

RAPPORT D'ENQUÊTE SUR ACCIDENT AÉRONAUTIQUE

IMPACT SANS PERTE DE CONTRÔLE

**KEEWATIN AIR LIMITED
SWEARINGEN MERLIN II C-FFYC
THOMPSON (MANITOBA)
1er JUIN 1994**

RAPPORT NUMÉRO A94C0088

MISSION DU BST

La Loi sur le Bureau canadien d'enquête sur les accidents de transport et de la sécurité des transports établit les paramètres légaux qui régissent les activités du BST. La mission du BST consiste essentiellement à promouvoir la sécurité du transport maritime, par productoduc, ferroviaire et aérien:

- en procédant à des enquêtes indépendantes et, au besoin, à des enquêtes publiques sur les événements de transport, afin d'en dégager les causes et les facteurs;
- en publiant des rapports rendant compte de ses enquêtes, publiques ou non, et en présentant les conclusions qu'il en tire;
- en constatant les manquements à la sécurité mis en évidence par de tels accidents;
- en formulant des recommandations sur les moyens d'éliminer ou de réduire ces manquements;
- en menant des enquêtes et des études spéciales en matière de sécurité des transports.

Le Bureau n'est pas habilité à attribuer ni à déterminer les responsabilités civiles ou pénales. Ses conclusions doivent toutefois être complètes, quelles que soient les inférences qu'on puisse en tirer à cet égard.

INDÉPENDANCE

Pour que le public puisse faire confiance au processus d'enquête sur les accidents de transport, il est essentiel que l'organisme d'enquête soit indépendant et libre de tout conflit d'intérêt et qu'il soit perçu comme tel lorsqu'il mène des enquêtes sur les accidents, constate des manquements à la sécurité et formule des recommandations en matière de sécurité. La principale caractéristique du BST est son indépendance. Il relève du Parlement par l'entremise du président du Conseil privé de la Reine pour le Canada et il est indépendant de tout autre ministère ou organisme gouvernemental. Cette indépendance assure l'objectivité de ses conclusions et recommandations.



Le Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) a enquêté sur cet accident 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 sur accident aéronautique

Impact sans perte de contrôle

Keewatin Air Limited
Swearingen Merlin II C-FFYC
Thompson (Manitoba)
1er juin 1994

Rapport numéro A94C0088

Résumé

Le Swearingen Merlin II retournait à Thompson après avoir effectué un vol d'évacuation médicale (MEDEVAC) entre Coral Harbour (Territoires du Nord-Ouest) et Churchill (Manitoba). Après avoir été autorisé à effectuer une approche alignement de piste arrière sur l'aéroport de Thompson, l'avion est descendu au-dessous de l'altitude minimale de passage à la verticale du radiophare, il a heurté le pylône du radiophare non directionnel (NDB) Hotel, les ailes à l'horizontale, et il s'est écrasé. Les deux membres d'équipage ont subi des blessures mortelles; l'infirmier a été grièvement blessé.

Le Bureau a déterminé que l'équipage de conduite a écarté son attention de la surveillance de l'altitude pendant l'approche alignement de piste arrière et a laissé l'avion descendre au-dessous d'un palier obligatoire. Les facteurs suivants ont contribué à l'accident : l'équipage n'a pas respecté les procédures d'approche publiées; il a mal surveillé l'approche; du brouillard localisé s'est formé rapidement; le pilote était probablement fatigué.

This report is also available in English.

Table des matières

	Page
1.0 Renseignements de base	1
1.1 Déroulement du vol	1
1.2 Victimes	2
1.3 Dommages à l'aéronef	2
1.4 Autres dommages	2
1.5 Renseignements sur le personnel	3
1.5.1 Le commandant de bord	3
1.5.2 Le copilote	3
1.5.3 L'infirmier	4
1.6 Renseignements sur l'aéronef	4
1.6.1 Généralités	5
1.6.2 Altimètres	5
1.6.3 Avertisseur d'altitude	6
1.6.4 Radioaltimètre	6
1.6.5 Système d'intercommunication	7
1.7 Renseignements météorologiques	8
1.8 Aides à la navigation	8
1.8.1 NDB Hotel	8
1.8.2 Faisceau d'alignement de piste ILS	8
1.8.3 Équipement GPS à bord	9
1.9 Télécommunications	9
1.10 Renseignements sur l'aérodrome	10
1.11 Enregistreurs de bord	10
1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact	10
1.12.1 Généralités	10
1.12.2 Examen de l'épave	11
1.12.3 Examen des hélices	12
1.12.4 Examen des instruments	12
1.13 Renseignements médicaux	13
1.13.1 Analyses toxicologiques	13
1.13.2 Vigilance, fatigue et sécurité aérienne	13
1.14 Incendie	14
1.15 Questions relatives à la survie des occupants	15
1.15.1 Généralités	15
1.15.2 Intervention d'urgence	15
1.16 Renseignements supplémentaires	16
1.16.1 Généralités sur les MEDEVAC	16

1.16.2	Temps de vol et périodes minimales de repos	16
1.16.3	Profil de descente de l'avion	17
1.16.4	Procédures d'approche aux instruments	18
1.16.5	Surveillance de l'altitude	18
2.0	Analyse	19
2.1	Introduction	19
2.2	Radioaltimètre	19
2.3	Surveillance de l'altitude	19
2.4	Conditions météorologiques	20
2.5	Fatigue	21
3.0	Conclusions	23
3.1	Faits établis	23
3.2	Causes	24
4.0	Mesures de sécurité	25
4.1	Mesures prises	25
4.1.1	Mesures prises par l'exploitant	25
4.1.2	Révision de la réglementation sur les heures de vol et de service	25
4.1.3	Impact sans perte de contrôle (CFIT)	26
4.2	Mesures à prendre	26
4.2.1	Systèmes d'alarme sonore	26
4.3	Préoccupations liées à la sécurité	27
4.3.1	Accidents CFIT mettant en cause des vols MEDEVAC	27
5.0	Annexes	
	Annexe A - Liste des rapports pertinents	29
	Annexe B - Sigles et abréviations	31
Figures		
	Figure 1 - Altimètre à tambour et aiguille	5
	Figure 2 - Altimètre à trois aiguilles	5

1.0 Renseignements de base

1.1 Déroulement du vol

L'équipage du biturbopropulseur venait juste de terminer un vol d'évacuation médicale (MEDEVAC)¹ entre Coral Harbour (Territoires du Nord-Ouest) et Churchill (Manitoba). À 22 h 57, heure avancée du Centre (HAC)², l'avion est parti de Churchill pour effectuer un vol de nuit selon les règles de vol aux instruments (IFR) à destination de sa base située à Thompson (Manitoba). La partie en route de l'étape de retour s'est déroulée à 18 000 pieds-mer.

Environ une heure après le décollage, l'avion a entrepris l'approche sur l'aéroport de Thompson. L'équipage a gardé le contact radio avec le personnel du contrôle de la circulation aérienne (ATC) jusqu'aux environs de 23 h 59 HAC.

Juste après minuit (0 h 1 HAC), le radiophare non directionnel (NDB) Hotel, qui est situé à 3,4 milles au nord-est de l'aéroport de Thompson, a cessé d'émettre. Quatre-vingt-dix minutes plus tard, le satellite de recherche et sauvetage (SARSAT) a capté le signal d'une radiobalise de détresse (ELT) au nord-est de l'aéroport. Un membre du personnel de l'aéroport de Thompson, qui avait été envoyé à l'endroit où se trouve le radiophare de navigation qui était alors défectueux, a découvert l'épave de l'avion qui s'était écrasé sur l'émetteur NDB. L'intervention d'urgence a été amorcée par divers responsables de l'aéroport et de la localité.

L'accident s'est produit de nuit à 0 h 1 HAC le 1^{er} juin 1994, par 55° 50' de latitude Nord et 097° 46' de longitude Ouest³.

1.2 Victimes

	Équipage	Passagers	Tiers	Total
Tués	2	-	-	2
Blessés graves	-	1	-	1
Blessés légers/ indemnes	-	-	-	-

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

² Les heures sont exprimées en HAC (temps universel coordonné [UTC] moins cinq heures) sauf indication contraire.

³ Les unités correspondent à celles des manuels officiels, des documents, des rapports et des instructions utilisés ou reçus par l'équipage.

Total	2	1	-	3
-------	---	---	---	---

1.3 Dommages à l'aéronef

L'aile et le moteur droits de l'avion ont d'abord heurté le bâti de l'antenne du NDB Hotel et deux de ses haubans. L'avion a poursuivi sa course et a heurté un autre pylône d'antenne associé au transpondeur de référence d'orientation et de portée à position ajustable (PARROT). Ce système est conçu pour recevoir des signaux d'interrogation du radar secondaire de surveillance provenant des transpondeurs d'aéronef, et il fait partie intégrante du Programme de modernisation des radars (RAMP) de Transports Canada. L'antenne PARROT avait récemment été montée à l'emplacement du NDB, mais elle ne fonctionnait pas au moment de l'accident. Après avoir heurté les deux pylônes, l'avion a heurté le sol et a été détruit.

1.4 Autres dommages

Les systèmes du pylône NDB Hotel et de l'antenne PARROT ont été endommagés à l'impact. Des arbres feuillus ont également subi des dommages légers.

