère ont été retrouvées dans le marécage, en bordure de la rivière. La partie principale, constituée de la cabine et de la transmission, est tombée dans un bras étroit de la rivière Kootenay (voir la Photo 1). L'épave a été retrouvée près de la rive. Aucun signe d'impact avec des arbres n'a été relevé le long de la rivière ou dans le marécage. Le rotor de queue a été retrouvé dans la rivière, dans 50 pieds d'eau, à environ 30 mètres de l'épave principale.

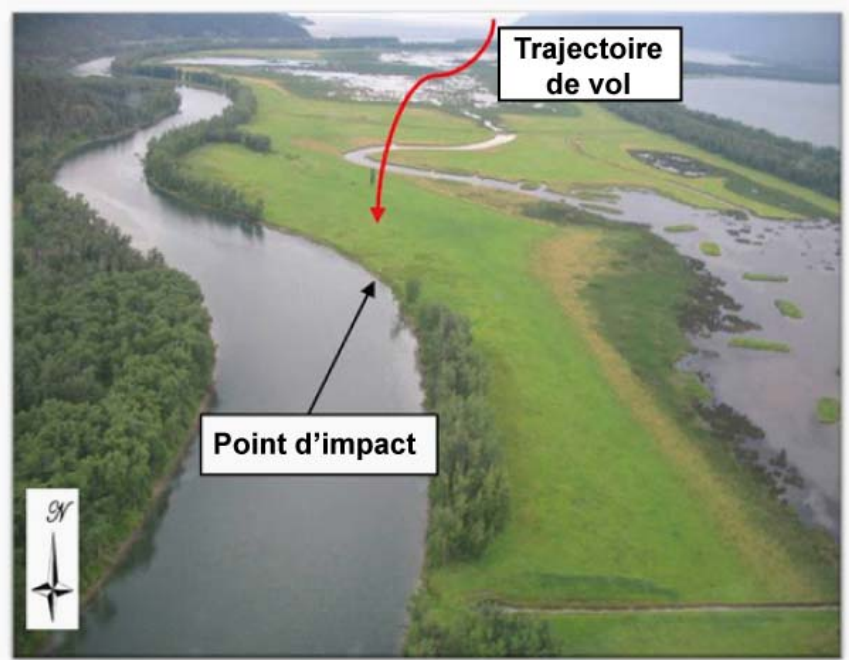


Photo 1. Trajectoire du vol ayant mené à l'accident

La traînée de débris montre que l'hélicoptère s'est désintégré en vol près de l'extrémité sud du lac Duck et qu'il est tombé en direction du sud, en direction de la rivière, ce qui représente une trajectoire d'environ 100 mètres. Les dommages à l'hélicoptère indiquent que le fuselage s'est écrasé dans la rivière, incliné à gauche dans une assiette quasi horizontale.

Description de l'épave

L'hélicoptère a été détruit et fortement comprimé par les forces d'impact. La cellule s'est cassée en trois parties :

- le poste de pilotage, la cabine et la partie principale du fuselage;
- le compartiment moteur et la transmission principale;
- le rotor de queue.

L'examen de l'épave n'a révélé aucun signe de défaillance d'un système de commande ou de la cellule antérieur à l'impact qui aurait pu être à l'origine de la désintégration. Rien n'indique qu'il y ait eu une collision avec un oiseau.

La partie poste de pilotage et cabine et la partie moteur et transmission n'étaient raccordées que par les faisceaux de câbles et la timonerie des commandes de vol. Plusieurs pièces du fuselage et de la poutre de queue ont été retrouvées près de l'épave principale, ce qui indique qu'elles se sont détachées en vol; plusieurs portaient des signes d'impact avec les pales du rotor principal.

La boîte de transmission principale présentait des dommages compatibles avec des forces verticales élevées résultant probablement de l'impact avec la surface de la rivière. Le mât du rotor principal et la tête de rotor montraient des dommages correspondants à des battements de pales importants et au cognement du mât. L'une des biellettes de commande de pas présentait une rupture due à une surcharge en flexion; l'un des renforts d'axe était cassé et les amortisseurs de mât en polyuréthane étaient écrasés, ce qui correspond aux dommages causés par une sortie des pales du rotor principal de leur plan de rotation normal.

Tous les composants de l'ensemble rotor ont été retrouvés dans l'épave, à l'exception d'un morceau de pale du rotor principal. Le rotor principal comptait deux pales (la pale rouge et la pale bleue qui sont désignées ainsi pour faciliter leur identification). La pale rouge au complet était toujours fixée au pied de pale, mais le longeron principal était tordu et cassé à 60 pouces de l'emplature; le bord de fuite, lui, était intact. La pale rouge présentait des signes d'impact avec la poutre de queue, signes qui correspondaient aux dommages relevés sur la poutre de queue (voir la Photo 2).

