

RAPPORT D'ENQUÊTE SUR UN ÉVÉNEMENT AÉRONAUTIQUE  
A0100099

PERTE DE CONTRÔLE—IMPACT AVEC LE RELIEF

CANADIAN HELICOPTERS LIMITED  
ROBINSON R22 BETA (HÉLICOPTÈRE) C-GVAR  
10 NM AU NORD-OUEST DE L'AÉROPORT MUNICIPAL  
DE TORONTO-BUTTONVILLE (ONTARIO)  
4 AVRIL 2001

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

## Rapport d'enquête sur un événement aéronautique

### Perte de contrôle—Impact avec le relief

Canadian Helicopters Limited  
Robinson R22 Beta (hélicoptère) C-GVAR  
10 NM au nord-ouest de  
l'aéroport municipal de Toronto-Buttonville (Ontario)  
4 avril 2001

Rapport numéro A01O0099

### *Sommaire*

L'hélicoptère Robinson R22 Beta, numéro de série 2110, ayant un instructeur et un élève-pilote à bord, effectuait un vol d'entraînement de jour selon les règles de vol à vue, à 20 milles marins au nord de l'aéroport municipal de Toronto-Buttonville (Ontario). Après 45 minutes d'exercices d'autorotation, l'hélicoptère a pris un cap pour retourner à l'aéroport, l'élève-pilote aux commandes. À 1700 pieds au-dessus du sol (agl), l'instructeur a simulé une panne moteur. L'élève-pilote a choisi un champ et exécute une approche pour un atterrissage forcé. À 40 pieds agl, il a commencé à faire son arrondi en tirant sur le manche cyclique. À mesure que la descente se poursuivait, l'hélicoptère se rapprochait de grands arbres situés à l'extrémité du terrain choisi, et l'élève-pilote a tiré énergiquement sur le collectif. À ce moment, l'instructeur a remis les gaz pour entamer un rétablissement ; toutefois, le régime rotor du moteur était faible et le moteur n'a pas réagi à la commande. La descente n'a pu être arrêtée, et l'hélicoptère a percuté le sol. L'extrémité du patin gauche a labouré le sol à demi gelé, et l'hélicoptère a basculé vers l'avant sur le côté droit. Les deux pilotes ont évacué l'hélicoptère par la porte de gauche. Aucun des pilotes n'a été blessé, mais l'hélicoptère a subi des dommages importants. L'accident s'est produit à 10 h 40, heure avancée de l'Est.

*This report is also available in English.*

## *Autres renseignements de base*

L'hélicoptère Robinson R22 Beta, construit en 1992, avait totalisé 4699 heures de vol. L'hélicoptère était équipé pour le vol à vue, et l'exploitant l'utilisait principalement comme hélicoptère d'entraînement de base. Les dossiers indiquent que l'hélicoptère était équipé, entretenu et certifié conformément à la réglementation existante et aux procédures approuvées. Il n'y avait aucune défectuosité connue avant le vol. La masse et le centrage de l'hélicoptère se situaient dans les limites approuvées.

Le pilote instructeur était titulaire d'une licence canadienne valide de pilote d'hélicoptère de ligne pour hélicoptères BH04, BH06, BH47, HU50, RH22, S350 et SK76. Il était titulaire d'une qualification d'instructeur de classe 2 et d'une qualification aux instruments de groupe 4. Il avait totalisé plus de 8950 heures de vol sur hélicoptère, dont environ 1800 sur Robinson R22 Beta. Au cours des 90 derniers jours, il avait volé pendant 90 heures, dont 35 heures au cours des 30 derniers jours.

L'élève-pilote était titulaire d'un permis canadien d'élève-pilote d'hélicoptère. Il avait totalisé 20 heures de vol, toutes sur Robinson R22 Beta. Il avait effectué ses 20 heures de vol au cours des 90 derniers jours avant l'accident, dont 10 heures au cours des 30 derniers jours.

À 10 h, heure avancée de l'Est<sup>1</sup>, les conditions météorologiques signalées à l'aéroport municipal de Toronto-Buttonville étaient les suivantes : ciel dégagé, visibilité supérieure à 12 milles terrestres, température de 8 °C, point de rosée de -3 °C, vent du 350° vrais à 6 nœuds et calage altimétrique de 30,38 pouces de mercure.