1.5 Renseignements sur le personnel

	Commandant de bord	Copilote
Âge	50 ans	29 ans
Licence	pilote de ligne	pilote de ligne
Date d'expiration du certificat de validation	1er déc 1995	1er juin 1995
Nombre d'heures de vol	20 000+	3 700
Nombre d'heures de vol sur type en cause	3 160	375
Nombre d'heures de vol dans les 90 derniers jours	140	178
Nombre d'heures de vol sur type en cause dans les 90 derniers jours	140	140

	Commandant de bord	Copilote
Nombre d'heures de service avant l'événement	9	9
Nombre d'heures libres avant la prise de service	72+	15

1.5.1 *Le commandant de bord*

Le commandant de bord était un pilote de ligne qualifié dont les compétences sur le Merlin II étaient à jour. Il totalisait plus de 20 000 heures de vol dont presque toutes avaient été effectuées dans les régions désolées du nord de l'Ontario, au Manitoba et dans les Territoires du Nord-Ouest. Il travaillait pour la compagnie depuis deux ans et demi, et il venait d'être promu au poste de chef pilote adjoint. Deux mois avant l'accident, il avait été muté de la base de Rankin Inlet (Territoires du Nord-Ouest) à la base de Thompson. Il avait effectué plus de 3 000 heures de vol dans le cadre de missions MEDEVAC sur le Merlin II.

Il était en place droite au moment de l'accident, et il remplissait les fonctions du pilote qui n'est pas aux commandes.

1.5.2 *Le copilote*

Le copilote était en place gauche au moment de l'accident. Il était titulaire d'une licence de pilote de ligne valide. Il avait subi une vérification de compétence pilote (PPC) sur le Merlin II, et il était qualifié comme copilote sur ce type d'avion. De plus, il était qualifié comme commandant de bord sur Piper Navajo, Piper Seneca, Britten Norman Islander et Beechcraft Baron. Il totalisait 3 700 heures de vol environ, dont 375 sur le Merlin. La majeure partie de ces heures de vol avaient été effectuées en place droite comme copilote. Les dossiers indiquent qu'il n'avait effectué que trois heures de vol en place gauche sur le Merlin.

Il avait été question qu'en juin 1994 il subisse l'épreuve pour devenir commandant de bord de relève sur Merlin II.

1.5.3 *L'infirmier*

Un infirmier diplômé du ministère de la Santé du Manitoba qui travaillait pour la compagnie était à bord de l'avion au moment de l'accident. Son travail consistait à donner les soins médicaux essentiels aux patients pendant le transport. Pendant l'étape de retour du vol d'évacuation, il n'y avait pas de patients à bord de l'avion, et l'infirmier se reposait dans la cabine au moment de l'accident.

1.6 *Renseignements sur l'aéronef*

Constructeur	Swearingen Aviation Corp.
Type	SA26T Merlin II
Année de construction	1969

Numéro de série	T26-36
Certificat de navigabilité	valide
Nombre total d'heures de vol cellule	12 633,7
Type de moteur (nombre)	Pratt & Whitney PT6A-34 (2)
Type d'hélice (nombre)	Hartzell HC-B3TN-3D (2)
Masse maximale autorisée au décollage	9 868 lb
Type(s) de carburant recommandé(s)	Jet A, Jet B, P50, DFA, essence aviation
Type de carburant utilisé	Jet B

1.6.1 Généralités

L'entretien de l'avion était fait toutes les 200 heures conformément à un programme de maintenance progressif comportant une inspection A, B, C et D toutes les 50 heures. La dernière inspection avait été une inspection C qui avait été faite le 18 mai 1994 à 12 587 heures cellule. Lors de cette inspection, l'horizon artificiel du copilote et le régulateur de tension de droite avaient été changés et les générateurs avaient été équilibrés.

L'examen des livrets techniques de l'avion a révélé que l'avion ne présentait aucune anomalie signalée et que l'avion avait été déclaré en état de navigabilité au début du vol entre Churchill et Thompson.

L'avion était aménagé pour effectuer des vols MEDEVAC. L'avion était équipé de l'équipement médical essentiel, de plusieurs civières pour les patients et de sièges pour un infirmier navigant et pour les personnes qui accompagnent les patients.

La masse et le centrage de l'avion étaient dans les limites prescrites.

1.6.2 Altimètres

L'avion était équipé d'un altimètre du côté gauche du tableau de bord qui présentait un affichage combiné de type général à compteurs à tambour et à aiguille comme le montre la figure 1. Les altitudes essentielles sont présentées au pilote sous la forme d'un affichage numérique correspondant aux lectures des compteurs à tambour. Une aiguille entraînée par le tambour interne tourne autour d'un axe central sur le cadran circulaire et indique 1 000 pieds par tour. Cette aiguille sert de vernier pour le tambour des centaines et indique également la tendance de l'altitude.

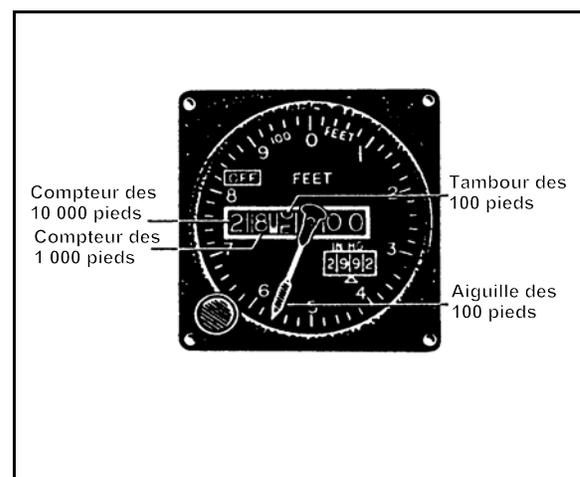


Figure 1
Altimètre à tambour et
aiguille

L'avion était également équipé d'un altimètre du côté droit du tableau de bord. Il s'agissait d'un type plus ancien, à trois aiguilles, semblable à l'altimètre monté dans le Piper Navajo de la compagnie, comme le montre la figure 2. Les altitudes essentielles sont présentées au pilote à l'aide de trois aiguilles sur un cadran gradué et donnent les renseignements suivants :

- a. l'aiguille longue indique 10 000 pieds par tour; elle comporte un triangle inversé à l'extrémité extérieure;
- b. la petite aiguille indique 1 000 pieds par tour;
- c. l'aiguille moyenne indique 100 pieds par tour.

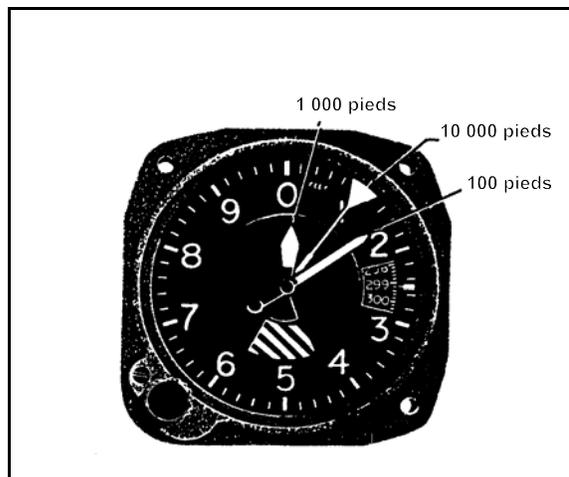


Figure 2
Altimètre à trois aiguilles

1.6.3 Avertisseur d'altitude

L'avion était équipé d'un avertisseur d'altitude (IGC 540) qui indique au pilote de façon sonore et visuelle que l'avion a atteint une altitude de 300 pieds supérieure ou inférieure à l'altitude présélectionnée. L'avertissement visuel est assuré par un gros voyant jaune très brillant monté sur l'avertisseur situé au centre de l'écran antiéblouissement du tableau de bord. La nuit, l'éclat de ce voyant peut gêner l'équipage et, une fois que la fonction d'avertissement n'est plus nécessaire ou désirée, les équipages éteignent le voyant en tournant le bouton sélecteur d'altitude dans le sens des aiguilles d'une montre jusqu'à l'indication d'une altitude plus élevée. La procédure normale indiquée dans le manuel d'exploitation de la compagnie et sur la liste de vérifications de l'avion veut que cet avertisseur d'altitude soit utilisé pendant les phases de montée, en route et en route-descente du vol. Pendant la phase d'approche finale, les équipages vérifient eux-mêmes l'altimètre dans le cadre de leurs contre-vérifications par balayage visuel des instruments, et ils comptent également sur les données et les avertissements fournis par le radioaltimètre.

Après l'accident, on a constaté que l'avertisseur d'altitude était réglé à 5 400 pieds.

1.6.4 Radioaltimètre

L'avion était équipé d'un radioaltimètre King (KRA 405). L'affichage de l'indicateur (KNI 416), le dispositif de commande et le voyant associé au radioaltimètre sont situés sur la partie inférieure du tableau de bord, proche du genou droit du pilote en place gauche.

