



Bureau de la sécurité
des transports
du Canada

Transportation
Safety Board
of Canada



RAPPORT D'ENQUÊTE SUR LA SÉCURITÉ DU TRANSPORT AÉRIEN A23W0039

AFFAISSEMENT DU TRAIN D'ATERRISSAGE

Northwestern Air Lease Ltd.

British Aerospace P.L.C. Jetstream modèle 3112, C-FCPE

Aéroport de Fort Smith (CYSM) (Territoires du Nord-Ouest)

14 avril 2023

À PROPOS DE CE RAPPORT D'ENQUÊTE

Ce rapport est le résultat d'une enquête sur un événement de catégorie 3. Pour de plus amples renseignements, se référer à la Politique de classification des événements au www.bst.gc.ca.

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

CONDITIONS D'UTILISATION

Utilisation dans le cadre d'une procédure judiciaire, disciplinaire ou autre

La *Loi sur le Bureau canadien d'enquête sur les accidents de transport et de la sécurité des transports* stipule que :

- 7(3) Les conclusions du Bureau ne peuvent s'interpréter comme attribuant ou déterminant les responsabilités civiles ou pénales.
- 7(4) Les conclusions du Bureau ne lient pas les parties à une procédure judiciaire, disciplinaire ou autre.

Par conséquent, les enquêtes du BST et les rapports qui en découlent ne sont pas créés pour être utilisés dans le contexte d'une procédure judiciaire, disciplinaire ou autre.

Aviser le BST par écrit si ce rapport d'enquête est utilisé ou pourrait être utilisé dans le cadre d'une telle procédure.

Reproduction non commerciale

À moins d'avis contraire, vous pouvez reproduire le contenu du présent rapport d'enquête en totalité ou en partie à des fins non commerciales, dans un format quelconque, sans frais ni autre permission, à condition :

- de faire preuve de diligence raisonnable quant à la précision du contenu reproduit;
- de préciser le titre complet du contenu reproduit, ainsi que de stipuler que le Bureau de la sécurité des transports du Canada est l'auteur;
- de préciser qu'il s'agit d'une reproduction de la version disponible au [URL où le document original se trouve].

Reproduction commerciale

À moins d'avis contraire, il est interdit de reproduire le contenu du présent rapport d'enquête, en totalité ou en partie, à des fins de diffusion commerciale sans avoir obtenu au préalable la permission écrite du BST.

Contenu faisant l'objet du droit d'auteur d'une tierce partie

Une partie du contenu du présent rapport d'enquête (notamment les images pour lesquelles une source autre que le BST est citée) fait l'objet du droit d'auteur d'une tierce partie et est protégé par la Loi sur le droit d'auteur et des ententes internationales. Pour des renseignements sur la propriété et les restrictions en matière des droits d'auteurs, veuillez communiquer avec le BST.

Citation

Bureau de la sécurité des transports du Canada, Rapport d'enquête sur la sécurité du transport aérien A23W0039 (publié le 14 janvier 2026).

Bureau de la sécurité des transports du Canada
200, promenade du Portage, 4e étage
Gatineau QC K1A 1K8
819-994-3741; 1-800-387-3557
www.bst.gc.ca
communications@bst.gc.ca

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le Bureau de la sécurité des transports du Canada, 2026

Rapport d'enquête sur la sécurité du transport aérien A23W0039

No de cat. TU3-10/23-0039F-PDF
ISBN 978-0-660-97865-9

Le présent rapport se trouve sur le site Web du Bureau de la sécurité des transports du Canada à l'adresse www.bst.gc.ca

This report is also available in English.

Table des matières

1.0 Renseignements de base	6
1.1 Déroulement du vol	6
1.2 Personnes blessées	7
1.3 Dommages à l'aéronef	7
1.4 Autres dommages	7
1.5 Renseignements sur le personnel	8
1.6 Renseignements sur l'aéronef	9
1.6.1 Trains d'atterrissage principaux	9
1.6.2 Prolongation du temps entre les révisions dans le calendrier de maintenance approuvé	15
1.7 Renseignements météorologiques	16
1.8 Aides à la navigation	16
1.9 Communications	16
1.10 Renseignements sur l'aérodrome	16
1.11 Enregistreurs de bord	16
1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact	16
1.12.1 Généralités	16
1.12.2 Examen visuel des ruptures	17
1.12.3 Examen microscopique des ruptures	19
1.12.4 Examen approfondi de la face avant du logement de l'ergot	21
1.12.5 Autres publications mentionnées dans les bulletins de service	22
1.12.6 Modes de défaillance	24
1.12.7 Inspection par courants de Foucault	25
1.13 Renseignements médicaux et pathologiques	29
1.14 Incendie	29
1.15 Questions relatives à la survie des occupants	29
1.16 Essais et recherche	29
1.16.1 Rapports de laboratoire du BST	29
1.17 Renseignements sur les organismes et sur la gestion	29
1.18 Renseignements supplémentaires	30
1.18.1 Historique de défaillance de train d'atterrissage principal sur l'aéronef Jetstream modèle 3112	30
1.18.2 Consigne de navigabilité et bulletins de service en vigueur relatifs au train d'atterrissage principal des aéronefs Jetstream de la série 3100	30
2.0 Analyse	32
2.1 Défaillance du train d'atterrissage principal	32
2.2 Conformité avec les bulletins de service	32
2.3 Inspection par courants de Foucault	33
3.0 Faits établis	35
3.1 Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs	35

3.2	Faits établis quant aux risques	35
4.0	Mesures de sécurité	36
4.1	Mesures de sécurité prises	36
4.1.1	BAE Systems (Operations) Limited et APPH	36
Annexes	37
	Annexe A – Défaillances antérieures d'un train d'atterrissage principal sur les aéronefs Jetstream de la série 3100	37

RAPPORT D'ENQUÊTE SUR LA SÉCURITÉ DU TRANSPORT AÉRIEN A23W0039

AFFAISSEMENT DU TRAIN D'ATERRISSAGE

Northwestern Air Lease Ltd.

British Aerospace P.L.C. Jetstream modèle 3112, C-FCPE

Aéroport de Fort Smith (CYSM) (Territoires du Nord-Ouest)

14 avril 2023

Le Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) a enquêté sur cet événement dans le but de promouvoir la sécurité des transports. Le Bureau n'est pas habilité à attribuer ni à déterminer les responsabilités civiles ou pénales. **Le présent rapport n'est pas créé pour être utilisé dans le contexte d'une procédure judiciaire, disciplinaire ou autre.** Voir Conditions d'utilisation à la page 2. Les pronoms et les titres de poste masculins peuvent être utilisés pour désigner tous les genres afin de respecter la *Loi sur le Bureau canadien d'enquête sur les accidents de transport et de la sécurité des transports* (L.C. 1989, ch. 3).

RÉSUMÉ

Le 14 avril 2023, à 10 h 25, heure avancée des Rocheuses, l'aéronef British Aerospace P.L.C. Jetstream modèle 3112 de Northwestern Air Lease Ltd (immatriculation C-FCPE, numéro de série 825) a quitté l'aéroport de Fort Smith (CYSM) (Territoires du Nord-Ouest) pour effectuer un vol d'entraînement (vol PLR732T) avec le commandant de bord et le premier officier à bord. À 12 h 27, l'aéronef est revenu à l'aéroport. Peu après l'atterrissage, le train d'atterrissage principal gauche s'est affaissé et l'aéronef est sorti de la piste. Il n'y a eu aucun blessé. Le train d'atterrissage principal gauche, le moteur, l'hélice et l'extrémité de l'aile de l'aéronef, ainsi que son conteneur de fret ventral, ont subi des dommages importants.

1.0 RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1 Déroulement du vol

Le 14 avril 2023, à 10 h 25¹, l'aéronef British Aerospace P.L.C. (British Aerospace) Jetstream modèle 3112 exploité par Northwestern Air Lease Ltd (NWAL) a quitté l'aéroport de Fort Smith (CYSM) (Territoires du Nord-Ouest) pour un vol d'entraînement selon les règles de vol à vue (sous-partie 704 du *Règlement sur l'aviation canadien*) (vol PLR732T) avec le commandant de bord et le premier officier à bord.

Le vol d'entraînement comprenait les exercices suivants :

- Calculs de données de décollage et d'atterrissage;
- Un décollage normal avec un vent traversier;
- Virages serrés;
- 4 configurations de décrochage différentes;
- Coupure de moteur à la vitesse V_2 ² en altitude;
- Vol dans les cendres volcaniques;
- Vol dans de l'air turbulent;
- Une approche au radiophare omnidirectionnel à très haute fréquence (VOR) avec simulation d'incendie du moteur droit.

Le premier officier, qui recevait la formation, était le pilote aux commandes.

L'aéronef a parcouru environ 61 milles marins vers le sud-sud-ouest jusqu'à Peace Point (Alberta), qui se trouve au bord de la rivière Peace, avant de revenir à CYSM à 12 h 27. Le commandant de bord et le premier officier ont ensuite effectué un dernier exercice, l'approche indirecte VOR RWY 12 [piste 12] pour la piste 30 avec une panne simulée d'un moteur, suivie d'une procédure d'évacuation d'urgence après l'atterrissage. L'aéronef a été configuré avec les trains d'atterrissage sortis et les volets réglés à 20° en approche finale de la piste 30.

Pendant l'arrondi initial, l'aéronef a involontairement repris de l'altitude (ballooning) et le commandant de bord a corrigé la trajectoire de vol. Le premier officier a ensuite posé l'aéronef à 12 h 30. Pendant la course à l'atterrissage, le train d'atterrissage principal gauche s'est affaissé et le commandant de bord a pris les commandes de l'aéronef. L'aéronef a ensuite glissé sur le côté gauche de la piste à environ 1880 pieds au-delà du seuil, heurtant et sectionnant un feu de bord de piste. L'aéronef s'est immobilisé dans l'herbe à environ 2800 pieds du point de poser. Le commandant de bord a alors coupé les moteurs de l'aéronef et déchargé les extincteurs des moteurs avant que lui et le premier officier ne sortent de l'appareil par la porte principale de la cabine sans autre incident.

¹ Les heures sont exprimées en heure avancée des Rocheuses (temps universel coordonné moins 6 heures).

² Selon NWAL, une coupure de moteur à la vitesse V_2 consiste en une approche interrompue, suivie d'une panne moteur simulée au moment où la remontée est initiée.

1.2 Personnes blessées

Il n'y a eu aucun blessé.

1.3 Dommages à l'aéronef

L'aéronef est resté à l'endroit pendant l'atterrissage, mais a subi des dommages importants (figure 1) lorsque le train d'atterrissage principal gauche s'est affaissé à la suite d'une défaillance du logement de l'ergot³. Le train d'atterrissage principal gauche, l'extrémité de l'aile, l'hélice et le moteur ont subi des dommages importants, tout comme le conteneur de fret ventral.