La pale bleue était cassée à 28 pouces du pied de pale. La partie cassée n'a pas été retrouvée, à l'exception d'un morceau d'arrière-corps intermédiaire de pale de 36 pouces qui a été repêché dans la rivière, près du lieu principal de l'écrasement. Il est peu probable que cette pièce se soit détachée en vol, car aucune anomalie n'a été constatée dans l'encollage du corps en nid d'abeille ou dans le revêtement; toutes les surfaces de rupture semblent correspondre à des ruptures en surcharge isolées. De plus, il est peu probable qu'une pièce aussi légère serait tombée au même endroit que l'épave principale, si elle s'était détachée lors de la désintégration en vol.

Le Laboratoire du BST a examiné les faciès de rupture des deux pales du rotor principal. Aucun signe de rupture progressive par fatigue n'a été constaté sur les faciès de rupture du longeron. La présence de caractéristiques telles que des surfaces de déchirure ouvertes à 45° et une déformation élastique correspond à une rupture par contraintes excessives. Il a donc été jugé que les cassures de pale se sont produites en raison d'une contrainte excessive et que la fatigue n'a pas contribué à ces dommages. Par conséquent, compte tenu de la nature du relief, des dommages à la cellule et au rotor et de la proximité des pièces de l'épave, il a été conclu que les pales de rotor se sont cassées lors de l'impact avec la surface de l'eau.

Le rotor de queue, ainsi qu'une section de la poutre de queue, a été sectionné net en vol par les pales du rotor principal. Le rotor de queue et la boîte de transmission présentaient des dommages légers, ainsi que l'une des extrémités de pale. La section de la poutre de queue qui a été sectionnée présentait des dommages légers de toute évidence causés par l'impact avec la surface de l'eau. Une marque de claquement de pale de rotor de queue était visible sur le côté de la poutre de queue, juste en dessous de l'arc du disque du rotor de queue. Cette marque a été faite lors de l'impact avec la surface de l'eau.

Continuité des commandes de vol et de la chaîne dynamique

La continuité de toutes les commandes de vol dans l'épave principale a été confirmée; aucun signe de débranchement ou de rupture prématuré n'a été constaté sur les composants. Il n'a pas été possible de déterminer la continuité de la chaîne dynamique du rotor de queue ni celle de la bielle de commande du rotor de queue, car il manquait une section de la poutre de queue. L'examen de la boîte de transmission du rotor principal, de la boîte de transmission du rotor de queue et de la roue libre du moteur n'a révélé aucun problème de fonctionnement ni aucune anomalie préexistante.

Énergie des pales de rotor

Les dommages aux pales du rotor principal sont caractéristiques d'un heurt du rotor avec la cellule qui serait survenu alors que le rotor tournait à une vitesse modérée, et ils sont typiques d'une énergie rotor modérée. Dû à sa conception, le R44 a un rotor à faible inertie; autrement dit, le régime et l'énergie du rotor diminuent rapidement à la suite de l'apparition de contraintes aérodynamiques en vol, mais ils peuvent augmenter tout aussi rapidement. Sur cet hélicoptère, un régime rotor modéré peut être inférieur au régime minimum requis pour le vol contrôlé; toutefois, le régime réel n'a pu être déterminé.

Examen du moteur

L'examen des fiches d'entretien de l'hélicoptère a révélé que toutes les instructions de maintenance et d'entretien courant pour le moteur et l'hélicoptère avaient été exécutées conformément au *Règlement de l'aviation canadien* et aux instructions. Au moment de l'accident, le temps de service du moteur était d'environ 1080 heures depuis sa révision complète.

Les empreintes et les preuves d'impact sur le lieu de l'accident, ainsi que les dommages au moteur, sont typiques d'un moteur qui s'écrase au sol (ou sur un plan d'eau) alors qu'il est en train de tourner. Les enquêteurs du BST ont retiré le moteur de la cellule et l'ont examiné à l'atelier régional d'examen des épaves du BST de Richmond (Colombie-Britannique). Le moteur a ensuite été inspecté plus en détail à un centre agréé d'entretien et de révision des moteurs à Kelowna (Colombie-Britannique). Aucune anomalie antérieure à l'accident et de nature à perturber le fonctionnement normal du moteur n'a été relevée.

Contact du rotor principal et de la poutre de queue

Outre la possibilité d'une rupture en vol de l'une des commandes de vol nécessaires pour maintenir l'assiette de l'hélicoptère, d'autres facteurs peuvent expliquer le contact des pales du rotor principal et de la poutre de queue (voir la Photo 2). Ces facteurs sont les suivants :

- une baisse du régime du rotor principal au-dessous de la valeur minimale requise pour le vol contrôlé;
- des angles de battement importants des pales du rotor principal;
- des manœuvres avec un facteur de charge inférieur à 1 g;
- une combinaison de ces facteurs.