Le *Manuel de pilotage sur hélicoptère*, TP9982F, de Transports Canada décrit une autorotation comme un vol dans lequel le rotor est entraîné par les forces aérodynamiques sans que le moteur ne fournisse de puissance. Pendant une autorotation, un hélicoptère vole toujours. Il demeure entièrement manoeuvrable, mais le vol se fait en descente. L'écoulement aérodynamique traverse le disque rotor vers le haut plutôt que vers le bas comme dans un vol motorisé. L'importance de l'écoulement aérodynamique arrivant par le bas sur le taux de descente est fonction de la vitesse de l'hélicoptère. Une autorotation réussie exige que l'altitude, la vitesse et le régime du rotor principal soient coordonnés. L'énergie cinétique du disque rotor en rotation ralentit et finit par arrêter la descente. Un des facteurs clés qui influencent la quantité d'énergie fournie par le rotor principal est la quantité d'air qui traverse le disque. Comme pour n'importe quel plan aérodynamique, le fait de dépasser les angles d'attaque critiques des pales peut mener à un décrochage aérodynamique. Par conséquent, il faut maintenir le régime rotor à l'intérieur de paramètres acceptables pendant l'autorotation.

Le manuel de pilotage du Robinson R22 décrit la procédure recommandée pour exécuter une autorotation :

- 1) abaisser immédiatement le collectif pour maintenir le régime rotor et entrer en autorotation normale ;
- 2) s'établir dans un plané uniforme à environ 65 KIAS ;
- 3) régler le collectif pour que le régime rotor demeure dans l'arc vert ;

---

<sup>1</sup> Toutes les heures sont des heures avancées de l'Est (temps universel coordonné moins quatre heures)

- 4) choisir une aire d'atterrissage et, si l'altitude le permet, manœuvrer pour se poser dans le vent ;
- 5) à 40 pi agl, commencer l'arrondi au cyclique pour réduire le taux de descente et la vitesse vers l'avant ;
- 6) à 8 pi agl, pousser sur le cyclique pour mettre l'hélicoptère à l'horizontale, puis relever le collectif avant la prise de terrain pour amortir l'atterrissage. Se poser à l'horizontale le nez droit devant.

Le rotor principal de l'hélicoptère Robinson R22 est considéré comme un " système rotor à faible inertie ". Cela signifie que ce type de rotor a tendance à consommer rapidement l'énergie emmagasinée, ce qui mène à la chute du régime rotor et, de là, au décrochage aérodynamique du système rotor. La Robinson Helicopter Company a publié le *Safety Notice* SN-24 (voir l'annexe A-1 et A-2), intitulé « *Low RPM Rotor Stall Can Be Fatal* » (le décrochage d'un rotor à faible régime peut être mortel) en septembre 1986. L'avis affirme qu'un pourcentage très élevé d'accidents est causé par le décrochage du rotor à la suite d'un faible régime du rotor principal.

Le *Robinson R22 Pilot Operating Handbook* (Manuel de pilotage du Robinson R22) précise qu'un klaxon d'avertissement se fait entendre et qu'un voyant jaune s'allume pour indiquer que le régime du rotor est inférieur aux limites de sécurité. Le klaxon s'arrête et le voyant s'éteint lorsque le régime du rotor augmente aux limites de sécurité ou que le levier du collectif est complètement abaissé. L'arc vert dénotant un fonctionnement dans la plage de sécurité du régime du rotor principal se situe entre 97 et 104 %. Le klaxon d'avertissement et le voyant jaune entrent en action à un régime de 97 %. La zone de « danger » sur l'indicateur de régime se trouve à 90 % et elle est indiquée par une ligne rouge. Le danger que représente un faible régime rotor qui risque d'aboutir à un décrochage aérodynamique du rotor principal pendant une autorotation est traité pendant la formation au sol, mais il n'est pas exigé comme élément de révision au cours de l'exposé prévol.

Lorsque l'instructeur a induit une simulation de panne moteur pour l'élève-pilote, le terrain choisi par ce dernier était loin d'être idéal. Le champ était inégal et présentait une pente montante de 4° à l'ouest et de 6° à l'est. La trajectoire du vol en autorotation suivait une ligne d'ouest en est, et de nombreux grands arbres se trouvaient à l'extrémité est du terrain. L'instructeur a vu que l'endroit ne convenait pas, mais il a jugé sûr de poursuivre l'exercice. Il avait prévu de faire exécuter par l'élève-pilote un rétablissement au moteur pour qu'il se mette en stationnaire et de profiter de l'occasion pour indiquer à l'élève-pilote pourquoi l'endroit choisi ne convenait pas.