Figure 1. Vue de l'aéronef à l'étude (vers le nord-ouest) et des dommages (Source : tierce partie, avec permission)



1.4 Autres dommages

Un feu de bord de piste a été endommagé lors de la sortie de piste de l'aéronef.

³ Dans 3 des principaux bulletins de service relatifs à la maintenance du train d'atterrissage principal (SB 32-A-JA851226, SB 32-19 et SB 32-JM7862), le terme « spigot housing » [logement de l'ergot] est employé. Ce terme est utilisé dans le présent rapport. Cependant, ce composant structurel du train d'atterrissage principal est également connu sous les noms de « pintle » [pivot] ou « yoke pintle » [pivot d'attelage] dans d'autres sources, y compris les bulletins de service n° 32-A-JA140940, 32-56, 32-JA960142 et la consigne de navigabilité (CN) 2016-0224 de l'Agence de l'Union européenne pour la sécurité aérienne (AESA). Pour connaître les titres complets de ces sources, consulter la section 1.18.2 *Consignes de navigabilité et bulletins de service en vigueur relatifs au train d'atterrissage principal des aéronefs de la série Jetstream 3100* du présent rapport.

1.5 Renseignements sur le personnel

Tableau 1. Renseignements sur le personnel

	Commandant de bord	Premier officier / pilote en formation
Licence de pilote	Licence de pilote de ligne – avion	Licence de pilote professionnel – avion
Date d'expiration du certificat médical	1er octobre 2023	1er mai 2023
Heures totales de vol	11 018	269
Heures de vol sur type	8067	5,5
Heures de vol au cours des 24 heures précédant l'événement	2,3	2,3
Heures de vol au cours des 7 jours précédant l'événement	7,5	3,6
Heures de vol au cours des 30 jours précédant l'événement	10,6	5,5
Heures de vol au cours des 90 jours précédant l'événement	46	38
Heures de vol sur type au cours des 90 jours précédant l'événement	46	5,5
Heures de service avant l'événement	4	4
Heures hors service avant la période de travail	15	72

Lors du vol à l'étude, le commandant de bord, qui était le pilote en chef de NWAL, était assis à gauche et était le pilote surveillant. Le premier officier, qui recevait la formation, occupait le siège de droite et était le pilote aux commandes.

Le commandant de bord était titulaire d'une licence de pilote de ligne – avion avec une qualification pour le vol aux instruments du groupe 1. Il était titulaire d'une qualification de type pour les aéronefs des séries British Aerospace Jetstream 3100 (BA31) et 3200 (BA32). Le commandant de bord était employé par NWAL depuis avril 2003; il a d'abord été premier officier, puis est devenu commandant de bord en 2005. En 2006, il est devenu commandant instructeur, puis, en 2008, chef pilote.

Le premier officier était titulaire d'une licence de pilote professionnel – avion avec une qualification pour le vol aux instruments de groupe 1. Au moment de l'événement, le premier officier venait d'être embauché par NWAL et suivait une formation pour devenir premier officier sur les aéronefs Jetstream des séries 3100 et 3200.

Le commandant de bord et le premier officier possédaient la licence et les qualifications requises pour effectuer le vol, conformément à la réglementation en vigueur.

1.6 Renseignements sur l'aéronef

Tableau 2. Renseignements sur l'aéronef

Constructeur	British Aerospace P.L.C.*
Type, modèle et immatriculation	Jetstream modèle 3112, C-FCPE
Année de construction	1988
Numéro de série	825
Date d'émission du certificat de navigabilité	3 février 1989
Total d'heures de vol cellule	28 346,3 heures
Nombre total de cycles de la cellule	28 956
Type de moteur (nombre)	Garrett TPE331-10UGR-516H (2)
Type d'hélice (nombre)	MT-Propeller GmbH MTV-27-1 (2)
Masse maximale autorisée au décollage	15 322 lb (6950 kg)
Types de carburant recommandés	Jet A, Jet A-1, JP-8
Type de carburant utilisé	Jet A

* À l'heure actuelle, BAE Systems (Operations) Limited (BAE Systems) détient le certificat de type pour ce type d'aéronef.

L'aéronef Jetstream de la série 3100 de British Aerospace est un aéronef à turbopropulseurs d'une capacité de 19 passagers. Au moment de l'événement, seulement 2 aéronefs de ce type, dont l'aéronef à l'étude, étaient exploités au Canada.

L'aéronef à l'étude était exploité par NWAL depuis 1995 et était entretenu conformément à un calendrier de maintenance approuvé par Transports Canada (TC). Aucune défectuosité non corrigée n'était consignée au moment de l'événement.

L'aéronef avait fait l'objet de travaux de maintenance d'août 2022 à février 2023. Le 22 février 2023, les travaux de maintenance ont été achevés et certifiés avec un total d'heures de vol cellule de 28 331,5 heures et 28 942 cycles d'atterrissage. Plusieurs vols (dont le vol à l'étude) totalisant 14,8 heures et 14 cycles d'atterrissage ont été effectués entre le 22 février 2023 et le 14 avril 2023. Douze entrées supplémentaires relatives à la maintenance continue ont été indiquées dans les dossiers techniques au cours de la même période.

Lors du vol d'entraînement à l'étude, la masse au décollage était de 13 119 livres et la masse à l'atterrissage, de 11 768 livres. La masse de l'aéronef était inférieure à la masse maximale à l'atterrissage, et son centre de gravité se trouvait dans les limites prescrites.

1.6.1 Trains d'atterrissage principaux

Les trains d'atterrissage principaux de la série Jetstream 3100 sont sortis et rentrés par commande hydraulique. L'absorption des chocs est assurée par un amortisseur oléopneumatique intégré à chaque train d'atterrissage. Chaque cylindre des trains d'atterrissage principaux est en aluminium DTD 5094, sauf si les modifications décrites

dans le bulletin de service facultatif n° 32-JA-880340⁴ ont été effectuées⁵, et que les cylindres ont donc été remplacés par des neufs en matériau L161 à composition contrôlée. L'aéronef à l'étude n'a pas fait l'objet des modifications décrites dans ce bulletin de service facultatif.

Chaque train d'atterrissage principal est attaché à l'aile par les demi-logements de palier montés sur les ergots à travers le logement des ergots. Pendant l'atterrissage du vol à l'étude, le logement de l'ergot du train d'atterrissage principal gauche s'est rompu, ce qui a entraîné l'affaissement de ce train d'atterrissage (figures 2, 3 et 4).

⁴ Jetstream, Service Bulletin (SB) No. 32-JA-880340: Landing Gear – To Introduce Main Landing Gear Cylinders Manufactured from L161 Material (6 janvier 1989).

⁵ Les instructions d'exécution pour se conformer au bulletin de service n° 32-JA-880340 se trouvent dans British Aerospace, Dynamics Division, Service Bulletin No. 32-36: Landing Gear – Main Gear – Fit Cylinder Manufactured from New Material (20 July 1988) and APPH Precision Hydraulics, Service Bulletin No. 32-67: Landing Gear – Main Gear – New Casing Introduced (Janvier 1999).

Figure 2. Vue du train d'atterrissage principal gauche sur un aéronef de référence, vue vers l'extrémité de l'aile (Source : BST)

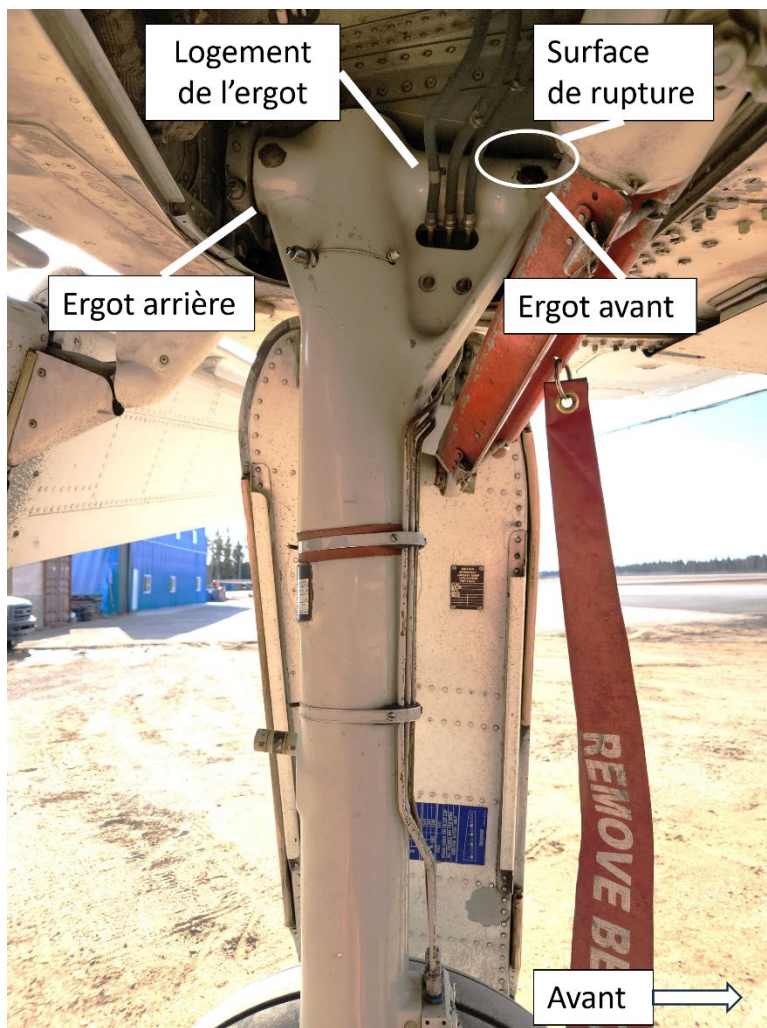


Figure 3. Schéma illustrant les principaux composants du train d'atterrissage principal (Source : APPH Ltd, Overhaul Manual 32-10-1, Overhaul Manual with Illustrated Parts List for Main Gear, révision n° 20 [24 septembre 2025], Description, Operation and Data, p. 2, avec annotations du BST)