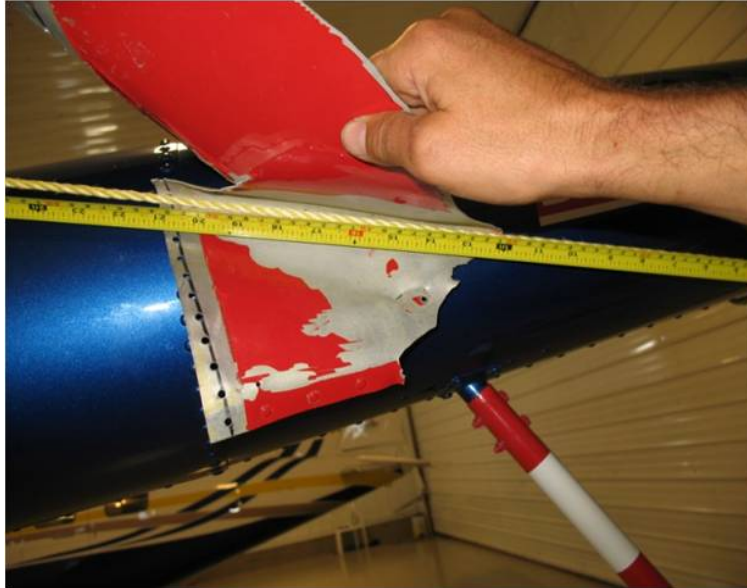


Photo 2. Contact des pales du rotor principal et de la poutre de queue

Les dommages au rotor principal et au fuselage laissent penser que l'énergie et le régime rotor étaient modérés, bien qu'aucun régime n'ait pu être déterminé de façon ferme et définitive.

Les dommages à la cellule montrent que le rotor de queue était intact avant le contact des pales du rotor principal, et il n'y avait aucun autre signe d'impact avec d'autres composants.

Chances de survie

Les dommages à l'hélicoptère sont caractéristiques de la dynamique d'une désintégration en vol avec des forces d'impact extrêmes lors du heurt des pales du rotor avec le fuselage et avec des forces de décélération élevées lors du contact avec la surface de l'eau; de telles forces d'impact dépassent les limites de la résistance humaine. L'accident n'offrait aucune chance de survie.

La radiobalise de repérage d'urgence (ELT) de l'hélicoptère était un modèle Pointer Sentry 3000 émettant sur les fréquences de 121,5 et 243 MHz. Depuis le 1^{er} février 2009, le système de satellites COSPAS-SARSAT ne peut plus recevoir ni suivre les signaux des ELT d'aéronefs émettant sur ces fréquences. L'ELT de l'hélicoptère accidenté étant un dispositif de repérage passif, elle n'a pas été utile.

Avertissements concernant les faibles facteurs de charge

La section 2 (limites) du manuel de vol de l'hélicoptère (RFM) approuvé par Transports Canada interdit les manœuvres de mise en descente au cyclique en présence de facteurs de charge faibles et avertit le pilote de ce qui suit :

[Traduction]

Une manœuvre de mise en descente (cyclique en avant) exécutée à partir d'un vol en palier ou à la suite d'une ressource provoque une diminution du facteur de charge (presque jusqu'à zéro), qui peut entraîner une perte de contrôle latérale catastrophique. Pour éliminer cet état de quasi-apesanteur, le pilote doit immédiatement tirer légèrement le cyclique vers l'arrière. Si l'hélicoptère amorce un roulis à droite pendant que le facteur de charge est presque nul, le pilote doit tirer légèrement le cyclique vers l'arrière pour redonner de la portance au rotor avant de déplacer le cyclique latéralement pour arrêter le roulis.

Dans le même esprit, l'avis de sécurité Robinson SN-11 (révisé en novembre 2000) traite de la mise en descente en condition d'apesanteur et qualifie la manœuvre de dangereuse :

[Traduction]

Le fait de mettre le manche en avant à la suite d'une ressource ou d'une montée rapide, ou même à partir d'un vol en palier, entraîne un état de quasi-apesanteur. Si l'hélicoptère est toujours incliné vers l'avant lorsque le pilote tire le cyclique vers l'arrière pour redonner de la portance au rotor, le disque rotor peut basculer vers l'arrière par rapport au fuselage avant de retrouver de la portance. La réaction du couple rotor principal s'ajoutera à la poussée du rotor de queue pour produire un puissant moment de roulis à droite sur le fuselage. Si le rotor ne produit pas de portance, il n'est pas possible d'assurer le contrôle latéral et d'arrêter le roulis rapide à droite, et un cognement de mât risque de se produire. Un cognement de mât important en vol se traduit habituellement par la séparation de l'arbre du rotor principal ou le heurt des pales du rotor avec le fuselage.

Il est important de redonner de la portance au rotor avant de déplacer le manche latéralement pour arrêter le roulis à droite. Pour redonner de la portance au rotor, le pilote doit immédiatement tirer le cyclique vers l'arrière en évitant de faire des déplacements importants du cyclique vers l'arrière (l'état d'apesanteur qui survient pendant une entrée en autorotation rapide ne pose pas de problème, car le fait d'abaisser le collectif réduit simultanément la portance et le couple rotor).