Le radioaltimètre mesure l'altitude absolue de l'avion au-dessus du sol. Il comprend un curseur d'altitude minimale qui peut être réglé à n'importe quelle altitude voulue au-dessous de 2 000 pieds-sol. Le radioaltimètre produit des avertissements visuels et sonores lorsque l'avion descend à l'altitude pré-réglée ou qu'il est à une altitude inférieure. Ces avertissements peuvent être annulés par le pilote.

Le radioaltimètre est normalement utilisé pendant l'approche finale, et il n'est pas utilisable à des altitudes supérieures à 2 000 pieds-sol.

L'avertisseur sonore associé au radioaltimètre est un klaxon Sonalert sans amplificateur monté sur le panneau latéral, proche du genou droit du pilote en place gauche. Le klaxon produit un signal sonore pulsé haute fréquence de 80 décibels (dB). Le signal sonore du klaxon est particulier et doit normalement se distinguer du signal sonore des autres avertisseurs de l'avion. L'avertisseur sonore (Sonalert) était bien branché, et les essais effectués après l'accident ont montré qu'il était utilisable. Les membres de l'équipage de conduite ne pouvaient pas sélectionner le signal sonore émis par le radioaltimètre pour qu'il soit transmis à leurs casques d'écoute ou au haut-parleur du poste de pilotage.

Les essais et l'évaluation de l'avertisseur Sonalert ont montré que le bruit du signal sonore de 80 dB peut diminuer au point qu'il se situe entre 31 et 37 dB quand il atteint les oreilles du pilote qui porte un casque d'écoute. Un signal sonore aussi faible serait à peine perceptible à cause du bruit ambiant dans le poste de pilotage.

1.6.5 Système d'intercommunication

L'avion était équipé d'un système d'intercommunication King (KAA 445) qui intégrait les signaux sonores de différents récepteurs radio afin de les transmettre aux casques d'écoute des membres d'équipage ou, sinon, au haut-parleur du poste de pilotage.

Le système d'intercommunication de l'avion ne comprenait pas de microphone en service permanent permettant d'assurer des communications continues dans le poste de pilotage. Pour communiquer à l'aide du système d'intercommunication, l'un des membres d'équipage devait placer un sélecteur rotatif du tableau sur la position PA, puis appuyer sur un bouton d'émission situé sur chaque manche pilote. La méthode courante dans la compagnie consistait à sélectionner la position PA. Le pilote aux commandes appuyait sur le bouton d'émission et le gardait enfoncé pendant la phase d'approche finale. L'enquête a révélé des cas où le pilote plaçait un élastique autour du manche afin de garder le bouton d'émission en position enfoncée. Le but de ces procédures était de permettre aux membres d'équipage de disposer d'un microphone en service permanent pendant l'approche finale afin de faciliter les communications et la coordination entre eux pendant cette phase du vol où l'équipage est très occupé.

1.7 Renseignements météorologiques

Les prévisions pour l'aéroport de Thompson (FT YTH 312311), valides vers minuit le 31 mai 1994, étaient les suivantes : plafond à 800 pieds-sol avec nuages fragmentés, visibilité de six milles, conditions se détériorant pour donner un ciel couvert et obscurci par une mince couche de nuages à 800 pieds-sol et, occasionnellement, une visibilité de deux milles dans le brouillard.

Les observations météorologiques (YTH SA 0500) effectuées à l'aéroport de Thompson à minuit étaient les suivantes : plafond à 1 200 pieds avec nuages fragmentés, autres nuages fragmentés à 8 000 pieds-sol, visibilité de 15 milles, température de 11 degrés Celsius, point de rosée de 10 degrés Celsius et calage altimétrique de 30,17 pouces de mercure. Ces observations horaires ne faisaient pas état de brouillard. Un bulletin météorologique spécial (YTH SP 0529) émis environ 30 minutes après minuit indiquait que la visibilité avait diminué à quatre milles dans le brouillard à l'aéroport de Thompson.

L'équipage d'un avion parti de l'aéroport de Thompson 45 minutes environ après l'accident a indiqué à la station d'information de vol (FSS) de Thompson qu'il ne voyait plus le sol à partir de 200 pieds-sol

environ et que pendant la course au décollage la visibilité était d'un demi-mille dans le brouillard. Il a été estimé que le sommet de la couche de brouillard était à 500 pieds-sol environ à ce moment-là.

1.8 *Aides à la navigation*

1.8.1 *NDB Hotel*

Le NDB Hotel est un émetteur basse fréquence situé à 3,4 milles marins (nm) au nord-est de l'aéroport sur le prolongement de la trajectoire d'approche de la piste 23. Le NDB est utilisé comme aide à la navigation pour les approches aux instruments sur cette piste et sert de repère d'approche finale pour l'approche alignement de piste arrière vers la piste 23. Le pylône du NDB d'une hauteur de 87 pieds était installé sur un terrain situé à 730 pieds-mer. La partie supérieure du pylône n'était pas éclairée, mais à la base du pylône il y avait une lumière placée sur un bâtiment pour l'équipement. Les équipages de conduite qui ont survolé les lieux après l'accident ont déclaré qu'ils avaient vu cette lumière.

1.8.2 *Faisceau d'alignement de piste ILS*

La partie alignement de piste arrière du système d'atterrissage aux instruments (ILS) de l'aéroport de Thompson sert à la piste 23.

La bonne fréquence ILS et la route appropriée pour l'approche publiée avaient été entrées dans l'instrument d'affichage de données de navigation de l'avion utilisé par le pilote en place gauche. L'altimètre gauche était réglé correctement. L'équipement de navigation du côté droit était sur la bonne fréquence ILS, mais le réglage d'alignement, le curseur de cap et l'altimètre du côté droit n'étaient pas réglés correctement pour contrôler l'approche.

1.8.3 *Équipement GPS à bord*

L'avion était équipé d'un système de positionnement mondial (GPS). Ce système fournit des données de navigation en utilisant l'heure et la position en provenance d'un réseau d'émetteurs de satellite. Le GPS est un système de navigation supplémentaire et n'est pas encore homologué ni approuvé pour être utilisé comme seule aide à la navigation au Canada, mais il peut être utilisé comme référence pour les autres systèmes de navigation.

Les données extraites du GPS après l'accident ont révélé que :

- a) le point de cheminement GPS sélectionné était le radiophare omnidirectionnel (VOR) de l'aéroport de Thompson;
- b) à un moment donné pendant le vol, l'équipage a navigué directement vers cet emplacement;
- c) la dernière heure indiquée était 0 h 1 min 33,8 s; la dernière date était le 1^{er} juin 1994.

1.9 *Télécommunications*

Étant donné que le vol à partir de Churchill a été effectué entièrement dans l'espace aérien contrôlé, mais à l'extérieur de la zone de couverture radar de l'ATC, on n'a pu obtenir aucune donnée radar sol sur l'altitude ou la position de l'avion.

Le commandant de bord a effectué les communications avec l'ATC pendant tout le vol. À 23 h 49 HAC, il a signalé que l'avion se trouvait à 42 milles au nord-est de l'aéroport de Thompson et a

demandé l'autorisation de descendre. L'avion a d'abord été autorisé à descendre à 7 000 pieds-mer. Plusieurs minutes plus tard, l'équipage a reçu l'autorisation d'effectuer l'approche sur l'aéroport de Thompson et la restriction de rester sur le radial 030° du VOR de Thompson jusqu'à ce que l'avion arrive au-dessous de 3 000 pieds-mer. Environ huit minutes après avoir entrepris la descente, l'équipage a signalé que l'avion franchissait 3 000 pieds en descente et qu'il se trouvait à 12,3 milles du VOR de Thompson. Le centre de contrôle régional (ACC) de Winnipeg a demandé à l'équipage de communiquer avec la FSS de Thompson pour le suivi en vol.

Le premier contact radio de l'avion avec la FSS de Thompson a été établi vers 23 h 58 HAC. L'équipage a indiqué qu'il prévoyait effectuer une approche alignement de piste arrière sur la piste 23, qu'il avait déjà l'autorisation d'effectuer l'approche, et qu'il rappellerait une fois en approche finale. Le spécialiste FSS a transmis à l'équipage les conditions météorologiques et le calage altimétrique locaux les plus récents. Le calage de 30,17 pouces de mercure a été collationné correctement. Le spécialiste de la FSS de Thompson a demandé à l'équipage de lui donner un rapport de pilote (PIREP) sur la base des nuages pendant l'approche sur l'aéroport.

1.10 Renseignements sur l'aérodrome

L'aéroport de Thompson est exploité par le gouvernement local du district de Mystery Lake en vertu d'un certificat d'exploitation. La piste principale de l'aéroport est orientée au cap magnétique de 050°/230°, et elle se trouve à une altitude de 729 pieds-mer. La piste 23 est utilisée à l'aide des approches NDB et alignement de piste arrière publiées. Ces deux approches aux instruments publiées utilisent le NDB Hotel comme repère de navigation.

L'approche alignement de piste arrière sur la piste 23 comprend une descente intermédiaire sur l'arc de 11 milles pour intercepter le faisceau d'alignement de piste en rapprochement. Une fois établi sur le faisceau d'alignement de piste, la descente peut être effectuée à 1 500 pieds-mer jusqu'au passage à la verticale du NDB Hotel. À partir de ce point, l'avion peut continuer la descente à l'altitude minimale de descente (MDA) publiée pour l'approche, laquelle, en ce qui concerne l'approche au radiophare d'alignement de piste sur la piste 23, est de 1 080 pieds-mer.