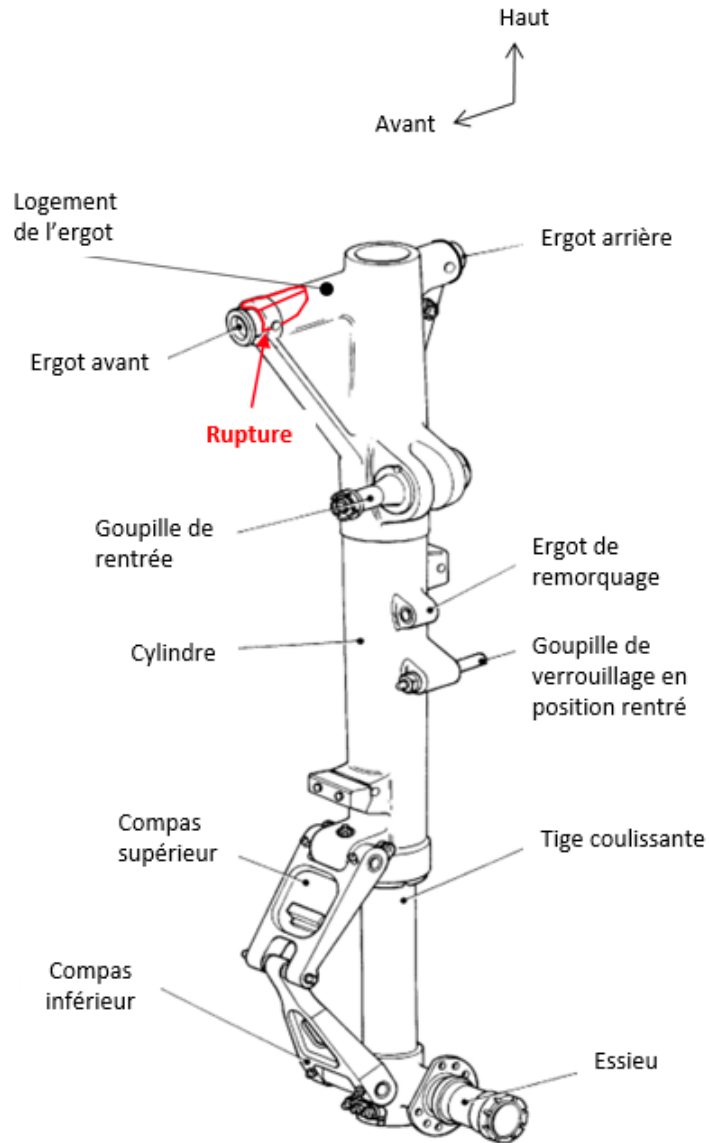
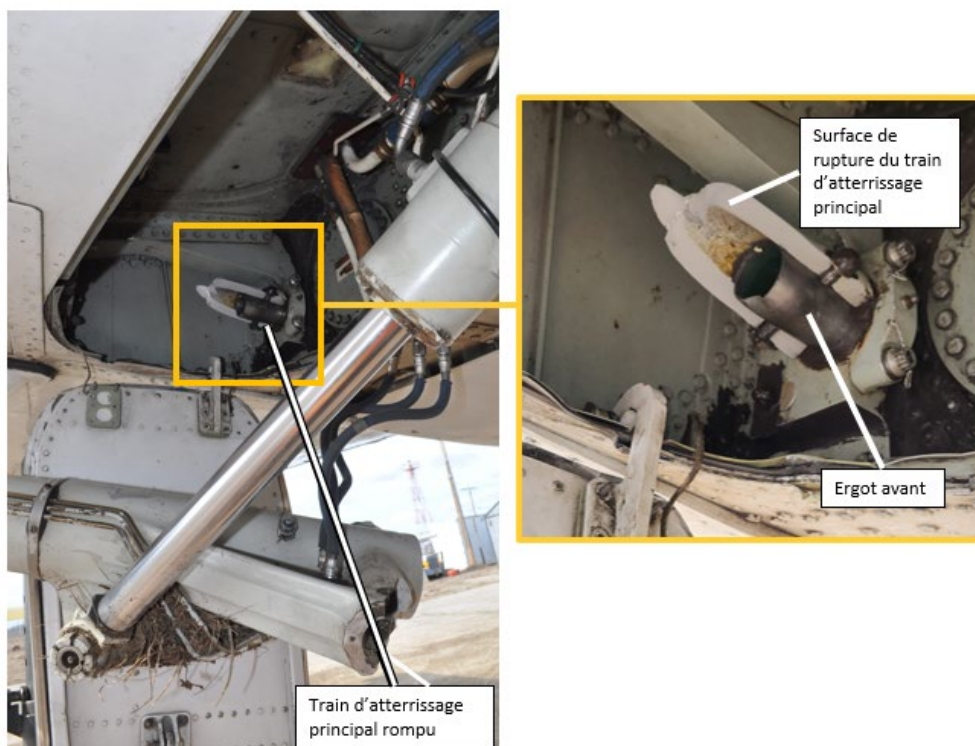


Figure 4. Image principale montrant une partie du train d'atterrissage principal gauche rompu et image en médaillon montrant une vue rapprochée des pièces cassées (Source : BST)



Au moment de l'événement, le train d'atterrissage principal comptait 1274 cycles depuis sa révision en décembre 2016. Le train d'atterrissage principal gauche avait été installé sur l'aéronef à l'étude le 22 septembre 2020 et comptait alors 644 cycles depuis sa révision. Depuis l'installation du train d'atterrissage principal gauche en 2020, le train d'atterrissage principal avait été inspecté 3 fois par courants de Foucault⁶ (la même inspection que celle effectuée lors de la révision) et 10 fois visuellement. Conformément à la consigne de navigabilité (CN) 2016-0224 de l'Agence de l'Union européenne pour la sécurité aérienne (AESA)⁷, la dernière inspection par essais non destructifs (END) (courants de Foucault) avait été effectuée le 13 décembre 2022, et une certification technique avait été signée dans le carnet de route de l'aéronef le 22 février 2023 (à 28 942 cycles de vol cellule). De plus, une inspection visuelle avait été effectuée le 22 février 2023.

Pendant l'inspection par courants de Foucault effectuée en décembre 2022, une discontinuité (figure de corrosion) avait été constatée à la position de 6 h sur la face avant du logement de l'ergot. Cette discontinuité avait été réparée à ce moment-là.

⁶ La section 1.12.7 *Inspection par courants de Foucault* dans le présent rapport contient une description des inspections par courants de Foucault.

⁷ Agence de l'Union européenne pour la sécurité aérienne (AESA), consigne de navigabilité (CN) 2016-0224 : Landing Gear – Main Landing Gear – Inspection / Replacement (publiée le 9 novembre 2016).

1.6.1.1 Exigences de maintenance pour les trains d'atterrissage principaux

La CN 2016-0224 de l'AESA exige que les trains d'atterrissage principaux soient inspectés conformément au bulletin de service n° 32-A-JA851226 de BAE Systems.

Le bulletin de service n° 32-A-JA851226 exige que les inspections soient effectuées en 2 parties. La partie A, qui consiste à effectuer des END par courants de Foucault, doit être exécutée au cours des 300 premiers atterrissages (cycles d'atterrissage) ou des 3 mois civils suivant la réception initiale de ce bulletin de service, puis répétée tous les 1200 atterrissages ou dans un délai de 1 année civile, selon ce qui se présente en premier. Une inspection par courants de Foucault est également requise au cours des 300 premiers atterrissages ou des 3 mois suivant un [traduction] « atterrissage anormal ou brutal⁸ ». La partie B, qui consiste en une inspection visuelle intermédiaire, doit être exécutée à intervalles de 300 atterrissages ou de 3 mois civils, selon ce qui se présente en premier⁹.

Le bulletin de service indique que la partie C, qui expose en détail une inspection par END (courants de Foucault) de l'ouverture dans laquelle est monté le microcontact, est requise si le train d'atterrissage principal comporte une ouverture logeant un microcontact dans chaque âme de cylindre¹⁰. Cette inspection ne s'applique pas au train d'atterrissage principal concerné dans l'événement à l'étude, qui ne comportait pas d'ouverture de microcontact.

Le bulletin de service n° 32-A-JA851226 fait référence à plusieurs autres bulletins de service qui fournissent des instructions pour effectuer les inspections et qui sont mentionnés tout au long du présent rapport¹¹.

La CN 2016-0224 exige également de se conformer au bulletin de service n° 32-JM7862, qui a été publié par le fabricant afin de protéger l'ergot avant de chaque train d'atterrissage principal contre une dégradation due au contact avec l'environnement pouvant entraîner des fissures. Ce bulletin de service prévoit la restauration du traitement de protection (Alocrom 1200 ou Alodine) sur la face avant du logement de l'ergot (au besoin), l'installation d'une rondelle protectrice à languette sur la face avant à l'aide d'un scellant Loctite, ainsi que l'application d'un composé de protection contre la corrosion (Tectyl 502-C) sur le reste de la surface exposée de la face avant¹². Une fois la rondelle installée, une

⁸ BAE Systems (Operations) Limited, Service Bulletin (SB) 32-A-JA 851226 : Landing Gear – To Introduce NDT and Visual Inspections of Main Landing Gear Spigot Housing for Cracks, révision 8 (12 novembre 2020), 1. Planning Information, p. 4.

⁹ Ibid.

¹⁰ Ibid.

¹¹ Pour obtenir la liste des bulletins de service actuels, consulter la section 1.18.2 *Consignes de navigabilité et bulletins de service en vigueur relatifs au train d'atterrissage principal des aéronefs de la série Jetstream 3100* du présent rapport.

¹² BAE Systems (Operations) Limited, Service Bulletin (SB) 32-JM7862 : Landing Gear – Introduction of Special Washer to Protect the Main Landing Gear Cylinder at the Forward Spigot, révision 4 (11 janvier 2016), 2. Accomplishment Instructions, B. Accomplishment, p. 7-8.

marque témoin doit être peinte sur la partie à languette afin de détecter toute rotation accidentelle de la rondelle pendant la maintenance¹³.

1.6.2 Prolongation du temps entre les révisions dans le calendrier de maintenance approuvé

Selon le calendrier de maintenance approuvé par TC, le fabricant exige que les trains d'atterrissage principaux soient révisés quand ils atteignent 10 000 cycles d'atterrissage ou 6 ans, selon ce qui se présente en premier. Cependant, NWAL a demandé l'autorisation de prolonger la période entre les révisions à 9 ans, faisant valoir que les trains d'atterrissage principaux ne cumuleraient que 4 000 à 6 000 cycles, soit 40 à 60 % de la limite, au cours de la période de 6 ans. De plus, NWAL a soutenu que les pièces des trains d'atterrissage principaux présentaient un niveau d'usure inférieur à la moyenne et que les coûts annuels de révision étaient nettement inférieurs à la marge de tolérance normalisée pour la révision, ce qui indiquait que les trains d'atterrissage principaux étaient en bon état. Aucune discussion avec le fabricant n'a été engagée lors du processus de prolongation. TC a exprimé son accord avec NWAL et a approuvé la prolongation en 2012. Selon les exigences du fabricant, les trains d'atterrissage principaux auraient dû faire l'objet d'une révision en décembre 2022, mais en raison de la prolongation accordée par TC, aucune révision ne devait avoir lieu avant décembre 2025. Le train d'atterrissage principal gauche a subi une défaillance pendant le vol à l'étude en avril 2023.