Le pilote ne doit jamais tenter de montrer ou d'expérimenter des manœuvres en conditions de facteurs de charge faibles, quels que soient ses compétences et son niveau d'expérience. Des pilotes d'essai très expérimentés se sont tués en voulant étudier des manœuvres en pareilles conditions. Le pilote doit toujours éviter les manœuvres qui pourraient engendrer un état de quasi-apesanteur. Les accidents caractérisés par un cognement de mât en état de quasi-apesanteur sont presque toujours mortels.

Manœuvres en présence d'un facteur de charge faible et cognement du mât

En général, les pales de rotor battent pour équilibrer la portance générée dans le plan du disque rotor et pour assurer le contrôle de l'hélicoptère. Des butées de battement sont intégrées au rotor³ dans le but de limiter l'amplitude des battements qui peuvent survenir au démarrage ou à l'arrêt du moteur lorsque les vitesses rotor sont basses. Un changement d'assiette brutal, provoqué par exemple par une sollicitation soudaine du cyclique en raison d'une panne mécanique, peut faire augmenter les angles de battement jusqu'à 70 pour cent par rapport à la limite du rotor et de l'arbre. Si les angles de battement dépassent les limites de conception, les butées fixes des pales de rotor entrent en contact avec le mât (cognement du mât), et si ce contact est suffisamment violent, le mât peut être endommagé et se détacher en vol. Les angles de battement augmentent modérément avec une vitesse de translation avant élevée, un régime rotor faible, une haute altitude-densité, un poids brut élevé et des turbulences.

Un vol à basse vitesse avec un centrage limite peut même induire des angles de battement encore plus importants. La manœuvre la plus critique en cas de cognement du mât est la mise en descente vers l'avant. Lorsque le disque rotor est déplacé brusquement bien au-delà de l'angle de battement, le mât peut entrer en contact avec les butées fixes et générer les forces destructrices liées au cognement du mât.

Sur la plupart des hélicoptères, la commande en direction consiste principalement à incliner le vecteur poussée du rotor principal de manière à produire des moments par rapport au centre de gravité, action qui fait basculer l'hélicoptère dans la direction voulue. Le fait de déplacer le cyclique brusquement vers l'avant, à partir d'un vol rectiligne en palier ou à la suite d'une montée, peut mettre l'hélicoptère dans un état de quasi-apesanteur. En translation avant, lorsque le pilote effectue une mise en descente, l'angle d'attaque et la poussée du rotor sont réduits, ce qui provoque un état de quasi-apesanteur.

En état de quasi-apesanteur, le déplacement latéral du cyclique produit peu d'effet, sinon aucun, car la poussée du rotor est réduite. Dans le cas d'un rotor qui tourne dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, comme celui du R44, il n'y a pas de composante de poussée du rotor principal vers la gauche pour contrer la poussée du rotor de queue vers la droite, et comme le rotor de queue est au-dessus du centre de gravité, sa poussée fait rapidement pivoter l'hélicoptère vers la droite. Si le pilote essaie d'arrêter le roulis à droite en mettant

³ Certains détails de cette description générale du cognement du mât ne s'appliquent pas spécifiquement à l'hélicoptère R44; par exemple, le R44 comprend une articulation de bascule et deux articulations de conicité. Le phénomène est toutefois identique.

complètement le manche à gauche avant de rétablir la poussée du rotor principal, le rotor risque de dépasser ses limites de battement et de provoquer une défaillance structurale de l'arbre du rotor en raison du cognement du mât, ou une pale risque de heurter la cellule.

En état de quasi-apesanteur, une action inappropriée peut provoquer le contact du mât du rotor avec le moyeu. Ce contact avec le mât devient plus violent à chaque battement de pale. Ce phénomène engendre un déplacement de battement plus grand. Le mât du rotor risque alors d'être sérieusement endommagé, ou le rotor principal peut se détacher de l'hélicoptère.

Causes de désintégration en vol

Outre le cognement du mât catastrophique, qui est une cause de désintégration en vol, le pilote peut aussi provoquer des déplacements du disque rotor principal de plusieurs façons :

- en adoptant de grands angles d'inclinaison,
- en déplaçant le cyclique trop rapidement.

Lorsque l'angle d'inclinaison de l'hélicoptère est élevé, le rotor peut perdre de la portance si le pilote ne maintient pas un facteur de charge positif pendant toute la manœuvre et le rétablissement. De même, des déplacements rapides du cyclique, longitudinalement ou transversalement, peuvent déplacer le plan du disque rotor plus vite que le fuselage ne peut le supporter et provoquer le contact d'une pale avec le fuselage.

Rapport d'enquête spécial du National Transportation Safety Board

Depuis 1981, le National Transportation Safety Board (NTSB) des États-Unis a enquêté ou fait des recherches sur de nombreux accidents de R22 et de R44 (tant aux États-Unis qu'à l'étranger) caractérisés par une perte de contrôle en vol du rotor principal et un contact des pales du rotor principal avec la poutre de queue ou le fuselage de l'hélicoptère. La plupart de ces événements ont provoqué une désintégration en vol.