L'aéroport est équipé d'une tour de contrôle qui est en exploitation seulement à certaines heures. La tour n'était pas en exploitation au moment de l'accident, et la FSS de Thompson assurait les services normaux pour le trafic local.

Un préposé à la météorologie, qui travaille à l'aéroport de Thompson, transmet les observations météorologiques au système d'information météorologique du Service de l'environnement atmosphérique (SEA).

1.11 Enregistreurs de bord

L'avion n'était pas équipé d'un enregistreur phonique (CVR) ni d'un enregistreur de données de vol (FDR), ce qui n'était pas contraire à la réglementation.

1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact

1.12.1 Généralités

L'avion a heurté le pylône du NDB Hotel, les ailes à l'horizontale, à 62 pieds-sol. Une section de cinq pieds environ de l'aile droite a été sectionnée à partir du bord extérieur, et a été trouvée au pied du pylône. L'hélice droite a coupé l'un des haubans du pylône, et ce dernier s'est détaché de sa base.

L'avion a poursuivi sa course et a heurté l'antenne PARROT; la partie supérieure de l'antenne a été arrachée, et plusieurs câbles enfouis qui étaient fixés au pylône ont été sectionnés.

Après avoir heurté les deux pylônes, l'avion s'est incliné à gauche et est descendu dans les arbres sur une trajectoire de 230 degrés magnétique. L'avion a heurté le sol en piqué prononcé, l'aile gauche basse, à environ 450 pieds du premier point d'impact. Après avoir heurté le sol, l'avion a poursuivi sa course dans les arbres sur environ 150 pieds avant de s'immobiliser.

Pendant l'écrasement, le train d'atterrissage a été arraché, et l'aile s'est rompue en quatre. Le fuselage s'est détaché de l'aile et a heurté un pin gris de 12 pouces de diamètre. Le fuselage s'est alors rompu. L'avion a laissé deux sillons bien distincts. L'infirmier et du matériel de la partie principale de la cabine ont été projetés à travers une ouverture dans la partie avant du fuselage endommagé. Le poste de pilotage a été détruit par les impacts au sol et avec les arbres.

1.12.2 Examen de l'épave

L'examen des systèmes de l'avion sur les lieux de l'accident n'a révélé aucune défaillance structurale ni aucune anomalie des commandes de vol avant l'impact. L'enquête a révélé qu'au moment de l'écrasement, le train d'atterrissage était sorti, les volets étaient rentrés et la gouverne de profondeur était légèrement compensée pour une descente, ce qui est conforme à une configuration pour un profil de descente. La liste de vérifications de l'avion était ouverte à la page des vérifications normales pour la descente, signe que l'équipage effectuait les vérifications régulières. Plusieurs composants et instruments ont été récupérés pour subir un examen et une analyse plus poussés.

Les deux moteurs et les hélices ont subi des dommages importants. Lors du premier impact, l'hélice gauche et l'arbre d'hélice se sont rompus et se sont détachés du moteur gauche, et ils ont poursuivi leur course dans les arbres avant de s'immobiliser à gauche du sillon laissé par l'avion. L'hélice droite est restée fixée au moteur, mais elle s'est inclinée sur environ 60 degrés vers le carter du générateur de gaz.

Les moteurs et les hélices ont été envoyés à l'atelier du bureau régional du Centre pour une évaluation plus poussée.

L'examen des deux moteurs n'a révélé aucun dommage antérieur à l'impact. Les dommages secondaires importants que présentaient les deux moteurs correspondent à un arrêt brusque d'un moteur en marche causé par un choc important avec le sol.

1.12.3 Examen des hélices

Les moteurs étaient équipés d'hélices tripales Hartzell HC-B3TN-3D. Ces hélices sont conçues de façon que les pales présentent un angle de mise en drapeau de 87°, un angle de petit pas de 20,2°, un angle de moulinet à puissance nulle de 15 à 16°, et un angle de pas négatif de (-)11°.

L'hélice gauche s'est détachée du moteur pendant l'impact au sol; elle présentait très peu de dommages ou de déformation typiques d'un moteur qui fournit une puissance élevée. La paroi du piston du dôme d'hélice présentaient des marques dues au contact avec le cylindre. Ces marques indiquent que l'hélice présentait un angle de pale d'environ 29° à l'impact au sol.

L'examen de l'hélice droite a révélé que deux des pales avaient été sectionnées; l'une près de l'extrémité, et l'autre, à mi-envergure. La casserole d'hélice et le bord d'attaque de deux des pales présentaient des marques de câble. Ces marques correspondaient aux dommages constatés sur l'un des haubans du pylône du NDB. La paroi du piston du dôme de l'hélice présentait deux marques : une marque peu importante correspondant à un angle de pale d'environ 22°, et une marque plus importante correspondant à un angle de pale d'environ (-)14°. La marque peu importante a probablement été causée par le contact avec le hauban du pylône du NDB. La marque plus importante a probablement été causée par le piston qui aura été poussé fortement contre la butée d'inversion maximale de pas quand les pales de l'hélice ont été tordues pendant l'impact au sol.

D'après l'examen des systèmes de propulsion effectué après l'accident, il est probable que la différence entre les niveaux de puissance des deux moteurs, après l'accident, s'est produite à des moments différents, c'est-à-dire qu'il est fort probable que la marque du piston de l'hélice droite a été faite au moment de l'impact initial avec le pylône du NDB, tandis que la marque du piston de l'hélice gauche a probablement été faite au moment de l'impact au sol.

1.12.4 Examen des instruments

Des instruments moteur et de vol ont été envoyés au Laboratoire technique du BST pour y subir un examen plus poussé. Afin de déterminer si les ampoules étaient allumées au moment de l'impact, 42 des ampoules servant à l'éclairage des instruments ont été examinées au moyen d'un stéréomicroscope optique. L'analyse des instruments et des ampoules a montré qu'au moment de l'impact :

- a. les aiguilles des indicateurs de pression carburant gauche et droit étaient dans la plage de fonctionnement normale, soit entre 30 et 32 lb/po²;
- b. l'indicateur NG du générateur de gaz gauche affichait un régime compris entre 60 et 65 % (régime de descente normale);
- c. l'indicateur NG du moteur droit affichait un régime avoisinant les 50 % (régime de ralenti);
- d. les aiguilles des indicateurs de régime des hélices indiquaient un régime compris entre 1 900 et 2 000 tr/min (petit pas);
- e. l'onduleur no 1 était sous tension;
- f. plusieurs voyants du tableau de bord et d'instruments étaient allumés;
- g. l'équipement de navigation de l'avion était accordé sur les fréquences ILS de l'aéroport de Thompson;
- h. le voyant de hauteur de décision (DH) du radioaltimètre était allumé; ses quatre ampoules d'éclairage interne étaient allumées; le sélecteur DH de l'instrument était réglé entre 380 et 400 pieds-sol; le drapeau d'avertissement n'était pas visible au moment où le cadran a été endommagé par l'impact;
- i. le codeur altimétrique gauche était correctement réglé à 30,17 pouces de mercure, mais l'altimètre droit affichait 30,12 pouces de mercure.

En établissant des liens entre les instruments sous tension et les ampoules allumées et le schéma de câblage électrique de l'avion, on a pu déterminer que les bus des alimentations électriques essentielle et non essentielle gauches étaient tous les deux sous tension à l'impact. On n'a pas pu déterminer avec

certitude si le bus essentiel droit était sous tension à l'impact; toutefois, on sait que ce bus était sous tension au moment du dernier appel radio, environ trois minutes avant l'accident.

1.13 Renseignements médicaux

1.13.1 Analyses toxicologiques

Les analyses toxicologiques ont été effectuées à l'Unité médicale de l'aviation civile (CAMU) de Santé Canada, à Toronto (Ontario). Les résultats des analyses toxicologiques ont été négatifs. De plus, rien n'indique que les membres d'équipage souffraient d'une incapacité.

1.13.2 Vigilance, fatigue et sécurité aérienne

Pour piloter un aéronef en toute sécurité, le pilote doit surveiller attentivement diverses sources d'information. De plus, il doit être capable de faire appel à sa mémoire et être en mesure de mettre en pratique un grand nombre de connaissances au moment voulu, car il évolue dans un environnement qui change rapidement. Pour cela, le pilote doit garder la forme et pouvoir rester vigilant.

L'aptitude physique des membres d'équipage de conduite est vérifiée régulièrement pour s'assurer qu'ils sont aptes à voler. Toutefois, le niveau de vigilance du pilote varie avec le temps et dépend dans une large mesure du nombre d'heures sans sommeil, du moment de la journée, de son rythme circadien, de la tâche à effectuer et de certains aspects du milieu d'exploitation.