Dans le manuel *Aviation civile Approbation des calendriers de maintenance Manuel de politiques et procédures* (TP 13094) de TC, qui a été conçu pour orienter le personnel de l'industrie sur l'élaboration et l'approbation des calendriers de maintenance des aéronefs, la section 13.1 prévoit ce qui suit :

Pour ce qui est des modifications faites pour des raisons économiques, il faut faire la preuve d'un niveau acceptable de fiabilité, sous la forme de rapports d'ateliers, de constatations d'inspection, etc. On doit normalement justifier la prolongation du temps entre révisions (TBO) d'articles importants comme les moteurs et les hélices par un programme d'essai/échantillonnage¹⁴.

NWAL avait demandé cette prolongation pour des raisons économiques. TC ne disposait d'aucun renseignement permettant de valider les données ou les recherches internes, à l'exception de la lettre d'autorisation adressée à NWAL.

Au moment de l'événement à l'étude, même si TC avait prolongé la période entre les révisions exigée des trains d'atterrissage principaux au-delà de celle de 6 ans prévue par le fabricant, les inspections exigées par la consigne de navigabilité 2016-0224 visant la détection de fissures avaient toujours lieu chaque année depuis la dernière inspection de révision, au cours de laquelle aucune fissure n'avait été trouvée.

¹³ Ibid., p. 7.

¹⁴ Transports Canada, TP 13094, *Aviation civile, Approbation des calendriers de maintenance, Manuel de politiques et procédures*, Révision 3 (juin 2006), Chapitre 3 : Approbation, section 13.1.

1.7 Renseignements météorologiques

Le message d'observation météorologique régulière d'aérodrome (METAR) pour CYSM émis à 12 h signalait ce qui suit :

- vents variables à 6 nœuds;
- visibilité de 15 milles terrestres;
- quelques nuages à 12 000 pieds au-dessus du sol (AGL) et 18 000 pieds AGL, un plafond fragmenté à 24 000 pieds AGL et une autre couche de nuages fragmentés à 27 000 pieds AGL;
- température de 4 °C et point de rosée de -5 °C;
- calage altimétrique de 30,02 pouces de mercure.

Les conditions météorologiques n'ont pas été considérées comme un facteur dans l'événement à l'étude.

1.8 Aides à la navigation

Sans objet.

1.9 Communications

Il n'y a pas eu, que l'on sache, de problème de communication.

1.10 Renseignements sur l'aérodrome

CYSM est un aérodrome certifié situé au sud de la rivière des Esclaves, à l'ouest de la ville de Fort Smith (Territoires du Nord-Ouest). L'aéroport possède 2 pistes sécantes. La piste 03/21 mesure environ 1800 pieds de long et 100 pieds de large, et est recouverte partiellement de gravier et partiellement d'asphalte. La piste 12/30 est considérée comme la piste principale. Elle mesure 6001 pieds de long et 100 pieds de large et est entièrement couverte d'asphalte.

1.11 Enregistreurs de bord

L'aéronef disposait également d'un enregistreur de conversations de poste de pilotage, qui avait une capacité d'enregistrement de 2 heures. Ses données ont été téléchargées avec succès et comprenaient des enregistrements audio du vol à l'étude.

L'aéronef n'avait pas d'enregistreur de données de vol, et il n'était pas tenu d'en avoir en vertu de la réglementation de TC.

1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact

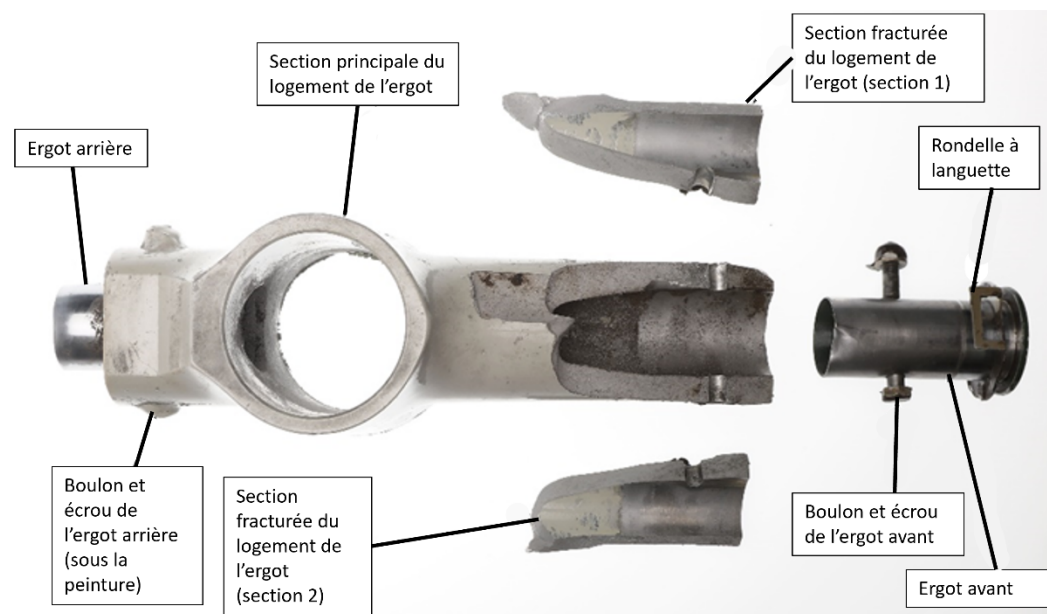
1.12.1 Généralités

Pendant l'atterrissage du vol à l'étude, le train d'atterrissage principal gauche s'est fracturé dans la partie avant du logement de l'ergot et n'a pas supporté le poids de l'aéronef. L'aile

gauche, l'hélice et le conteneur de fret ventral sont entrés en contact avec la piste pendant la course à l'atterrissage.

L'extrémité avant du logement de l'ergot s'est rompue en 3 morceaux (figure 5), provoquant la séparation d'une partie du logement de l'ergot avant et sa chute. L'ergot a été retenu par le demi-logement de palier qui maintenait le train à l'aéronef.

Figure 5. Pièces du train d'atterrissage principal brisé (Source : BST)

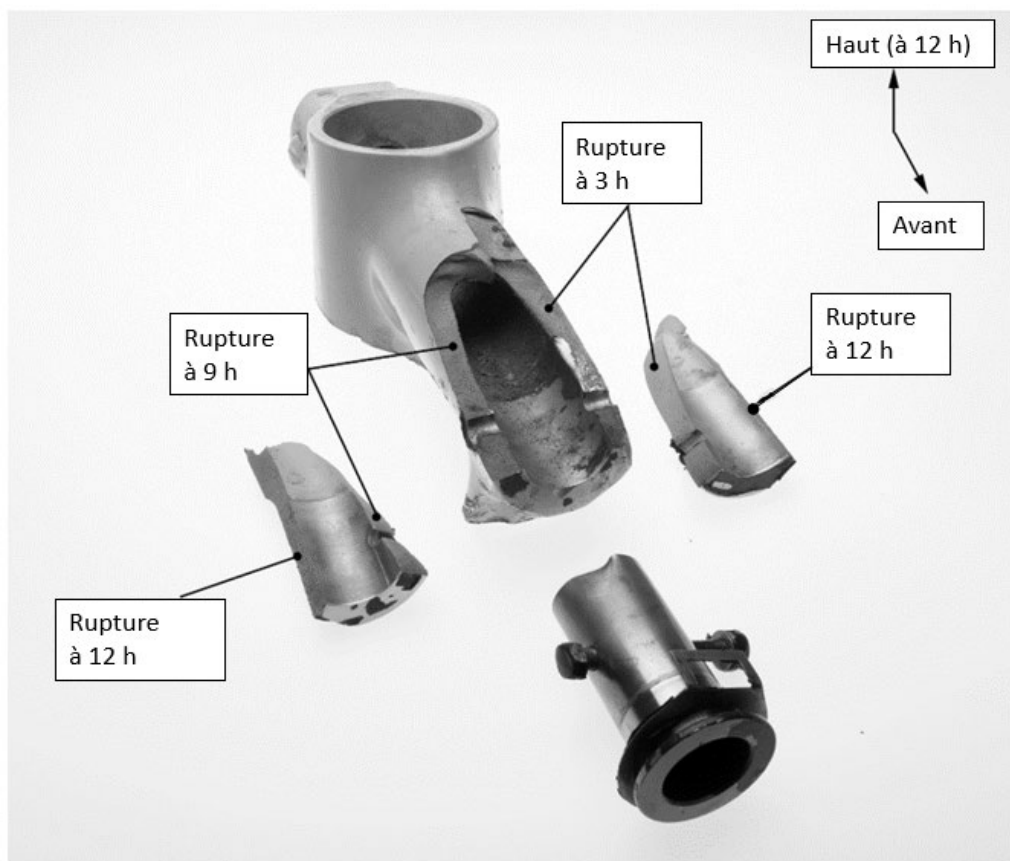


Le laboratoire du BST a réalisé un examen approfondi des pièces rompues du train d'atterrissage principal gauche.

1.12.2 Examen visuel des ruptures

Lorsque l'extrémité avant du logement de l'ergot du train d'atterrissage principal a fait l'objet d'un examen visuel et que l'on a constaté qu'il s'était rompu en 3 morceaux, des ruptures ont été observées aux positions 3 h, 9 h et 12 h (figure 6).