Ces accidents, et plus particulièrement celui qui s'est produit lors d'un vol d'instruction près de Richmond, en Californie, le 29 juin 1992, ont conduit le NTSB à produire un rapport d'enquête spécial⁴ sur des accidents de Robinson R22 et R44 causés par une perte de contrôle du rotor principal et des heurts avec le fuselage.

⁴ National Transportation Safety Board, *Special Investigation Report, Robinson Helicopter Company R22 Loss of Main Rotor Control Accidents*, adopté le 2 avril 1996

Le NTSB a d'abord étudié des accidents de R22 au cours desquels les pales du rotor principal se sont éloignées de leur trajectoire normale et ont heurté l'hélicoptère. Lorsque des accidents de R44 similaires ont commencé à se produire, le NTSB a élargi la portée du rapport d'enquête spécial afin d'inclure ce modèle d'hélicoptère. Les questions de sécurité traitées dans le rapport d'enquête spécial incluaient :

- la nécessité de prévoir des mesures appropriées permettant de réduire la probabilité d'accidents causés par des pertes de contrôle du rotor principal;
- la nécessité de poursuivre les recherches axées sur les systèmes de commandes de vol et la dynamique des pales du rotor principal sur les hélicoptères légers munis de rotor à faible inertie;
- la nécessité de tenir compte des exigences d'exploitation lors de la certification future des hélicoptères légers munis de rotor à faible inertie;
- la nécessité pour la Federal Aviation Administration (FAA) des États-Unis d'examiner et de réviser, selon les besoins, ses procédures afin d'assurer que certaines recommandations internes, notamment celles prises en compte dans des examens de certification spécifiques, soient résolues de manière appropriée et menées à bien.

Exigences spéciales relatives à la formation et à l'expérience des pilotes d'hélicoptères R22 et R44 – Federal Aviation Administration des États-Unis

Le R22 est un hélicoptère biplace doté d'un moteur à pistons régulièrement utilisé pour l'apprentissage du pilotage à faible coût. Le R44 est un hélicoptère à quatre places doté de caractéristiques d'exploitation et de conception assez proches de celles du R22. Le R22 est le plus petit hélicoptère dans sa catégorie. Les deux modèles sont équipés d'une cinématique de commande cyclique et d'un rotor basculant bien spécifiques. Certaines caractéristiques aérodynamiques et de conception des hélicoptères supposent des caractéristiques de vol particulières exigeant une conscience et une capacité de réaction poussées de la part du pilote.

À la suite de plusieurs recommandations de sécurité publiées par le NTSB en 1994 et 1995, la FAA a établi qu'il était nécessaire d'élaborer des exigences spécifiques en matière de formation et d'expérience pour assurer la sécurité d'exploitation des modèles d'hélicoptère Robinson R22 et R44.

Le 1^{er} mars 1995, la FAA a publié le Special Federal Aviation Regulation 73 (SFAR 73). En gros, le SFAR 73 modifiait la Partie 61 du Chapitre I du Titre 14 du *Code of Federal Regulations* (14 CFR part 61) qui donne des précisions sur les exigences de certification applicables aux pilotes et aux instructeurs. Ce SFAR a notamment relevé les critères de certification des pilotes d'hélicoptères R22 et R44 afin de maintenir les conditions de sécurité d'exploitation de ces appareils.

En résumé, le SFAR 73 exige que les pilotes qui assument des fonctions de pilote commandant de bord ou d'instructeur certifié (pour l'instruction des élèves ou les vols de rafraîchissement) sur des hélicoptères Robinson R22 ou R44 (voir l'Annexe A) aient une formation et une expérience spécifiques. Le SFAR d'origine avait été publié en urgence et avait été approfondi le

26 mai 2009. La FAA est d'avis que les exigences de formation et de qualification spécifiques du SFAR 73 ont énormément contribué à réduire le nombre et les types d'accidents impliquant habituellement ces hélicoptères.

Pour étayer les dispositions du SFAR 73, la FAA a conclu ce qui suit :

[Traduction

En matière de sécurité, les avantages potentiels que confère le règlement sont la réduction du nombre d'accidents mortels d'hélicoptères Robinson résultants de manœuvres en état de quasi-apesanteur pouvant provoquer des heurts du rotor principal avec la cellule. La réduction du nombre d'accidents serait due au renforcement du niveau de sécurité lié aux exigences spécifiques relatives à la formation en vol et à la sensibilisation visant tous les utilisateurs d'hélicoptères Robinson R-22 et R-44.