Des recherches sur le rythme circadien et sur le sommeil ont montré que toute période de 24 heures comprend des périodes où l'humain est plus sujet aux étourdissements, et d'autres où son niveau de vigilance est plus élevé. En général, les gens ont plus de difficulté à trouver le sommeil pendant les périodes où ils sont normalement éveillés, et dans des circonstances normales, le sommeil qu'ils réussissent à prendre pendant ces périodes est moins réparateur. De plus, des expériences ont prouvé qu'une privation de sommeil prolongée chez l'humain cause des problèmes et diminue le rendement. En d'autres termes, l'humain qui manque de repos et dont le rythme circadien a été perturbé peut devenir irritable et moins vigilant et fournir un moins bon rendement⁴.

Le Defence and Civil Institute of Environmental Medicine a découvert que l'humain qui reste éveillé pendant plus de 18 heures peut voir son rendement diminuer de 30 % s'il exécute des tâches cognitives⁵. Lorsque son travail exige que le membre d'équipage reste éveillé pendant plus de 18 heures, il faut s'attendre à ce qu'il soit beaucoup moins habile à traiter l'information et à régler les problèmes. Cet effet ne se fait pas sentir après 18 heures sans sommeil, mais il s'accroît avec le temps et finit par causer une diminution de rendement de 30 % chez l'humain qui est éveillé depuis environ 18 heures.

En général, les tâches cognitives ou qui demandent une certaine vigilance sont plus susceptibles de causer une diminution de rendement attribuable à la fatigue, et l'humain fatigué est plus porté à prendre des risques. Le membre d'équipage fatigué est beaucoup plus enclin à prendre des raccourcis et à ne pas exécuter les parties routinières d'une tâche comme régler l'altimètre ou sélectionner les fréquences radios.

⁴ ROSELIND, Mark R., Philippa H. GANDER et al. Fatigue in Operational Settings: Examples from the Aviation Environment. *Human Factors* 36, (2) p. 328.

⁵ ANGUS, R.G., R.A. PIGEAU et R.J. HESLEGRAVE. Sustained Operations Studies: from the Field to the Laboratory. C. Stampi (ed). *Why We Nap: Evolution, Chronobiology, and Functions of Polyphasic and Ultrashort Sleep*. Birkhauser. Boston.

1.14 Incendie

Il n'y a pas eu d'incendie en vol, ni après l'accident.

1.15 Questions relatives à la survie des occupants

1.15.1 Généralités

Les ceintures-baudriers servent à retenir le torse et permettent de réduire les risques de blessures lors d'un impact. Les sièges des membres d'équipage n'étaient pas munis de ceintures-baudriers, ce qui n'était pas contraire à la réglementation en vigueur au moment de l'accident. Transports Canada a modifié récemment la *Loi sur l'aéronautique* et l'*Ordonnance sur la navigation aérienne (ONA), Série II, No 2* intitulée *Arrêté sur les sièges et les ceintures de sécurité des aéronefs*, et il a publié ces changements dans la *Gazette du Canada, Partie II, vol. 128, no 19*. Le nouvel arrêté stipule des exigences plus rigoureuses pour les ceintures de sécurité de certains sièges d'aéronefs, et s'applique également aux sièges avant et aux sièges du poste de pilotage de certains avions.

Deux des sièges de cabine qui faisaient face à l'avant avaient été modifiés pour permettre d'y placer des patients sur civière. Les pièces de fixation des dossiers de siège et des ceintures de sécurité avaient été remplacées par des goupilles à démontage rapide pour permettre d'enlever plus facilement les dossiers. L'examen de ces deux sièges a révélé que les goupilles à démontage rapide s'étaient desserrées pendant l'impact et que les deux ceintures de sécurité cabine s'étaient détachés de leurs sièges.

L'infirmier ne se souvient pas de l'accident, mais il croit qu'il occupait le siège du devant qui faisait face à l'avant et que sa ceinture de sécurité était attachée au moment de l'accident. Pendant l'impact, l'infirmier a été éjecté de l'avion et a subi de multiples blessures graves. Aucune des deux boucles de ceinture de sécurité des sièges faisant face à l'avant n'était attachée lorsqu'on les a examinées. L'examen de l'épave n'a pas permis de déterminer où l'infirmier était assis, ni si la boucle de sa ceinture de sécurité était attachée au moment de l'accident.

1.15.2 Intervention d'urgence

Quand le spécialiste FSS s'est rendu compte que l'avion n'arrivait pas à l'aéroport de Thompson, il a fait des appels pour essayer de localiser l'avion; il a également vérifié si l'avion se trouvait sur l'aire de trafic, mais il n'a pas réussi à déterminer où l'avion se trouvait.

L'ELT de l'avion s'est déclenchée à l'impact, mais le signal n'a été capté par le SARSAT qu'environ une heure et demie après l'écrasement. Les données initiales du SARSAT indiquaient que l'avion se trouvait à 15 milles environ au nord-ouest du lieu de l'accident. On a plus tard découvert que l'antenne de l'ELT était ensevelie sous les débris. De la façon que l'antenne était orientée, l'épave faisait écran au signal transmis et en atténuait la portée.

Un technicien a été envoyé au pylône du NDB pour déterminer la raison pour laquelle le NDB avait cessé d'émettre. Le technicien est arrivé sur les lieux environ 2 heures et 40 minutes après l'accident. Il a vu l'épave à proximité du pylône du NDB et a confirmé que l'avion s'était écrasé. Le seul survivant a été retrouvé une vingtaine de minutes plus tard.

1.16 Renseignements supplémentaires

1.16.1 Généralités sur les MEDEVAC

Keewatin Air Limited avait commencé à assurer des services d'ambulance aérienne dans les Territoires du Nord-Ouest en 1988 et, depuis, il assurait également ces services à partir des bases d'évacuation médicale de Rankin Inlet, de Churchill et de Thompson. Les avions et le personnel sont répartis entre ces bases pour réduire au minimum le temps d'intervention et pour être plus en mesure de fournir des services fiables. Chaque base comprend des hangars pour les avions et assure un système de veille et de répartition qui permet aux équipages de décoller en moins de 45 minutes après une demande d'évacuation médicale. Les équipages de conduite doivent transporter des téléavertisseurs car ils ont des périodes obligatoires de disponibilité.

1.16.2 Temps de vol et périodes minimales de repos

Le manuel d'exploitation de la compagnie explique en détail certaines contraintes sur les heures de service de vol et sur les périodes minimales de repos. Certaines de ces contraintes ont été mises en vigueur par la compagnie pour que les procédures de la compagnie soient plus strictes que les exigences minimales stipulées dans l'Ordonnance sur la navigation aérienne, série VII, n° 3.

Le temps de service de vol est le temps nécessaire pour préparer un vol (ou série de vols), l'effectuer et le terminer, et comprend toutes les fonctions administratives associées à ce ou ces vols. Le manuel d'exploitation de la compagnie stipule que les membres d'équipage de conduite doivent normalement se présenter au travail au moins une heure avant le départ du vol. L'aéronef doit décoller moins de 45 minutes après l'appel. Les activités des membres d'équipage pendant leur période de disponibilité sont très restreintes à cause des engagements stricts relatifs à la disponibilité. La période de service de l'équipage ne commence qu'au moment où l'équipage est appelé pour effectuer un vol.

Ni le manuel d'exploitation de la compagnie ni les Ordonnances sur la navigation aérienne de Transports Canada ne définissent clairement l'expression «période de repos», même si on utilise beaucoup cette expression dans ces publications. Transports Canada Aviation, de concert avec le milieu aéronautique, a tenté d'élaborer des règlements pour prévoir des périodes de repos adéquates. Certains membres d'équipage qui ont effectué des MEDEVAC ont fait part de leurs préoccupations concernant les longues périodes de disponibilité obligatoires, et le fait qu'ils sont tenus d'entreprendre une journée de service efficacement à n'importe quel moment pendant ces périodes de disponibilité.

Le commandant de bord venait juste de prendre cinq jours de congé, et il effectuait son premier vol MEDEVAC depuis son retour au travail. Il semble qu'il avait de bonnes habitudes de sommeil et qu'il avait pris suffisamment de repos la veille. Il avait commencé sa période de disponibilité à 8 h HAC le jour de l'accident, et il avait pris son service comme membre d'équipage vers 14 h 30 HAC, quand le vol MEDEVAC a été annoncé. Au moment de l'accident, le commandant de bord avait effectué environ 6,4 heures de vol depuis le début de la journée.

Le copilote avait été en disponibilité et avait effectué des vols dans les deux semaines qui ont précédé l'accident. Pendant ces deux semaines, il avait été en disponibilité pendant 180 heures; il avait volé 9 jours sur 14, et il avait effectué 19 étapes de vol et 40,3 heures de vol. Le copilote n'avait pas dormi pendant au moins 36 heures, plusieurs jours avant l'accident.

Le copilote avait mentionné à plusieurs de ses amis et connaissances qu'il était stressé à cause des périodes obligatoires de disponibilité et de service. Il essayait de se trouver un emploi auprès d'un autre transporteur aérien qui assurait des vols passagers réguliers. Il avait offert ses services à un autre

transporteur aérien, et quelques jours avant l'accident, il avait appris que sa candidature n'avait pas été retenue. Depuis qu'il avait appris cette nouvelle, le copilote semblait découragé, irritable et plus anxieux. Ce changement d'humeur n'était pas habituel chez lui, et ses amis ont déclaré qu'il semblait dans cet état avant l'accident.