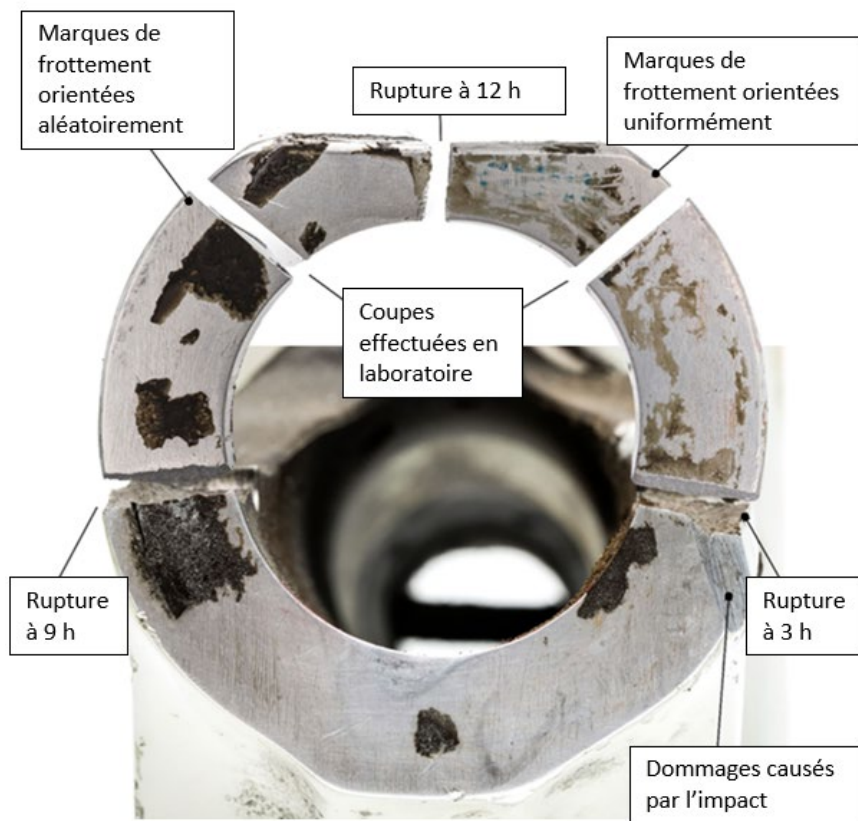
Figure 6. Positions des 3 ruptures dans le logement de l'ergot (Source : BST)



Les ruptures situées à 3 h et à 9 h croisaient chacune un trou de boulon, ce qui indique qu'elles étaient composées chacune de 2 ruptures indépendantes, une à l'avant et une à l'arrière du trou de boulon (figure 6). Du scellant a été observé sur le bord de l'une des surfaces de jointure de la rupture, adjacent à la face avant du logement de l'ergot. La face avant du logement de l'ergot (figure 7) a également été examinée pour y détecter tout signe de protection contre la corrosion. Des résidus de scellant brunâtre et noir (probablement du Loctite 5188) se trouvaient sur la face avant; toutefois, il n'y avait aucune indication visuelle d'une couche de conversion chimique¹⁵, telle que l'Alocrom 1200 (de couleur dorée) ou le Tectyl 502-C (un composé à base de cire de couleur ambrée). Il n'y avait également aucune trace d'apprêt, de peinture ou de couche de conversion chimique sur la zone qui avait été réparée.

¹⁵ La couche de conversion chimique est un procédé de traitement de surface des métaux conçu pour offrir une protection contre la corrosion. Sous l'effet d'une réaction chimique, la surface du métal est modifiée de manière à former une fine couche protectrice.

Figure 7. Face avant du logement de l'ergot, avec des résidus visibles (Source : BST)



La rondelle à languette (figure 5), qui avait été installée sur la face avant du logement de l'ergot, a aussi été examinée afin de détecter tout signe de rotation. Aucun signe de rotation n'a été observé; toutefois, on a constaté qu'aucune marque témoin n'avait été peinte sur la languette, comme l'exige le bulletin de service n° 32-JM7862.

La face avant du logement de l'ergot et l'intérieur de l'alésage du logement de l'ergot ont aussi été examinés afin d'y détecter tout signe de corrosion ou de fissuration. Une fissure a été observée sur la face avant, à la position de 12 h, adjacente à l'alésage et à la rupture. Aucune corrosion importante n'a été observée.

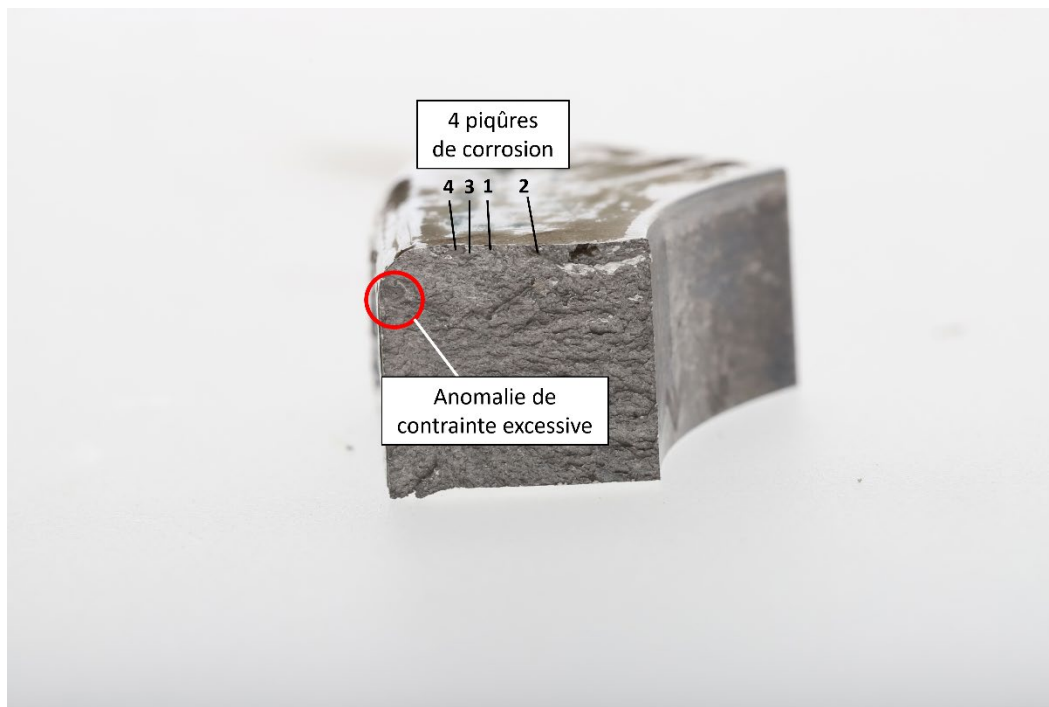
1.12.3 Examen microscopique des ruptures

La face avant, la surface intérieure de l'alésage et la surface peinte ont également été examinées à l'aide d'un microscope électronique à balayage. Des fissures superficielles ont été observées le long de la face avant, près de la rupture principale à 12 h; la plupart de ces fissures étaient minuscules (d'une longueur inférieure à 0,505 mm, soit 0,02 pouce), à l'exception de la fissure plus importante qui avait été observée lors de l'examen macroscopique. Cette fissure plus importante mesurait 1,6 mm (0,06 pouce) de long, et environ la moitié de la fissure était remplie de ce qui semblait être du scellant. Une spectrométrie à dispersion d'énergie (EDS) qualitative a été effectuée à la fois sur le scellant adhérent à la face avant du logement de l'ergot et sur ce matériau dépassant de la fissure

plus importante. Les deux spectres étaient très similaires, et il est probable que le matériau présent dans la fissure provenait du scellant utilisé lors de l'installation de la rondelle. Aucune des autres fissures superficielles ne semblait être remplie de scellant. Outre les fissures, très peu de piqûres de corrosion ont été observées.

Les anomalies observées sur la surface de rupture à 12 h étaient principalement celles d'une cassure conchoïdale¹⁶ (correspondant à une rupture intergranulaire) et à des fossettes ductiles (correspondant à une contrainte ductile excessive). Ces anomalies provenaient de 4 petites piqûres de corrosion et de 1 anomalie de contrainte excessive, celle-ci apparaissant sous la forme d'un cercle sombre (figure 8). Les surfaces de rupture à 3 h et à 9 h présentaient également les caractéristiques d'une cassure conchoïdale et des fossettes ductiles. Cependant, sur ces 2 surfaces de rupture, il n'y avait aucun signe de fatigue et très peu de piqûres de corrosion; l'origine de la fissuration intergranulaire n'a pas pu être déterminée à partir des caractéristiques observées.

Figure 8. Surface de rupture à la position de 12 h, avec anomalie de contrainte excessive et piqûres de corrosion (Source : BST)



¹⁶ Une cassure conchoïdale dans le métal est un type de rupture intergranulaire, ce qui signifie que le métal se rompt en se fissurant le long des joints de grains plutôt qu'à travers les grains eux-mêmes. La surface d'une telle rupture ressemble à celle du sucre candi.

1.12.4 Examen approfondi de la face avant du logement de l'ergot

Une EDS a également été effectuée sur la face avant du logement de l'ergot à plusieurs endroits afin de détecter la présence de traces d'Alocrom 1200 (ou Alodine) ou de SurTec 650 (deux couches de conversion chimiques riches en chrome). L'analyse par EDS a révélé une faible quantité de chrome à tous les endroits analysés, à l'exception de la zone réparée à 6 h (aucun revêtement n'était présent dans cette zone). L'analyse a aussi révélé que la rupture à 12 h provenait probablement d'une anomalie de contrainte excessive et de diverses minuscules piqûres de corrosion, dont aucune ne dépassait 6 mm (environ 0,2 pouce), soit la longueur critique d'une fissure^{17,18}. La cause de l'anomalie de contrainte excessive est inconnue, et la formation de piqûres de corrosion indiquait que le matériau de base avait été exposé à l'environnement à un moment donné.

Bien que l'analyse par EDS ait confirmé la présence d'une couche de conversion chimique à base de chrome sur la face avant du logement de l'ergot, à l'exception de la zone réparée à la position de 6 h, cette couche n'était pas visible, comme l'a constaté le fabricant.

Étant donné que ce revêtement est normalement visible, il est probable qu'il n'ait pas été appliqué à nouveau sur la face avant lors de la dernière inspection par courants de Foucault. Selon le manuel de révision du train d'atterrissage principal, l'Alocrom 1200 (ou l'Alodine) doit être appliqué sur la face avant du logement de l'ergot pendant la révision¹⁹. De plus, un examen des bulletins de service connexes (bulletins de service n° 32-A-JA851226²⁰, 32-19²¹, 32-JM7862²² et 32-A-JA140940²³) a révélé qu'une nouvelle couche de conversion chimique doit être appliquée sur les zones réparées de la face avant, là où les marques de corrosion ou d'usure (dus à la rotation de la rondelle) ont été éliminées. Visuellement, rien n'indique qu'une nouvelle couche de conversion chimique a été appliquée. Étant donné que la zone située entre les positions de 7 h et de 5 h se trouvait en dehors de la zone réparée et que le

¹⁷ La longueur critique d'une fissure est la longueur à laquelle la propagation de la fissure devient instable.

¹⁸ Air Accidents Investigations Branch (AAIB) (Royaume-Uni), AAIB Bulletin 10/2015, G-CCPW, EW/C2012/03/03 (8 mars 2012), p. 30.

¹⁹ APPH Ltd., Overhaul Manual 32-10-1, *Overhaul Manual with Illustrated Parts List for Main Gear*, révision 20 (24 septembre 2025), Check, p. 503, 505 et 507.

²⁰ BAE Systems (Operations) Limited, Service Bulletin (SB) 32-A-JA 851226 : Landing Gear – To Introduce NDT and Visual Inspections of Main Landing Gear Spigot Housing for Cracks, révision 8 (12 novembre 2020), 2. Accomplishment Instructions, B. Accomplishment, Part B – Visual Inspection, p. 6.