Conditions d'application du Special Federal Aviation Regulation 73 (SFAR 73) au Canada

Au Canada, Transports Canada réglemente toutes les formations au pilotage d'hélicoptère et toutes les qualifications des instructeurs sur hélicoptère. En ce qui concerne les Robinson R22 et R44, Transports Canada n'a pas mis en place de règlements similaires à celui du SFAR 73 des États-Unis, et les dispositions du SFAR ne s'appliquent pas aux pilotes canadiens. Au Canada, à la différence des États-Unis où une qualification groupée est délivrée, chaque type d'hélicoptère doit être annoté individuellement sur une licence de pilote d'hélicoptère. Dans le cadre d'enquêtes antérieures⁵, le BST a fait remarquer que la procédure de délivrance des licences de Transports Canada était plus adaptée. Par contre, même si les exigences de Transports Canada concernant la formation au pilotage d'hélicoptère au Canada englobent habituellement certains éléments du SFAR 73, tous les éléments ne sont pas pris en compte.

Après l'accident, le BST a fait un sondage informel auprès d'inspecteurs de l'Aviation civile de Transports Canada et d'exploitants d'école de pilotage d'hélicoptère. Le sondage a révélé qu'il existe des différences importantes dans l'application pratique des consignes de formation de Transports Canada concernant le contenu de l'instruction au pilotage des hélicoptères R22 et R44 en rapport avec des dispositions du SFAR 73. De plus, il apparaît que dans certains cas, des pilotes canadiens d'hélicoptères Robinson n'ont pas suivi une formation en vol ou au sol similaire à celle spécifiée dans le SFAR, que ce soit récemment ou de manière générale.

⁵ Rapports du BST A05F0025 et A06P0123 et dossier du BST A06F0084.

Analyse

L'absence d'enregistreur de vol à bord de l'hélicoptère a empêché la reconstitution des événements ayant mené à l'accident.

D'après le programme de formation proposé, les objectifs de l'élève-pilote et les données du dispositif de suivi du vol, il est fort probable que l'élève-pilote a suivi le plan de formation proposé et qu'il s'exerçait à faire des virages à grande inclinaison dans la zone, lorsque l'accident s'est produit.

Les dommages à l'épave et la répartition des débris indiquent aussi que le facteur déclenchant qui a provoqué l'accident a été le heurt des pales du rotor principal avec la poutre de queue, ce qui a cisailé l'arbre de transmission du rotor de queue, la poutre de queue et le rotor de queue. Ces dommages et la perte de structure de la cellule ont été catastrophiques et ont immédiatement rendu l'hélicoptère incontrôlable.

L'enquête n'a pas révélé la cause du battement rotor excessif, et la présente analyse explore les raisons et les circonstances possibles de ce phénomène aérodynamique.

Cognement du mât

Les marques d'impact des pales du rotor principal relevées sur la poutre de queue sont caractéristiques d'un important battement rotor en vol. Souvent, ce type de heurt du rotor est le signe d'un régime rotor faible à modéré, et dans cet accident, les marques d'impact sur la poutre de queue, la proximité des composants qui se sont détachés et les dommages relevés sur les pales du rotor indiquent tous qu'un heurt du rotor a été l'événement déclencheur de la désintégration en vol et de la perte de contrôle qui a suivi.

Dans certaines circonstances, une sollicitation inappropriée des commandes peut entraîner des battements du rotor excessifs et le cognement du mât, des phénomènes annonciateurs d'un heurt du rotor avec la poutre de queue qui aboutit souvent à une désintégration en vol. À ce sujet, Robinson Helicopters a averti les pilotes des risques que comportent les manœuvres en état de quasi-apesanteur sur le R44, en précisant qu'il en résulte souvent une perte de contrôle et le cognement du mât. Le déplacement rapide des commandes de vol peut également provoquer une instabilité du rotor et induire des angles de battement excessifs du rotor.

L'examen de la cellule n'a révélé aucune anomalie mécanique qui pourrait être à l'origine du cognement du mât. L'autre facteur à prendre en compte est donc la sollicitation des commandes par l'élève-pilote. En l'absence d'enregistreur de données de vol (FDR), il n'est pas possible de connaître le régime du vol et les actions de l'élève-pilote. Il est cependant possible de faire plusieurs hypothèses, notamment :

- l'hélicoptère ne présentait aucune anomalie mécanique;
- l'hélicoptère était en bon état de fonctionnement;
- l'élève-pilote exécutait des virages à grande inclinaison.

Scénario possible de désintégration en vol

Du fait que les facteurs ci-dessus écartent la possibilité d'une cause mécanique, il est raisonnable d'avancer que l'élève-pilote a dû provoquer, par inadvertance, les conditions qui ont engendré le cognement du mât. Les manœuvres en état d'apesanteur sur le Robinson R44, ainsi que des déplacements brusques et de grande amplitude du collectif ou du cyclique, sont connues pour déclencher des battements du rotor excessifs et le cognement du mât. Plusieurs conditions de vol réunies peuvent également entraîner le cognement du mât, mais le facteur le plus plausible, dans ce cas-ci, est une manœuvre soudaine du pilote lors d'un virage à grande inclinaison. Compte tenu du centrage arrière (cyclique en avant), il se peut que l'élève-pilote n'ait pas disposé d'un grand débattement du cyclique vers l'avant.