Le jour de l'accident, le copilote a commencé sa période de disponibilité à 8 h HAC, période qui devait durer 12 heures. Il s'est réveillé vers 7 h HAC. Il a subi un examen médical pour membre d'équipage au début de l'après-midi, et il a été appelé pour effectuer un vol MEDEVAC vers 14 h 30. Sa journée comme membre d'équipage a commencé au moment de l'appel. Au moment de l'accident, il totalisait neuf heures et demie de service et était éveillé depuis environ 17 heures.

1.16.3 Profil de descente de l'avion

Le profil de descente en route du Merlin II normalement suivi par les pilotes de la compagnie s'effectue à une vitesse tout juste inférieure à la vitesse maximale d'utilisation de l'avion. Ce profil diminue le temps en route et réduit au minimum les réglages des manettes de gaz pendant la descente.

Les équipages de Merlin utilisent une simple méthode empirique pour déterminer le point où commencera la descente et pour s'assurer que l'avion conservera le profil de descente normal. L'examen des bandes de l'ATC a révélé que l'équipage avait demandé de descendre à partir de 18 000 pieds-mer alors que l'avion se trouvait à 42 nm au nord-est de Thompson. Selon la méthode empirique, la descente aurait dû commencer à 41 nm. Lorsque l'équipage a appelé à 12,3 nm de l'aéroport, l'avion présentait un profil de descente normal. En utilisant ce profil de descente, la majeure partie de la charge de travail associée à la mise en palier, la décélération, les vérifications avant atterrissage et la reconfiguration en vue de l'approche finale, s'effectue dans un segment de cinq milles en deçà de l'aérodrome de destination.

L'examen des heures et des distances parcourues pendant la descente a révélé que la vitesse sol moyenne de l'avion était de 214 noeuds et que sa vitesse verticale était d'environ 1 900 pieds par minute (pi/min) pendant la descente à partir de 18 000 pieds-mer jusqu'à la dernière altitude signalée de 3 000 pieds-mer. Ces données ont été utilisées pour extrapoler le point auquel l'avion aurait atteint son altitude de mise en palier. D'après ces calculs, le palier doit avoir été effectué à environ 11 milles du VOR de Thompson ou à 9 milles au nord-est du pylône du NDB Hotel.

1.16.4 Procédures d'approche aux instruments

Compte tenu du temps écoulé entre la réception par l'équipage de l'autorisation d'effectuer l'approche et le moment où l'avion a heurté le pylône, l'avion ne peut pas avoir suivi la procédure publiée, mais plutôt une route plus directe vers le repère d'approche finale, le NDB Hotel. L'altitude minimale publiée du secteur pour cette zone est de 2 400 pieds-mer.

1.16.5 Surveillance de l'altitude

Le manuel d'exploitation de la compagnie stipule que certaines fonctions de surveillance doivent être effectuées par le pilote qui n'est pas aux commandes. Ce pilote est notamment chargé de surveiller tous les paramètres, y compris l'altitude, l'assiette, la vitesse, le cap, la navigation et la position d'approche finale ou d'alignement de descente pendant les vols VFR et IFR. Si le pilote aux commandes ne réagit pas à un deuxième avertissement d'écart, le pilote qui n'est pas aux commandes est autorisé à prendre les commandes de l'avion.

Le manuel d'exploitation de la compagnie mentionne également les fonctions des membres d'équipage en ce qui concerne la surveillance de l'altitude et les annonces obligatoires. D'après le manuel, le pilote

qui n'est pas aux commandes doit s'assurer que l'avertisseur d'altitude est préréglé correctement, et il doit annoncer l'altitude indiquée de l'avion lorsque l'avion est à 100 pieds au-dessus de toute altitude minimale pertinente pendant une approche aux instruments. La vérification du radioaltimètre est normalement comprise dans le balayage visuel des instruments du pilote quand l'avion est bien établi en approche finale au-delà du repère d'approche finale ou du radiophare.

L'examen de l'épave a révélé que l'altimètre, la flèche de route et le cap du pilote non aux commandes n'avaient pas été réglés avec précision pour permettre une surveillance précise de l'approche alignement de piste arrière sur la piste 23. En outre, l'avertisseur d'altitude avait été réglé à 5 400 pieds par l'un des membres d'équipage.

2.0 *Analyse*

2.1 *Introduction*

L'examen de l'épave n'a révélé aucune défaillance structurale ni aucune anomalie des commandes de vol avant l'impact. Le circuit électrique de l'avion a été examiné dans la mesure du possible, et on a établi que deux des trois bus d'alimentation électrique importants de l'avion étaient sous tension à l'impact. L'intégrité du circuit n'a pu être déterminée, mais il n'y avait aucun signe de défaillance du circuit. En outre, l'examen des bandes de l'ATC a révélé que l'équipage n'a signalé aucun problème d'équipement pendant le vol entre Churchill et l'aéroport de Thompson. Par conséquent, l'analyse portera sur le radioaltimètre, la surveillance de l'altitude, les conditions météorologiques et la fatigue des membres d'équipage.

2.2 *Radioaltimètre*

L'enquête a révélé que le radioaltimètre de l'avion était utilisable et qu'il était réglé à la MDA d'approche. Puisque l'avion est descendu au-dessous de la MDA, le radioaltimètre doit avoir donné un avertissement visuel et sonore à l'équipage.

On ne sait pas pour quelle raison l'équipage n'a réagi à aucun de ces avertissements et a poursuivi la descente. Étant donné que le radioaltimètre et son voyant d'alarme se trouvent à l'extérieur de la zone de balayage visuel normal des instruments du pilote, il est possible qu'il soit assez facile de ne pas remarquer l'avertissement visuel. Puisque l'avion n'était pas encore passé à la verticale du radiophare, le pilote peut ne pas avoir vérifié visuellement le radioaltimètre lorsqu'il a fait son balayage visuel et, puisque l'avion n'était pas encore bien établi sur la trajectoire d'approche finale, il est probable que le bouton d'émission n'était pas retenu en position enfoncée pour assurer les communications entre les pilotes. Dans des conditions semblables, la tonalité de 80 dB de l'avertisseur Sonalert ne serait pas acheminée dans le système d'intercommunication, mais serait atténuée par les isolants acoustiques des écouteurs de l'équipage, ce qui rendrait le signal sonore à peine audible.

2.3 *Surveillance de l'altitude*

D'après le temps écoulé entre la réception de l'autorisation d'approche et le moment où l'avion a heurté le pylône, il n'est pas possible que l'avion ait suivi le profil d'approche publié. L'équipage doit s'être écarté de la procédure d'approche publiée et avoir suivi une route plus directe vers le NDB. Compte tenu de la route de vol précise de l'avion, l'appareil doit avoir intercepté l'alignement de piste très près de l'émetteur NDB. Après l'interception, l'avion aurait dû commencer la descente à partir de l'altitude minimale du secteur, soit 2 400 pieds-mer, jusqu'à l'altitude publiée de passage à la verticale du radiophare, soit 1 500 pieds-mer.

L'examen de l'épave a révélé que l'équipage avait sorti les dispositifs de traînée tôt et avait probablement réduit la puissance des moteurs avant d'atteindre le NDB, ce qui indique que l'équipage avait l'intention d'augmenter la vitesse descendionnelle et de diminuer la vitesse aérodynamique afin de stabiliser l'avion pour l'approche finale.

L'équipage a laissé l'avion descendre au-dessous de l'altitude de passage à la verticale du radiophare de 1 500 pieds-mer, qui est l'altitude publiée. La cause exacte de cet écart d'altitude n'a pu être déterminée. Il est possible que l'équipage ait été gêné par un mauvais fonctionnement non déterminé, ou par une activité dans le poste de pilotage, et qu'il n'a pas remarqué l'écart d'altitude. Le fait de s'être écarté de la route d'approche publiée a augmenté la charge de travail et a laissé moins de temps à l'équipage pour exécuter ses tâches entre l'interception de l'alignement de piste et le passage au radiophare. Toute tentative d'observer les conditions météorologiques pour communiquer un PIREP ou pour poursuivre une approche à vue aurait augmenté la charge de travail et réduit le niveau de surveillance dans le poste de pilotage.

Le transfert du vol de l'ATC à la FSS de Thompson nécessitait plusieurs communications qui auraient demandé une réaction du pilote non aux commandes. L'alignement de piste aurait été intercepté peu après le transfert par l'ATC, et, parce que l'avion aurait probablement été haut pendant l'interception, l'équipage aurait également été en train d'exécuter les vérifications finales en vue de l'atterrissage pendant la descente à une vitesse plus élevée vers l'altitude de passage à la verticale du radiophare. D'après les communications et l'estimation de la trajectoire de l'avion basée sur le temps disponible, il est probable que les deux pilotes avaient une charge de travail importante pendant l'approche.

Sans une surveillance adéquate par les deux membres d'équipage, le risque que le pilote aux commandes puisse mal lire l'altimètre était plus grand. Ce risque aurait été élevé parce que le pilote aux commandes avait l'habitude d'utiliser des instruments à aiguilles et parce qu'il était habitué à surveiller l'aiguille de l'altimètre plutôt que les compteurs.