²¹ Héroux Devtek, Service Bulletin (SB) 32-19 : MLG Assembly – Inspect Cylinder Attachment Spigot Housing, révision 9 (3 novembre 2020), 2. Accomplishment Instructions, B. Non Destructive Test, (6) Examination Standard, p. 5.

²² BAE Systems (Operations) Limited, Service Bulletin (SB) 32-JM7862 : Landing Gear – Introduction of Special Washer to Protect the Main Landing Gear Cylinder at the Forward Spigot, révision 4 (11 janvier 2016), 2. Accomplishment Instructions, B. Accomplishment, p. 7.

²³ BAE Systems (Operations) Limited, Service Bulletin (SB) 32-A-JA 140940 : Landing Gear – Inspection of Main Landing Gear Special Washer Installation (3 octobre 2014), 2. Accomplishment Instructions, B. Accomplishment, Part 2, p. 7.

cylindre n'allait pas être révisé lorsque la réparation a été effectuée, l'application d'un nouveau revêtement dans cette zone n'était pas exigée par les bulletins de service.

Malgré le fait que la fissure s'était formée à la position de 12 h sur la face avant du logement de l'ergot, la réparation effectuée à la position de 6 h a également été examinée. On a constaté que la zone réparée n'avait pas été recouverte de la couche de protection colorée (couche de conversion chimique), contrairement aux instructions figurant dans le bulletin de service n° 32-19. Bien que l'absence de revêtement sur la zone réparée n'ait pas joué de rôle dans la défaillance du train d'atterrissage principal, si cette omission se reproduisait au cours d'autres réparations du train d'atterrissage principal, elle pourrait entraîner des piqûres, une fissuration par corrosion sous contrainte (FCC) et, par conséquent, des défaillances du train d'atterrissage principal.

Outre la couche de conversion chimique sur la face avant du logement de l'ergot, en dehors de la zone réparée, des marques d'usure réparties de manière aléatoire et uniforme étaient également présentes sur cette surface, et le fabricant a noté que la surface ne répondait pas aux spécifications relatives à la finition de surface. Le manuel de révision précise que la rugosité de surface de la face avant du logement de l'ergot doit être d'au moins 0,000016 pouce²⁴ (0,00041 mm). Cependant, les 4 bulletins de service énumérés ci-dessus ne mentionnent pas expressément cette finition de surface minimale requise, et ils ne donnent pas de consignes sur l'élimination des marques d'usure causées par autre chose que la rotation de la rondelle. Le bulletin de service n° 32-A-JA140940 précise simplement que s'il y a [traduction] « des marques d'usure qui pourraient avoir été causées par la migration de la rondelle spéciale », toutes ces marques doivent être éliminées²⁵. Bien que les marques d'usure ne semblent pas avoir contribué à la formation de la plupart des piqûres de corrosion, il est possible que les marques d'usure aient endommagé la couche de protection, exposant ainsi le matériau de base à un environnement propice à la formation de piqûres.

1.12.5 Autres publications mentionnées dans les bulletins de service

Les principaux bulletins de service relatifs à la maintenance des trains d'atterrissage principaux des aéronefs Jetstream de la série 3100 orientent le personnel de maintenance vers d'autres documents de référence pour de plus amples renseignements.

Par exemple, le bulletin de service n° 32-A-JA851226, à la section K, mentionne les documents de référence suivants [traduction] :

Le bulletin de service n° 32-19 de Héroux Devtek, révision 9 ou ultérieure;
Le bulletin de service n° 32-40 de APPH, révision 1 ou ultérieure;

²⁴ APPH Ltd., Overhaul Manual 32-10-1, *Overhaul Manual with Illustrated Parts List for Main Gear*, révision 20 (24 septembre 2025), Check, p. 503.

²⁵ BAE Systems (Operations) Limited, Service Bulletin (SB) 32-A-JA 140940 : Landing Gear – Inspection of Main Landing Gear Special Washer Installation (3 octobre 2014), 2. Accomplishment Instructions, B. Accomplishment, pp. 6-7.

Le manuel de maintenance (série Jetstream 3100);
Les chapitres 7, 24 et 32 du manuel de maintenance²⁶.

Dans le même bulletin de service, la section L indique ce qui suit [traduction] :

Les manuels de l'aéronef suivants sont concernés par le présent BSI [bulletin de service d'inspection] :

Aéronefs Jetstream de la série 3100;

Manuel de maintenance;

Calendrier de maintenance;

Manuel de maintenance des composants.

Il est demandé aux exploitants d'aviser l'équipe de soutien opérationnel de BAE SYSTEMS

(Operations) Limited, aéroport international de Prestwick, Ayrshire, KA9 2RW, ÉCOSSE, de l'exécution du présent BSI et de demander que les révisions nécessaires soient apportées aux manuels concernés²⁷.

De même, la section K (intitulée « Other Publications Affected » [Autres publications concernées]) du bulletin de service n° 32-19 indique ce qui suit [traduction] :

Publication du calendrier de maintenance recommandé n° J/PSD/RMS/80.

NOTE Le présent bulletin de service explicite les instructions spéciales figurant dans les calendriers de maintenance recommandés, section 3, page 4, paragraphe 4.1.2, mais il ne remplace pas ces instructions spéciales²⁸.

Afin de respecter toutes les exigences en matière de maintenance (en l'occurrence, la maintenance du train d'atterrissage principal), le personnel de maintenance doit consulter toutes les publications relatives à la maintenance. Les bulletins de service, le manuel de maintenance et le calendrier de maintenance ne traitent pas des exigences particulières relatives à la finition de surface de la face avant du logement de l'ergot, et ne traitent pas non plus des spécifications relatives à l'application de la couche de conversion chimique, sauf sur une zone réparée. Seul le manuel de révision contient les exigences particulières relatives à la rugosité de surface de la face avant. Quant aux exigences concernant la visibilité de la couche de conversion chimique, elles n'ont été trouvées dans aucune des publications relatives à la maintenance pendant l'enquête.

L'application d'une couche de conversion chimique après une inspection par courants de Foucault ou l'installation d'une rondelle sur un train d'atterrissage principal permet de protéger le métal de base du composant, ce qui retarde et peut empêcher la formation de piqûres de corrosion. Dans l'événement à l'étude, bien que les marques d'usure ne semblent pas avoir contribué à la formation de la plupart des piqûres, il est possible qu'elles aient

²⁶ BAE Systems (Operations) Limited, Service Bulletin (SB) 32-A-JA 851226 : Landing Gear – To Introduce NDT and Visual Inspections of Main Landing Gear Spigot Housing for Cracks, révision 8 (12 novembre 2020), 1. Planning Information, K. References, p. 3.

²⁷ Ibid., L. Publications Affected, p. 3.

²⁸ Héroux Devtek, Service Bulletin (SB) 32-19 : MLG Assembly – Inspect Cylinder Attachment Spigot Housing, révision 9 (3 novembre 2020), 1. Planning Information, K. Other Publications Affected, p. 2.

endommagé la couche de protection et ainsi exposé le matériau de base à un environnement propice à la formation de piqûres.

1.12.6 Modes de défaillance

On sait que la fissuration intergranulaire de l'aluminium DTD 5094 est causée par la FCC; cependant, les essais dynamiques effectués au Laboratoire d'ingénierie du BST à Ottawa (Ontario) ont démontré que le DTD 5094 peut également subir une défaillance intergranulaire en raison des charges d'impact. Pour déterminer le mode de défaillance à l'origine des anomalies de rupture intergranulaire, on a aussi pris en compte la FCC et la contrainte intergranulaire excessive.

La FCC est un mécanisme de défaillance dépendant du facteur temps qui se produit lorsque les 3 conditions suivantes sont réunies :

- un matériau susceptible de se fissurer est utilisé;
- le matériau est soumis à des contraintes de traction;
- le matériau est exposé à un environnement corrosif.

La FCC du DTD 5094 est un phénomène courant qui a été consigné dans plusieurs sources^{29,30,31,32}; par conséquent, la 1^{re} condition est remplie. Il est également probable que le logement de l'ergot ait été soumis à des contraintes de traction sous forme de charges de service et de contraintes résiduelles de traction (qui sont introduites pendant la fabrication et persistent même lorsqu'aucune charge externe n'est appliquée). Enfin, l'analyse par EDS des piqûres de corrosion à la position de 12 h a permis de confirmer la présence d'un environnement corrosif autour de l'aluminium. La présence de FCC a aussi été confirmée par des signes de fissuration intergranulaire à divers endroits le long des surfaces de rupture aux positions de 3 h, 9 h et 12 h.

Les essais de traction et d'impact réalisés ont révélé que les anomalies intergranulaires sont inhérentes aux ruptures dans le DTD 5094 lorsqu'il est exposé à des charges d'impact, mais pas lorsqu'il est lentement soumis à une charge de traction. La rupture intergranulaire due à une contrainte excessive est un mode de défaillance indésirable, car elle consiste en une réduction importante de l'énergie aux joints de grains, attribuable à la ségrégation du métal ou des impuretés le long des joints de grains. En l'occurrence, on ignore quel type de ségrégation a causé la rupture intergranulaire attribuable à une contrainte excessive et si la

²⁹ BAE Systems (Operations) Limited, Service Bulletin (SB) 32-A-JA 851226 : Landing Gear – To Introduce NDT and Visual Inspections of Main Landing Gear Spigot Housing for Cracks, révision 8 (12 novembre 2020), 1. Planning Information, p. 1.

³⁰ British Aerospace – Dynamics Division, Service Bulletin (SB) 32-36 : Landing Gear – Main Gear – Fit Cylinder Manufactured from New Material (20 juin 1988), p. 1.

³¹ Air Accidents Investigations Branch (AAIB) (Royaume-Uni), AAIB Bulletin 07/2015, G-GAVA, EW/C2014/08/02 (15 août 2014), p. 14.

³² McDonnell-Douglas Astronautics Company, *SEM/TEM Fractography Handbook* (Metals and Ceramics Information Center, 1975), p. 50 à 53.

ségrégation s'est produite pendant la fabrication ou au fil du temps en raison de l'exposition à l'environnement. On ignore également pourquoi le matériau subit une défaillance intergranulaire partielle lorsqu'il est soumis à des charges dynamiques, mais pas lorsqu'il est soumis à des charges statiques.

Le laboratoire du BST a déterminé qu'il est probable que le logement de l'ergot du train d'atterrissage principal ait été soumis à des conditions propices à la corrosion, au niveau de l'anomalie de contrainte excessive, des 4 piqûres de corrosion et des zones de fatigue associées. Ces anomalies sont toutes d'une taille nettement inférieure à la longueur critique d'une fissure de 6 mm. De plus, le métal analysé montre des signes de fissuration intergranulaire à cet endroit. Il est donc probable que le mode de défaillance ait évolué vers une FCC. La FCC s'est ensuite propagée à l'intérieur du logement de l'ergot, et cela s'est probablement produit non seulement pendant les atterrissages, mais aussi lorsque l'aéronef était stationné. À un moment donné, le degré de fissuration présent avant la défaillance (combinaison de l'anomalie de contrainte excessive, des piqûres de corrosion, des fissures de fatigue et de la FCC) a réduit la résistance du composant à un point tel que la structure intacte ne pouvait plus supporter les charges d'atterrissage, et une dernière défaillance s'est produite sous la forme d'une rupture ductile et intergranulaire.