La zone où s'est produit l'accident est réputée pour sa concentration de grands oiseaux migrateurs, et le jour de l'accident, de nombreux oiseaux ont été aperçus dans les marécages et les voies d'eau adjacentes. L'élève-pilote connaissait bien les conséquences d'une collision avec un oiseau et il avait étudié récemment les techniques pour éviter ce type de collision. Il était réputé pour être particulièrement sensibilisé aux dangers du péril aviaire.

Il est possible que l'élève-pilote ait croisé la trajectoire d'un oiseau alors qu'il s'entraînait à faire des virages à grande inclinaison. En essayant d'éviter l'oiseau, il a peut-être donné un coup de manche qui a entraîné des battements du rotor excessifs et le cognement du mât. S'il avait également abaissé le collectif ou abaissé le nez de l'hélicoptère, ou les deux, il aurait davantage été confronté aux importantes forces aérodynamiques qui mènent au cognement du mât. Une telle réaction de la part du pilote est instinctive et souvent rapide, et associée aux sollicitations des commandes et aux assiettes caractéristiques des virages à grande inclinaison, elle peut perturber le plan du rotor et réduire l'écart par rapport à la poutre de queue. De telles conditions de vol provoquent presque inévitablement le cognement du mât. Le cognement du mât en vol est souvent une situation qu'on ne peut pas corriger et qui s'avère catastrophique, soit en raison des dommages au mât, soit en raison d'un contact des pales avec le fuselage. Dans un cas comme dans l'autre, l'issue est fatale.

Formation au pilotage et expérience des pilotes d'hélicoptères R22 et R44 au Canada

Le SFAR 73 des États-Unis prévoit des exigences minimales concernant les pilotes d'hélicoptères R22 et R44 (commandants de bord, élèves-pilotes et instructeurs). Ce règlement impose des critères de formation et d'expérience spécifiques aux titulaires de licence des États-Unis, car certaines caractéristiques aérodynamiques et de conception de l'hélicoptère s'accompagnent de caractéristiques de vol particulières, qui exigent une conscience et une rapidité de réaction exceptionnelles de la part du pilote. Lorsque le règlement SFAR 73 est entré en vigueur aux États-Unis, le nombre de désintégrations en vol a considérablement chuté, ce qui donne à penser que les dispositions du SFAR 73 améliorent la sécurité des vols.

Se contenter de sensibiliser les pilotes d'hélicoptères aux vulnérabilités du R22 et du R44, lesquelles sont énoncées dans le SFAR 73, ne permet pas de minimiser les risques de perte de contrôle en vol (découlant de manœuvres en état de quasi-apesanteur ou du cognement du mât par exemple) liés à ces hélicoptères. Même si les exigences canadiennes relatives à la délivrance des licences sont plus normatives, on peut raisonnablement penser que des pilotes canadiens de R22 et de R44 pourraient perdre le contrôle de leur appareil en vol s'ils ne sont pas sensibilisés aux problèmes soulevés dans le SFAR 73 des États-Unis et formés pour y faire face.

L'enquête a donné lieu aux rapports de laboratoire du BST suivants :

LP 119/2009 - *Examination of Fan Assembly* (Examen du ventilateur);

LP 151/2009 - *Crankshaft Examination* (Examen du vilebrequin);

LP 152/2009 - *Examination of Rotor Blades* (Examen des pales de rotor).

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

Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs

1. À la suite d'une manœuvre en vol qui n'a pas été déterminée, les pales du rotor principal ont heurté la poutre de queue de l'hélicoptère.
2. Les pales ont sectionné la poutre de queue et le rotor de queue, ce qui a provoqué une désintégration en vol qui a rendu l'hélicoptère incontrôlable.

Faits établis quant aux risques

1. Les vols à basse altitude exécutés dans des secteurs réputés pour la présence d'oiseaux migrateurs augmentent les risques de collision avec un oiseau et nécessitent un très haut niveau d'attention et de prudence.
2. Si les pilotes canadiens d'hélicoptères R22 et R44 ne sont pas sensibilisés aux problèmes soulevés dans le Special Federal Aviation Regulation 73 (SFAR 73) des États-Unis et formés pour y faire face, certains de ces pilotes pourraient perdre le contrôle de leur appareil en vol à la suite de manœuvres en état de quasi-apesanteur ou à la suite du cognement du mât.

Autre fait établi

1. Il se peut qu'au cours d'une manœuvre pour éviter un oiseau, l'élève-pilote ait dépassé l'angle de battement de pale nominal et provoqué le cognement du mât de l'hélicoptère.

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 22 juillet 2010.

Visitez le site Web du BST (www.bst-tsb.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.