Alors que l'hélicoptère s'approchait des 40 pieds agl, l'élève-pilote a commencé à tirer sur le cyclique pour amorcer son arrondi et éliminer l'excès de vitesse de translation. Lorsque l'élève-pilote s'est aperçu qu'il s'approchait des arbres situés à l'extrémité est du terrain, il a commencé à relever énergiquement le collectif et à tirer sur le cyclique pour éviter les arbres. C'est à ce moment que le klaxon de faible régime rotor s'est fait entendre. L'instructeur a remis les gaz, mais le moteur n'a pas réagi. À environ 30 pieds agl, le régime du rotor se trouvait à moins de 50 % et il continuait à diminuer.

La radiobalise de repérage d'urgence s'est déclenchée immédiatement. On l'a retrouvée montée à l'intérieur de l'hélicoptère, l'interrupteur sur la position ARM et l'antenne autonome rentrée. Les marques laissées au sol par l'impact initial des patins de l'hélicoptère indiquaient que l'hélicoptère était orienté sur un cap d'environ 40 degrés magnétiques. Le sillon laissé par l'épave était d'une longueur de 40 mètres sur un cap de 320° magnétiques. La poutre de queue avait été sectionnée par la pale reculante du rotor principal et projetée à 25 mètres au nord du lieu de l'écrasement principal. La pale avançante du rotor principal a labouré le sol quand l'hélicoptère pivotait vers l'avant et elle s'est repliée à -85°. Aucune des pales ne s'est séparée du mât rotor.

L'intégrité structurale de l'habitacle n'a pas été compromise ; par contre, les pare-brise droit et gauche ainsi que la fenêtre de la porte de droite ont été brisés. L'examen de l'épave révèle que le rotor principal et le rotor de queue développaient peu d'énergie au moment de l'impact. La continuité de la chaîne dynamique et des chaînes cinématiques a été confirmée. Il n'y avait aucun signe de défaillance de la cellule ni de défektivité de système de l'hélicoptère avant impact.

Les deux pilotes n'ont pas été blessés dans l'écrasement et ils portaient leur ceinture de sécurité et leur baudrier ainsi que des casques de vol.

## *Analyse*

Le rotor d'un hélicoptère dont le système rotor présente une faible inertie perd rapidement de l'énergie lorsque le collectif est tiré et que le moteur ne développe pas suffisamment de puissance. Sans mesure corrective, cette situation mène à un décrochage aérodynamique des pales du rotor. À mesure que s'enfonçait l'hélicoptère accidenté, l'air qui se déplaçait vers le haut a continué à augmenter l'angle d'attaque des pales du rotor qui tournait lentement, rendant à toutes fins utiles impossible le rétablissement, même si le collectif avait été entièrement abaissé. Lorsque le klaxon de faible régime rotor s'est fait entendre et qu'il y a eu remise des gaz, le moteur n'a pas réagi parce que le rotor principal avait complètement décroché. La traînée aérodynamique induite par les pales du rotor en décrochage a agi comme un frein, réduisant encore plus le régime rotor. À cause de la faible altitude, les pilotes n'ont pas été en mesure de reprendre l'hélicoptère avant qu'il ne percute le sol.

Le *Guide d'instructeur au pilotage - Hélicoptère*, TP4818F, de Transports Canada souligne les précautions à prendre lors d'une autorotation. Il indique aux instructeurs que cet exercice ne devrait être exécuté qu'à des endroits reconnus sûrs et convenables pour un atterrissage. Dans la mesure du possible, il faut utiliser un endroit où des installations d'intervention d'urgence sont disponibles. Le guide mentionne aussi une loi de l'apprentissage : on peut améliorer la qualité de l'apprentissage en ayant recours à des situations dramatiques, réalistes ou imprévues (la loi de l'intensité). L'instructeur a voulu approfondir la compréhension qu'avait l'élève-pilote d'un lieu d'atterrissage d'urgence inapproprié ; cependant, il a laissé l'exercice se poursuivre au-delà du point où un rétablissement pouvait être exécuté en toute sécurité.

## *Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs*

1. Au cours d'un exercice aux autorotations, le pilote a laissé le régime du rotor principal de l'hélicoptère diminuer sous les limites de sécurité, ce qui mené à un décrochage aérodynamique des pales du rotor principal.
2. Le pilote instructeur a laissé l'élève-pilote s'exercer à une approche et à une autorotation forcées dans un endroit qui ne convenait pas à l'exercice.

## *Faits établis quant aux risques*

1. Avant l'exercice, l'instructeur n'a pas suffisamment insisté sur les dangers d'un faible régime du rotor principal et sur les décrochages de pales rotor.