On ne dispose d'aucun renseignement pour déterminer les activités du pilote non aux commandes pendant cette partie de l'approche. Toutefois, on sait que les instruments de navigation et l'altimètre du côté droit n'étaient pas réglés correctement. Cette situation signifie que le pilote non aux commandes ne surveillait pas l'approche à l'aide de ses instruments de navigation et qu'il pouvait être occupé à faire autre chose. Il est également possible que le pilote non aux commandes s'attendait à effectuer l'approche finale dans des conditions météorologiques de vol à vue (VMC) et qu'il croyait qu'il n'était pas nécessaire d'utiliser ses instruments de navigation.

2.4 *Conditions météorologiques*

D'après les prévisions du SEA et les bulletins météorologiques horaires, l'équipage se serait attendu à percer la base des nuages à environ 1 900 pieds-mer. Dans ces conditions, il aurait été raisonnable pour l'équipage de prévoir qu'il serait hors des nuages une fois à 1 500 pieds-mer, l'altitude de passage à la verticale du radiophare, et qu'il pourrait effectuer l'approche finale dans des conditions VMC. Or, un banc de brouillard s'était formé vers le nord-est de l'aéroport. Lorsque l'avion est descendu pendant l'approche, il a pu pénétrer dans le banc de brouillard, l'obligeant à voler dans des conditions météorologiques de vol aux instruments (IMC).

Il est possible qu'étant donné que l'équipage espérait voler dans des conditions VMC, il n'ait pas été assez vigilant dans le poste de pilotage, comme le démontre le fait que le commandant de bord n'avait pas réglé ses instruments en vue de l'approche alignement de piste arrière. En outre, le fait que l'avion a poursuivi le vol dans des conditions IMC pendant la partie finale de la descente peut avoir renforcé la

fausse perception de l'équipage que l'avion était encore au-dessus du plafond signalé de 1 900 pieds-mer.

2.5 *Fatigue*

L'accident s'est produit juste après minuit. Au moment de l'accident, le pilote aux commandes était éveillé depuis environ 17 heures, et il était de service depuis neuf heures et demie environ. Le pilote aux commandes avait eu une période de disponibilité prolongée. Son sommeil avait récemment été perturbé par des situations et des activités reliées à son travail et à sa vie personnelle. Des personnes qui le connaissaient bien ont indiqué que son niveau de stress était élevé. Le stress qu'il subissait aurait probablement causé de la fatigue supplémentaire.

Le commandant de bord avait également eu une période de disponibilité qui avait débuté à 8 h, et il était probablement éveillé depuis aussi longtemps que le copilote. Au moment de l'accident, les pilotes étaient probablement fatigués à cause de leurs rythmes circadiens, du nombre d'heures sans sommeil, et de leurs tâches de travail. Le fait de rester éveillé pendant 17 heures suffit à générer de la fatigue et à réduire le rendement.

La décision qui a été prise de prendre un raccourci au lieu de suivre la trajectoire d'approche publiée est le type de décision qu'on peut s'attendre de la part d'un équipage fatigué. Le fait que le pilote non aux commandes n'a pas réglé les instruments de navigation et l'altimètre et le fait qu'il n'a pas bien surveillé l'approche sont aussi des signes que le pilote était fatigué. Les effets insidieux de la fatigue ont probablement contribué à l'accident.

3.0 Conclusions

3.1 Faits établis

1. Les membres de l'équipage de conduite possédaient les licences et les qualifications nécessaires au vol et en vertu des procédures de la compagnie et de la réglementation en vigueur.
2. L'avion était certifié, équipé et entretenu conformément à la réglementation en vigueur et aux procédures approuvées.
3. L'enquête n'a révélé aucun signe de défaillance de la cellule ou des commandes de vol, ni aucun mauvais fonctionnement des systèmes de l'avion, que ce soit avant ou pendant le vol.
4. Avant de heurter le pylône du NDB, l'avion a probablement pénétré dans un banc de brouillard, qui se formait rapidement à basse altitude.
5. L'équipage n'était probablement pas conscient que du brouillard se formait rapidement et croyait peut-être qu'il trouverait des conditions de vol à vue à l'altitude de passage à la verticale du radiophare, soit à 1 500 pieds-mer.
6. Au lieu de suivre la trajectoire d'approche publiée, l'équipage a suivi une route plus directe vers le repère d'approche finale.
7. Pendant la descente vers l'altitude de passage à la verticale du radiophare, le pilote aux commandes a probablement mal lu l'altimètre. Les risques d'erreur auraient été plus grands à cause des différences qui existent entre les affichages des altimètres de gauche et de droite, et à cause de l'expérience du pilote aux commandes qui avait l'habitude d'utiliser d'autres types d'affichages.
8. Le radioaltimètre et son voyant d'alarme étaient montés derrière le manche du pilote et à l'extérieur de la zone de balayage normal des instruments du pilote.
9. Les membres de l'équipage de conduite ne pouvaient pas sélectionner le signal sonore émis par le radioaltimètre pour qu'il soit transmis à leurs casques d'écoute ou au haut-parleur du poste de pilotage.
10. Le bruit de l'avertisseur sonore du radioaltimètre aurait été à peine audible à cause du bruit ambiant dans le poste de pilotage, à moins que le bouton d'émission ait été enfoncé pendant que l'avertisseur se faisait entendre.
11. La nuit, l'éclat du voyant d'alarme de l'avertisseur d'altitude peut gêner les membres d'équipage.
12. La fatigue et le stress ont probablement eu une incidence négative sur les capacités du pilote aux commandes.
13. Le pilote qui n'était pas aux commandes n'a probablement pas surveillé l'approche conformément aux exigences du manuel d'exploitation.
14. Le dispositif de retenue des ceintures de sécurité de la cabine avait été modifié, et il s'est rompu pendant l'écrasement.

3.2 *Causes*

L'équipage de conduite a écarté son attention de la surveillance de l'altitude pendant l'approche alignement de piste arrière et a laissé l'avion descendre au-dessous d'un palier obligatoire. Les facteurs suivants ont contribué à l'accident : l'équipage n'a pas respecté les procédures d'approche publiées; il a mal surveillé l'approche; du brouillard localisé s'est formé rapidement; le pilote était probablement fatigué.

4.0 Mesures de sécurité

4.1 Mesures prises

4.1.1 Mesures prises par l'exploitant

L'exploitant a déclaré que des mesures avaient été prises par le chef pilote après l'accident pour veiller à ce que toutes les procédures normalisées soient respectées. De plus, un examinateur de vol désigné a été engagé à titre d'examineur indépendant de la formation continue, qui devra signaler tous les problèmes directement au chef pilote et au directeur des opérations.

4.1.2 Révision de la réglementation sur les heures de vol et de service

Le Conseil consultatif sur la réglementation aérienne canadienne (CCRAC) a proposé des règlements portant sur certaines des questions relatives à la fatigue soulevées dans ce rapport. Le 12 août 1995, le public a été invité à faire des commentaires sur ce projet de règlement publié dans la Partie 1 de la *Gazette du Canada*. La réglementation proposée traite des questions suivantes :

Temps de service de vol - Définition : temps total qui commence lorsque le membre d'équipage de conduite se présente au travail pour un vol, ou est en disponibilité et peut avoir à se présenter au travail dans un délai d'une heure ou moins, ou se présente au travail pour effectuer une tâche exigée par l'employeur avant un vol.

Temps de service de vol - Prolongations : les prolongations se limiteront aux circonstances opérationnelles imprévisibles et ne seront autorisées que s'il n'existe aucune solution de rechange acceptable. La prolongation ne doit pas dépasser trois heures, et la période de repos subséquente sera prolongée de la même durée que celle de la période de prolongation.

Temps de service de vol - Mise en place : les vols de mise en place (non rémunérés) seront maintenant comptabilisés dans les heures maximales de vol et de service.

Périodes de repos prévisibles et protégées : si un pilote est en réserve ou en disponibilité avec un préavis de plus d'une heure pour se présenter au travail, le transporteur devra soit fournir au pilote une période quotidienne de repos prévisible et protégée, soit avoir recours à des heures de service de vol plus limitées et à des périodes de repos prolongées, ou les deux.

Si elles sont mises en vigueur, les révisions proposées devraient permettre aux équipages de planifier leurs périodes de repos, éliminer les longues périodes de disponibilité ou de service, et offrir des périodes de disponibilité d'une durée raisonnable.

De plus, Transports Canada a l'intention de publier une Circulaire d'information aux transporteurs aériens portant sur la fatigue et sur la prévention de la fatigue.

4.1.3 Impact sans perte de contrôle (CFIT)

Cet accident a été classé dans la catégorie CFIT (impact sans perte de contrôle). Un accident CFIT, de l'anglais *controlled flight into terrain*, est un accident au cours duquel un aéronef est conduit par inadvertance contre le relief, l'eau ou un obstacle, sans que l'équipage ne se doute de la tragédie sur le point de se produire. Au Canada, au cours de la période de 11 ans comprise entre le 1^{er} janvier 1984 et le 31 décembre 1994, 70 aéronefs exploités commercialement (nombre qui ne comprend pas les aéronefs

qui effectuaient des vols spéciaux à basse altitude) ont subi des accidents CFIT. Compte tenu de la fréquence et de la gravité des accidents CFIT, le Bureau effectue une étude de ces accidents pour déterminer s'il existe des lacunes systémiques sous-jacentes. L'étude porte notamment sur l'affichage des altimètres, les avertisseurs d'altitude, les radioaltimètres, les avertisseurs de proximité du sol (GPWS) et les vols MEDEVAC.