Étant donné qu'il n'a pas été possible de faire la distinction entre les fissures causées par la contrainte intergranulaire excessive et celles causées par la FCC, on ne sait pas quelle était la taille des fissures résultant de la FCC avant la défaillance ni si les fissures avaient percé suffisamment la surface pour être détectables à l'aide des méthodes d'inspection existantes.

1.12.7 Inspection par courants de Foucault

L'inspection par courants de Foucault est une technique qui utilise l'induction électromagnétique pour recenser diverses conditions physiques, structurelles et métallurgiques dans un composant. Cette technique nécessite que le composant soit constitué de pièces métalliques ferromagnétiques et non ferromagnétiques qui sont conductrices. L'inspection repose sur l'utilisation d'une sonde placée à proximité du composant, qui introduit un champ magnétique variable dans le matériau conducteur. Le champ magnétique variable induit des courants de Foucault dans le matériau, et le flux de ces courants de Foucault est perturbé par les discontinuités du matériau. Ces variations des courants de Foucault sont détectées, puis interprétées sur l'écran d'un détecteur de défaut afin d'analyser la nature de ces discontinuités.

La méthode d'inspection par courants de Foucault est bien adaptée pour détecter les fissures, les vides et les inclusions. Bien qu'elle permette de détecter les défauts sous-jacents (c'est-à-dire ceux qui ne sont pas présents en surface), cette capacité est limitée. Lorsque la fréquence des courants de Foucault est augmentée, leur sensibilité et leur capacité à détecter de petits défauts augmentent également, mais leur capacité à détecter des défauts sous la surface est réduite, voire éliminée.

Lorsqu'une technique d'inspection par courants de Foucault est mise au point, comme la technique décrite dans le bulletin de service n° 32-A-JA851226, une taille minimale de fissure est déterminée en fonction de l'équipement utilisé et du type de défaut à détecter. La technique d'inspection par courants de Foucault mise au point pour le logement de l'ergot était destinée à détecter les fissures d'une longueur minimale de 1,27 mm (0,05 pouce) ou les piqûres de corrosion d'une longueur minimale de 1,27 mm et d'une profondeur minimale de 0,13 mm (0,005 pouce). Cependant, selon leur emplacement, les défauts peuvent ne pas être détectés s'ils ne dépassent pas ces deux spécifications.

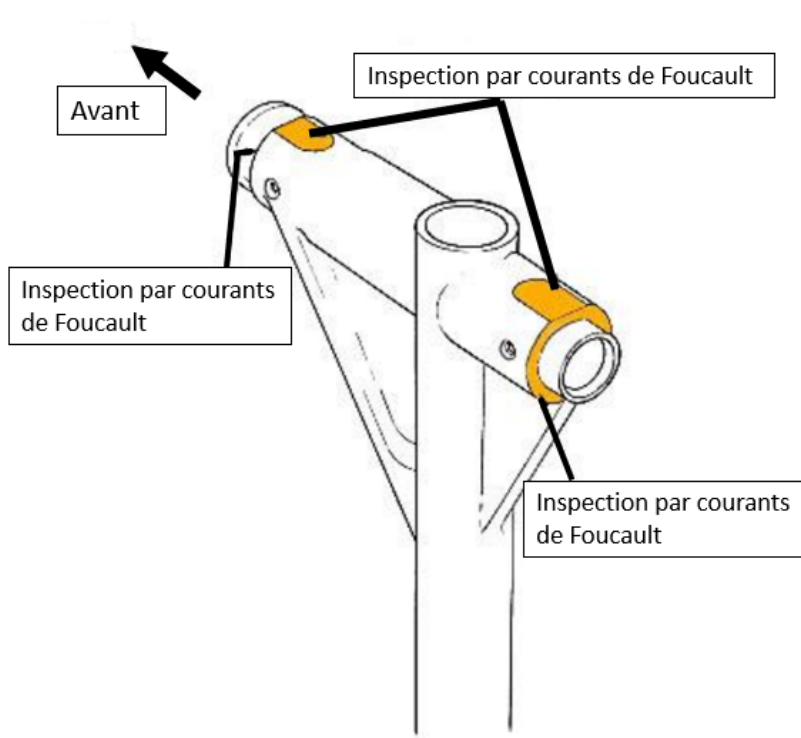
1.12.7.1 Exigences relatives à l'inspection par courants de Foucault du train d'atterrissage principal

Afin de satisfaire aux exigences de la CN 2016-0224 de l'AESA, il faut consulter et respecter les instructions des bulletins de service n° 32-A-JA851226 de BAE Systems, 32-19 de Héroux Devtek et 32-40 de APPH.

En plus de fournir des instructions sur la fréquence à laquelle l'inspection par courants de Foucault doit être effectuée sur le logement de l'ergot du train d'atterrissage principal, le bulletin de service n° 32-A-JA851226 fournit des instructions visant à préparer l'aéronef pour cette inspection. Pour effectuer l'inspection par courants de Foucault, il faut sécuriser l'aéronef et le poser sur des vérins, puis retirer le train d'atterrissage principal et la rondelle spéciale (version modifiée du bulletin de service n° 32-JM7862). L'inspection par courants de Foucault doit être effectuée conformément au bulletin de service n° 32-19, et les pièces doivent être remontées une fois que les réparations nécessaires ont été effectuées.

Le bulletin de service n° 32-19 énumère les exigences minimales applicables à l'équipement et fournit des instructions pour la mise en place de l'instrumentation et l'étalonnage, ainsi que pour la réalisation de l'inspection par courants de Foucault. Les zones à inspecter doivent être nettoyées, et, si la couche de protection présente des signes de décollement ou de fissuration, les zones doivent être nettoyées jusqu'à ce que le métal nu apparaisse. Les faces avant et arrière du logement de l'ergot ainsi que les surfaces planes usinées avant et arrière doivent être inspectées (figure 9).

Figure 9. Zones à inspecter par courants de Foucault (en jaune) sur le logement de l'ergot (Source : Héroux Devtek, Service Bulletin [SB] 32-19 : MLG Assembly – Inspect Cylinder Attachment Spigot Housing, révision 9 [3 novembre 2020], figure 1 : Areas of Inspection, p. 7, avec annotations du BST)



Au début de l'inspection, un échantillon de référence standard doit être utilisé pour établir la sensibilité de l'appareil d'essai à cette inspection. Cet échantillon de référence standard sert de norme d'étalonnage et comporte une discontinuité anthropique (une fente de 0,5 mm [0,02 pouce]). La technique d'inspection par courants de Foucault pour le logement de l'ergot doit pouvoir déceler (indiquer) la discontinuité de 0,5 mm sur l'échantillon de référence au niveau de sensibilité requis.

Comme indiqué précédemment, la technique d'inspection est destinée à détecter les fissures d'une longueur supérieure ou égale à 1,27 mm et les piqûres de corrosion d'une longueur de 1,27 mm et d'une profondeur supérieure ou égale à 0,13 mm sur les faces du logement de l'ergot ou sur les surfaces usinées.

En appliquant la norme d'étalonnage avec la fente de 0,5 mm, les réglages de l'équipement sont ajustés pour obtenir un déplacement vertical de 80 % de la hauteur totale de l'écran lorsque la sonde glisse sur la fente. Comme indiqué dans le bulletin de service n° 32-19 [traduction] : « Toute indication [...] ayant une amplitude d'au moins 20 % de la hauteur

totale de l'écran qui ne peut être attribuée à la manipulation de la sonde ou à la géométrie du composant doit être considérée comme une fissure³³ ».

1.12.7.2 Inspection par courants de Foucault du train d'atterrissage principal avant l'événement à l'étude

Le 13 décembre 2022, le train d'atterrissage principal avait fait l'objet d'une inspection par courants de Foucault, réalisée conformément au bulletin de service n° 32-A -JA851226, afin de satisfaire aux exigences de la CN 2016-0224 de l'AESA. Les résultats de l'inspection ont révélé la présence d'une piqûre de corrosion à la position de 6 h; la profondeur de cette piqûre était de 0,51 mm (0,02 pouce). Ce défaut a été réparé par meulage conformément aux instructions du bulletin de service n° 32-19, qui autorise la réparation de petites fissures d'une profondeur maximale de 2,54 mm (0,1 pouce) à partir de la face du logement de l'ergot^{34,35}. L'inspection par courants de Foucault a été réalisée à nouveau; aucune autre anomalie n'a été décelée.

Lorsque ce défaut a été découvert à l'origine, NWAL a embauché une compagnie spécialisée dans les END, Cougar NDE Ltd, pour vérifier l'inspection. NWAL faisait souvent appel à Cougar NDE Ltd pour réaliser ces inspections par courants de Foucault.

En plus d'effectuer une inspection à 500 kHz, la fréquence indiquée dans les instructions du bulletin de service n° 32-19, Cougar NDE Ltd a réalisé l'inspection par courants de Foucault à 200 kHz, étant donné que des défauts plus profonds peuvent être détectés à cette fréquence. Aucun autre défaut n'a été relevé.

1.12.7.3 Évaluation des inspections par courants de Foucault antérieures

Les méthodes d'inspection par courants de Foucault qui avaient été employées sur le train d'atterrissage principal avant l'événement à l'étude ont été évaluées au Laboratoire d'ingénierie du BST. Au cours de cette évaluation, les piqûres de corrosion observées sur la face avant du logement de l'ergot étaient toutes d'une longueur inférieure à 1,27 mm (0,05 pouce), soit la longueur minimale de fissure que ces méthodes d'inspection étaient censées détecter.

Dans le cas de l'anomalie de contrainte excessive, il existe des signes évidents (d'après les observations d'une anomalie sous la forme d'un cercle sombre) qu'elle s'est développée de manière radiale à partir de sa taille initiale et qu'elle semblait avoir perforé la surface supérieure du logement de l'ergot. En raison de certains dommages dus à l'usure après la défaillance, il a été difficile de déterminer la taille exacte de la fissure qui avait perforé cette surface. Cependant, il semblait que la fissure avait une longueur de perforation d'environ

³³ Héroux Devtek, Service Bulletin (SB) 32-19 : MLG Assembly – Inspect Cylinder Attachment Spigot Housing, révision 9 (3 novembre 2020), (5) Acceptance Criteria, p. 4.