*Le présent rapport met fin à l'enquête du Bureau de la sécurité des transports sur cet accident. Le Bureau a autorisé la publication du rapport le 10 avril 2002.*

**ROBINSON**  
HELICOPTER COMPANY

---

**Safety Notice SN-24**

Issued: Sep 86 Rev: Jun 94

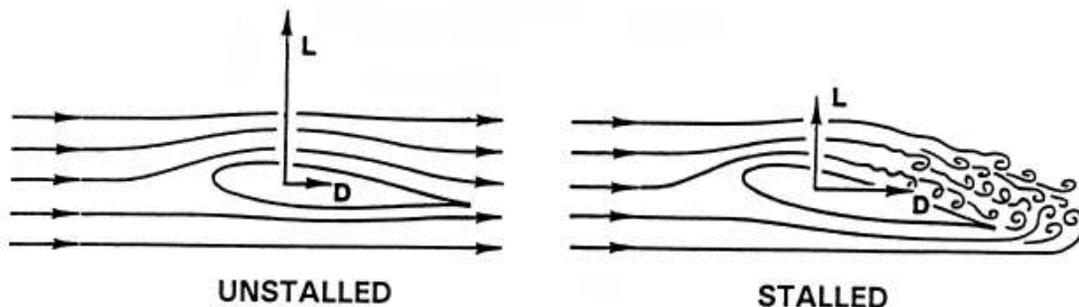
LOW RPM ROTOR STALL CAN BE FATAL

Rotor stall due to low RPM causes a very high percentage of helicopter accidents, both fatal and non-fatal. Frequently misunderstood, rotor stall is not to be confused with retreating tip stall which occurs only at high forward speeds when stall occurs over a small portion of the retreating blade tip. Retreating tip stall causes vibration and control problems, but the rotor is still very capable of providing sufficient lift to support the weight of the helicopter.

Rotor stall, on the other hand, can occur at any airspeed and when it does, the rotor stops producing the lift required to support the helicopter and the aircraft literally falls out of the sky. Fortunately, rotor stall accidents most often occur close to the ground during takeoff or landing and the helicopter falls only four or five feet. The helicopter is wrecked but the occupants survive. However, rotor stall also occurs at higher altitudes and when it happens at heights above 40 or 50 feet AGL it is most likely to be fatal.

Rotor stall is very similar to the stall of an airplane wing at low airspeeds. As the airspeed of an airplane gets lower, the nose-up angle, or angle-of-attack, of the wing must be higher for the wing to produce the lift required to support the weight of the airplane. At a critical angle (about 15 degrees), the airflow over the wing will separate and stall, causing a sudden loss of lift and a very large increase in drag. The airplane pilot recovers by lowering the nose of the airplane to reduce the wing angle-of-attack below stall and adds power to recover the lost airspeed.

The same thing happens during rotor stall with a helicopter except it occurs due to low rotor RPM instead of low airspeed. As the RPM of the rotor gets lower, the angle-of-attack of the rotor blades must be higher to generate the lift required to support the weight of the helicopter. Even if the collective is not raised by the pilot to provide the higher blade angle, the helicopter will start to descend until the



Wing or rotor blade unstalled and stalled.

*Annexe A-1* (Ce document n'existe pas en français)

*Annexe A-2*

**ROBINSON**  
**HELICOPTER COMPANY**

---

Safety Notice SN-24 (continued)

upward movement of air to the rotor provides the necessary increase in blade angle-of-attack. As with the airplane wing, the blade airfoil will stall at a critical angle, resulting in a sudden loss of lift and a large increase in drag. The increased drag on the blades acts like a huge rotor brake causing the rotor RPM to rapidly decrease, further increasing the rotor stall. As the helicopter begins to fall, the upward rushing air continues to increase the angle-of-attack on the slowly rotating blades, making recovery virtually impossible, even with full down collective.

When the rotor stalls, it does not do so symmetrically because any forward airspeed of the helicopter will produce a higher airflow on the advancing blade than on the retreating blade. This causes the retreating blade to stall first, allowing it to dive as it goes aft while the advancing blade is still climbing as it goes forward. The resulting low aft blade and high forward blade become a rapid aft tilting of the rotor disc sometimes referred to as "rotor blow-back". Also, as the helicopter begins to fall, the upward flow of air under the tail surfaces tends to pitch the aircraft nose-down. These two effects, combined with aft cyclic by the pilot attempting to keep the nose from dropping, will frequently allow the rotor blades to blow back and chop off the tailboom as the stalled helicopter falls. Due to the magnitude of the forces involved and the flexibility of rotor blades, rotor teeter stops will not prevent the boom chop. The resulting boom chop, however, is academic, as the aircraft and its occupants are already doomed by the stalled rotor before the chop occurs.