Transports Canada vient de produire une vidéo sur les accidents CFIT afin de sensibiliser les pilotes et les exploitants aux facteurs qui contribuent à ces accidents.

4.2 *Mesures à prendre*

4.2.1 *Systèmes d'alarme sonore*

Le radioaltimètre de l'avion a été trouvé en état de marche et réglé sur la MDA de l'approche. Toutefois, comme le signal sonore du radioaltimètre ne pouvait être transmis aux casques d'écoute de l'équipage, il se peut que les pilotes n'aient pas entendu l'alarme sonore qui voulait les avertir que l'avion avait atteint la MDA.

Le 31 mai 1994, deux avions ATR-42-300 ont failli entrer en collision (voir le rapport A9400137 du BST). Les deux appareils étaient équipés d'un système anticollision (TCAS), mais un des équipages n'a pas entendu l'alarme de son TCAS. L'enquête a montré que les signaux sonores du TCAS n'étaient pas transmis aux casques d'écoute de l'équipage, et il est probable que le bruit ambiant et les conversations radio ont masqué le bruit de l'alarme sonore.

Les pilotes peuvent entendre de nombreuses alarmes sonores : décrochage, survitesse, position du train d'atterrissage, configuration, altitude, radioaltimètre, TCAS et GPWS. Ces alarmes sonores sont conçues pour attirer l'attention du pilote sur une situation qui risque de mettre l'appareil en danger, si des mesures ne sont pas prises. Toutefois, beaucoup de ces dispositifs ne transmettent pas les signaux sonores à tous les dispositifs audio utilisés par les pilotes (haut-parleur du poste de pilotage et casque d'écoute), et les Federal Aviation Regulations (FAR) ne comportent aucune exigence à cet effet. Si les pilotes utilisent des casques d'écoute qui atténuent ou suppriment le bruit ambiant, il est fort possible qu'ils ne peuvent pas entendre les alarmes sonores non transmises à leurs casques d'écoute. Le BST a relevé plusieurs accidents dus à des alarmes sonores passées inaperçues. Dans l'espoir de prévenir de tels accidents, le BST recommande que :

le ministère des Transports préconise l'emploi d'alarmes sonores pouvant être entendues par les pilotes, quel que soit le circuit audio utilisé.

A95-15

4.3 *Préoccupations liées à la sécurité*

4.3.1 *Accidents CFIT mettant en cause des vols MEDEVAC*

Cet accident CFIT est survenu au terme d'un vol MEDEVAC. Le BST a relevé plusieurs autres accidents CFIT mettant en cause des vols MEDEVAC, et constate que le nombre de vols MEDEVAC en cause dans ces accidents est hors de proportion.

Le Bureau s'interroge sur les procédures et les pratiques d'exploitation qui pourraient contribuer aux nombreux accidents qui se produisent pendant des vols MEDEVAC. Le BST effectue une étude de ces accidents pour déterminer s'il existe des lacunes systémiques sous-jacentes.

Le présent rapport met fin à l'enquête du Bureau de la sécurité des transports sur cet accident. La publication de ce rapport a été autorisée le 13 septembre 1995 par le Bureau, qui est composé du Président John W. Stants, et des membres Zita Brunet et Hugh MacNeil.

Annexe A - Liste des rapports pertinents

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

LP 87/94 - *Instruments and Light Bulb Analysis* (Analyse des instruments et des ampoules);

LP 103/94 - *Lightbulb Analysis* (Analyse des ampoules);

LP 179/94 - *Warning Horn Examination* (Examen de l'avertisseur sonore).

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

Annexe B - Sigles et abréviations

ATC	contrôle de la circulation aérienne
BST	Bureau de la sécurité des transports du Canada
CCRAC	Conseil consultatif sur la réglementation aérienne canadienne
CFIT	impact sans perte de contrôle (de l'anglais <i>controlled flight into terrain</i>)
dB	décibel(s)
DH	hauteur de décision
ELT	radiobalise de détresse
FAR	Federal Aviation Regulations
FSS	station d'information de vol
GPS	système de positionnement mondial
GPWS	avertisseur de proximité du sol
h	heure(s)
HAC	heure avancée du Centre
IFR	règles de vol aux instruments
ILS	système d'atterrissage aux instruments
IMC	conditions météorologiques de vol aux instruments
lb	livre(s)
lb/po ²	livre(s) par pouce carré
MDA	altitude minimale de descente
MEDEVAC	évacuation médicale
NDB	radiophare non directionnel
NG	régime générateur de gaz
nm	mille(s) marin(s)
ONA	Ordonnance(s) sur la navigation aérienne
PARROT	transpondeur de référence d'orientation et de portée à position ajustable pi/min pied(s) par minute
PIREP	rapport de pilote
PPC	vérification de compétence pilote
RAMP	Programme de modernisation des radars
SARSAT	satellite de recherche et sauvetage
SEA	Service de l'environnement atmosphérique
TCAS	système anticollision
tr/min	tour(s) par minute
UTC	temps universel coordonné
VFR	règles de vol à vue
VMC	conditions météorologiques de vol à vue
VOR	radiophare omnidirectionnel VHF
%	pour cent
°	degré(s)

BUREAUX DU BST

ADMINISTRATION CENTRALE

HULL (QUÉBEC)*

Place du Centre
4^e étage
200, promenade du Portage
Hull (Québec)
K1A 1K8
Tél. (819) 994-3741
Télécopieur (819) 997-2239

INGÉNIERIE

Laboratoire technique
1901, chemin Research
Gloucester (Ontario)
K1A 1K8
Tél. (613) 998-8230
24 heures (613) 998-3425
Télécopieur (613) 998-5572

BUREAUX RÉGIONAUX

ST. JOHN'S (TERRE-NEUVE)

Marine
Centre Baine Johnston
10, place Fort William
1^{er} étage
St. John's (Terre-Neuve)
A1C 1K4
Tél. (709) 772-4008
Télécopieur (709) 772-5806

LE GRAND HALIFAX (NOUVELLE-ÉCOSSE)*

Marine
Place Metropolitan
11^e étage
99, rue Wyse
Dartmouth (Nouvelle-Écosse)
B3A 4S5
Tél. (902) 426-2348
24 heures (902) 426-8043
Télécopieur (902) 426-5143

MONCTON (NOUVEAU-BRUNSWICK)

Productoduc, rail et aviation
310, boulevard Baig
Moncton (Nouveau-Brunswick)
E1E 1C8
Tél. (506) 851-7141
24 heures (506) 851-7381
Télécopieur (506) 851-7467

LE GRAND MONTRÉAL (QUÉBEC)*

Productoduc, rail et aviation
185, avenue Dorval
Pièce 403
Dorval (Québec)
H9S 5J9
Tél. (514) 633-3246
24 heures (514) 633-3246
Télécopieur (514) 633-2944

LE GRAND QUÉBEC (QUÉBEC)*

Marine, productoduc et rail
1091, chemin Saint-Louis
Pièce 100
Sillery (Québec)
G1S 1E2
Tél. (418) 648-3576
24 heures (418) 648-3576
Télécopieur (418) 648-3656

LE GRAND TORONTO (ONTARIO)

Marine, productoduc, rail et aviation
23, rue Wilmot est
Richmond Hill (Ontario)
L4B 1A3
Tél. (905) 771-7676
24 heures (905) 771-7676
Télécopieur (905) 771-7709

PETROLIA (ONTARIO)

Productoduc et rail
4495, rue Petrolia
C.P. 1599
Petrolia (Ontario)
N0N 1R0
Tél. (519) 882-3703
Télécopieur (519) 882-3705

WINNIPEG (MANITOBA)

Productoduc, rail et aviation
335 - 550, rue Century
Winnipeg (Manitoba)
R3H 0Y1
Tél. (204) 983-5991
24 heures (204) 983-5548
Télécopieur (204) 983-8026

EDMONTON (ALBERTA)

Productoduc, rail et aviation
17803, avenue 106 A
Edmonton (Alberta)
T5S 1V8
Tél. (403) 495-3865
24 heures (403) 495-3999
Télécopieur (403) 495-2079

CALGARY (ALBERTA)

Productoduc et rail
Édifice Sam Livingstone
510 - 12^e avenue sud-ouest
Pièce 210, C.P. 222
Calgary (Alberta)
T2R 0X5
Tél. (403) 299-3911
24 heures (403) 299-3912
Télécopieur (403) 299-3913

LE GRAND VANCOUVER (COLOMBIE-BRITANNIQUE)

Marine, productoduc, rail et aviation
4 - 3071, rue Number Five
Richmond (Colombie-Britannique)
V6X 2T4
Tél. (604) 666-5826
24 heures (604) 666-5826
Télécopieur (604) 666-7230

*Services disponibles dans les deux langues officielles

○ Services en français (extérieur de la RCN) : 1-800-387-3557