Annexe A – Résumé du Special Federal Aviation Regulation 73 (SFAR 73) des États-Unis

[Traduction]

Special Federal Aviation Regulation 73 – Exigences spéciales relatives à la formation et à l'expérience des pilotes de Robinson R22 et R44

Le Special Federal Aviation Regulation (SFAR) 73 s'applique à toutes les personnes appelées à piloter un hélicoptère Robinson R22 ou R44 ou à piloter l'appareil en qualité de commandant de bord. Les exigences répertoriées dans ce SFAR s'ajoutent aux exigences actuelles de la Partie 61 (part 61) et énoncent les critères à respecter en matière de formation, d'expérience aéronautique, d'annotation et de vol de rafraîchissement.

Voici quelques exigences du SFAR applicables au R44 :

(a) Formation visant à sensibiliser le pilote :

- 1) Le pilote doit suivre une *formation de sensibilisation* spécifique (voir l'élément 3) ci-dessous);
- 2) Le pilote doit posséder une *expérience aéronautique* spécifique (voir le paragraphe (b) ci-dessous);
- 3) La formation de sensibilisation doit porter sur les aspects généraux suivants :
 - (i) gestion de l'énergie;
 - (ii) cognement du mât;
 - (iii) faible régime rotor (décrochage des pales);
 - (iv) dangers liés aux faibles facteurs de charge;
 - (v) diminution rapide du régime rotor.

(b) Expérience aéronautique :

- 1) Le pilote commandant de bord d'un R44 doit satisfaire aux conditions ci-dessous :
 - (i) totaliser au moins 200 heures de vol sur hélicoptère, dont au moins 50 heures sur le R44 (le pilote peut inclure jusqu'à 25 heures de vol sur le R22 dans ce quota de 50 heures); ou
 - (ii) totaliser au moins 10 heures d'instruction en double commande sur un hélicoptère Robinson, dont au moins 5 heures doivent avoir été effectuées sur R44. Le pilote doit avoir reçu la formation exigée et avoir acquis les connaissances nécessaires pour piloter en qualité de commandant de bord d'un R44. L'instruction en double commande doit au moins inclure les procédures en cas de situations anormales et d'urgence ci-dessous :
 - (a) formation de perfectionnement sur les procédures d'autorotation;
 - (b) contrôle du régime rotor moteur sans utiliser le régulateur;
 - (c) reconnaissance du faible régime rotor et rétablissement;
 - (d) effets des manœuvres à faible facteur de charge et procédures de rétablissement appropriées.

2) L'élève-pilote non titulaire d'une licence de pilote d'hélicoptère doit avoir effectué au moins 20 heures d'instruction en double commande sur R44 avant de faire un vol en solo sur cet hélicoptère, et avoir obtenu l'autorisation écrite d'un instructeur certifié. L'instruction en double commande doit au moins inclure les éléments de formation en vol aux procédures en cas de situations anormales et d'urgence présentés ci-dessous :

- (i) formation de perfectionnement sur les procédures d'autorotation;
- (ii) contrôle du régime rotor moteur sans utiliser le régulateur;
- (iii) reconnaissance du faible régime rotor et rétablissement;
- (iv) effets des manœuvres à faible facteur de charge et procédures de rétablissement appropriées.

3) Pour pouvoir dispenser de l'instruction ou superviser un vol de rafraîchissement sur un hélicoptère Robinson R44, les instructeurs doivent satisfaire aux exigences ci-dessous :

- (i) avoir suivi la formation de sensibilisation précisée par ce SFAR;
- (ii) dans le cas du Robinson R44, totaliser au moins 200 heures de vol sur hélicoptère, dont au moins 50 heures sur hélicoptère Robinson. Le pilote peut inclure jusqu'à 25 heures de vol sur le R22 dans ce quota de 50 heures;
- (iii) avoir suivi une formation en vol sur un hélicoptère Robinson R22 ou R44, ou sur les deux, consacrée aux procédures en cas de situations anormales et d'urgence et incluant les points suivants :
 - (a) formation de perfectionnement sur les procédures d'autorotation;
 - (b) contrôle du régime rotor moteur sans utiliser le régulateur;
 - (c) reconnaissance du faible régime rotor et rétablissement;
 - (d) effets des manœuvres à faible facteur de charge et procédures de rétablissement appropriées.
- (iv) posséder une annotation confirmant que les exigences relatives à la formation et à l'expérience énoncées dans ce SFAR ont été satisfaites.

(c) Vol de rafraîchissement :

- (1) Le vol de rafraîchissement doit avoir été effectué sur un hélicoptère R44;
- (2) Le vol de rafraîchissement doit inclure la formation de sensibilisation et la formation en vol précisées dans ce SFAR.

(d) Exigences relatives au maintien des compétences :

Il est interdit de piloter en qualité de commandant de bord un hélicoptère Robinson R44 transportant des passagers à moins de satisfaire aux exigences de mise à jour des connaissances énoncées dans la Partie 61.57 du Titre 14 du *Code of Federal Regulations* (14 CFR part 61.57).