³⁴ Ibid., (6) Examination Standard, p. 5.

³⁵ Ibid., figure 2 : Local Repair, p. 8.

0,046 mm (0,002 pouce), ce qui est inférieur à la limite de détectabilité de 1,27 mm de la technique d'inspection.

L'application de la technique d'inspection par courants de Foucault à la fissure superficielle de 1,6 mm (0,06 pouce) adjacente à la rupture à 12 h a également été examinée. La présence de scellant sur environ la moitié de la longueur de la fissure (0,8 mm, soit 0,03 pouce) indiquait qu'une fissure d'une longueur d'au moins 0,8 mm était présente avant la dernière installation de la rondelle, ce qui coïncidait avec la dernière fois que le train d'atterrissage principal avait été retiré de l'aéronef aux fins d'une inspection par courants de Foucault.

1.13 Renseignements médicaux et pathologiques

Rien n'indique que des facteurs médicaux ou physiologiques, y compris la fatigue, ont nui à la performance du commandant de bord ou du premier officier.

1.14 Incendie

Il n'y a pas eu d'incendie, que ce soit avant ou après l'événement à l'étude.

1.15 Questions relatives à la survie des occupants

Sans objet.

1.16 Essais et recherche

1.16.1 Rapports de laboratoire du BST

Le BST a produit les rapports de laboratoire suivants dans le cadre de la présente enquête :

- LP069/2023 – NVM Recovery – Flight Tracker [Récupération de la mémoire non volatile – Système de suivi de vol]
- LP076/2023 - Main Landing Gear Failure [Défaillance du train d'atterrissage principal]
- LP094/2023 – CVR Audio Recovery [Récupération des données audio du CVR]
- LP122/2023 - Main Landing Gear NDT Evaluation [Inspection par END du train d'atterrissage principal]

1.17 Renseignements sur les organismes et sur la gestion

NWAL est une compagnie de Fort Smith (Territoires du Nord-Ouest); au moment de l'événement, elle était titulaire d'un certificat d'exploitation aérienne délivré par TC pour les opérations suivantes : travail aérien (sous-partie 702 du RAC), taxi aérien (sous-partie 703 du RAC) et service aérien de navette (sous-partie 704 du RAC). NWAL exploitait une flotte d'aéronefs mono- et multimoteurs et offrait des vols nolisés et des vols quotidiens réguliers aux collectivités du nord de l'Alberta et des Territoires du Nord-Ouest. En janvier 2025, NWAL a mis fin à ses opérations aériennes en vertu de la sous-partie 704 du RAC.

NWAL est également titulaire d'un certificat d'organisme de maintenance agréé qui lui permet d'effectuer des travaux de maintenance pour sa flotte d'aéronefs. En vertu de ce certificat, elle est autorisée à effectuer les inspections par courants de Foucault requises.

1.18 Renseignements supplémentaires

1.18.1 Historique de défaillance de train d'atterrissage principal sur l'aéronef Jetstream modèle 3112

Cet événement est le premier accident au Canada au cours duquel le train d'atterrissage principal du Jetstream modèle 3112 s'est rompu en raison d'une FCC et d'une contrainte intergranulaire excessive. À l'échelle mondiale, plusieurs accidents d'aéronefs Jetstream de la série 3100 où la défaillance du train d'atterrissage principal avait été un facteur (annexe A) ont été signalés à ce jour.

1.18.2 Consigne de navigabilité et bulletins de service en vigueur relatifs au train d'atterrissage principal des aéronefs Jetstream de la série 3100

La CN et les bulletins de service en vigueur relatifs à l'inspection par END du train d'atterrissage principal et aux préoccupations concernant la FCC et la contrainte intergranulaire excessive sont énumérés ci-dessous. La CN fait référence à 2 bulletins de service, qui font également référence à plusieurs bulletins de service, listés ci-dessous :

- CN 2016-0224 de l'AESA : Landing Gear – Main Landing Gear – Inspection / Replacement [Train d'atterrissage – Train d'atterrissage principal – Inspection / remplacement]
- Bulletin de service n° 32-A-JA851226 (révision 8) de BAE Systems

Titre : Landing Gear – To Introduce NDT and Visual Inspections of Main Landing Gear Spigot Housing for Cracks [Train d'atterrissage – Introduction des END et des inspections visuelles du logement de l'ergot du train d'atterrissage principal pour détecter les fissures]

- Bulletin de service n° 32-19 de Héroux Devtek (révision 9)
Titre : MLG assembly – Inspect Cylinder Attachment Spigot Housing [Train d'atterrissage principal – Inspection du logement de l'ergot de fixation du cylindre]
Description : fournit des instructions sur l'inspection par END (courants de Foucault)
- Bulletin de service n° 32-40 de APPH (révision 1)
Titre : Landing Gear – Main Gear – Inspect Cylinder Web for Cracks [Train d'atterrissage - train d'atterrissage principal – Inspection de l'âme du cylindre pour détecter des fissures]
Description : fournit des instructions sur l'inspection d'un train d'atterrissage principal présentant des ouvertures logeant un

microcontact et ne s'applique donc pas au train d'atterrissage principal à l'étude.

- Bulletin de service n° 32-JA880340 de BAE Systems (version originale)
Titre : To Introduce Main Landing Gear Cylinders Manufactured from L161 Material [Introduction de cylindres de train d'atterrissage principaux fabriqués en matériau L161]
Description : consignes facultatives
- Bulletin de service n° 32-JM7862 de BAE Systems (révision 4)
Titre : Landing Gear – Introduction of Special Washer to Protect the Main Landing Gear Cylinder at the Forward Spigot [Train d'atterrissage – Introduction d'une rondelle spéciale pour protéger le cylindre du train d'atterrissage principal au niveau de l'ergot avant]
Description : fournit des consignes sur l'installation de la rondelle à languette.
- Bulletin de service n° 32-JM7862
 - Bulletin de service n° 32-A-JA140940 de BAE Systems (version originale)
Titre : Landing Gear – Inspection of Main Landing Gear Special Washer Installation [Train d'atterrissage – Inspection de l'installation de la rondelle spéciale du train d'atterrissage principal]
 - Bulletin de service n° 32-A-JA851226
 - Bulletin de service n° 32-JA880340 (révision 4)

Deux autres bulletins de service relatifs à l'inspection par END :

- Bulletin de service n° 32-56 de Héroux Devtek (révision 4)
Titre : Landing Gear – Main Gear – Inspect Pintle to Cylinder Interface for Cracks [Train d'atterrissage – Train principal – Inspection de l'interface entre le pivot et le cylindre pour détecter les fissures]
- Bulletin de service n° 32-JA960142 de BAE Systems (révision 5)
Titre : Landing Gear – Main Gear – To Introduce Repeat Inspection of Pintle to Cylinder Interface for Cracks [Train d'atterrissage – Train principal – Introduction d'inspections répétées de l'interface entre le pivot et le cylindre pour détecter les fissures]

2.0 ANALYSE

L'enquête n'a révélé aucun problème opérationnel ou lié aux conditions météorologiques ni problème mécanique sur l'aéronef, autre que celui concernant le train d'atterrissage principal qui s'était rompu. L'analyse portera donc sur les facteurs métallurgiques qui ont conduit à l'affaissement du train d'atterrissage principal gauche et sur la capacité de la technique actuelle d'inspection par essais non destructifs à détecter les fissures dans la structure du train d'atterrissage principal avant qu'elles n'atteignent une longueur critique.

2.1 Défaillance du train d'atterrissage principal

Le logement de l'ergot du train d'atterrissage principal gauche a probablement été soumis à des conditions propices à la corrosion, au niveau de l'anomalie de contrainte excessive (anomalie de forme circulaire sombre), 4 piqûres de corrosion et des zones de fatigue associées. Des signes de fissuration intergranulaire sont apparus aux 3 points de rupture dans le logement de l'ergot, et il est probable que le mécanisme de défaillance ait évolué vers une fissuration par corrosion sous contrainte (FCC).

La FCC est un mécanisme de défaillance dépendant du facteur temps qui se produit lorsque les 3 conditions suivantes sont réunies : un matériau susceptible de se fissurer est utilisé; le matériau est soumis à des contraintes de traction; et le matériau est exposé à un environnement corrosif. Il est également probable que le logement de l'ergot a été soumis à des contraintes de traction sous forme de charges de service et de contraintes résiduelles de traction (qui sont introduites pendant la fabrication et persistent même lorsqu'aucune charge externe n'est appliquée).

La FCC s'est ensuite propagée à l'intérieur du composant, et la fissuration s'est probablement propagée non seulement pendant les atterrissages, mais aussi lorsque l'aéronef était stationné. Le degré de fissuration présent avant la défaillance (causé par la combinaison de l'anomalie de contrainte excessive, des piqûres de corrosion, des fissures de fatigue et de la FCC) a fini par réduire la résistance du logement de l'ergot à un point tel que la structure intacte du train d'atterrissage principal a subi une défaillance sous la forme d'une rupture ductile et intergranulaire.

Fait établi quant aux causes et aux facteurs contributifs

Pendant l'atterrissage de l'aéronef, plusieurs fissures se sont propagées dans le logement de l'ergot du train d'atterrissage principal gauche, à un point tel que la structure du train d'atterrissage principal s'est rompue. Les fissures se sont probablement propagées parce que le matériau utilisé était sensible à la FCC et qu'il était exposé à la fois à des contraintes de traction et à un environnement corrosif.

2.2 Conformité avec les bulletins de service

Pendant l'enquête, on a constaté que les exigences du bulletin de service n° 32-19 concernant l'application d'une couche de conversion chimique sur la face avant du logement de l'ergot et celles relatives à la finition de cette surface n'avaient pas été respectées.

À la suite de l'événement à l'étude, le fabricant, BAE Systems (Operations) Limited, a constaté que la couche de conversion chimique n'était pas visible sur la face avant du logement de l'ergot. Toutefois, selon 4 bulletins de service relatifs à la maintenance du train d'atterrissage principal, la nouvelle application d'une couche de conversion chimique au cours d'une inspection n'est requise que sur les zones réparées, où le revêtement a été retiré lors de l'élimination des marques de corrosion ou d'usure laissées par la rotation accidentelle d'une rondelle. On n'y fait aucune mention de la visibilité du revêtement, qui ne fait pas non plus partie des exigences précisées.

L'examen métallurgique effectué après l'événement à l'étude a révélé que la couche de conversion chimique, bien que non visible, était présente dans les zones des 3 surfaces de rupture (aux positions de 3 h, 9 h et 12 h), mais pas dans la zone de 6 h, qui avait été réparée. Bien que les consignes présentées dans le bulletin de service n° 32-19 indiquent que les zones réparées, où le traitement de protection a été retiré, doivent être protégées à nouveau à l'aide d'une couche de conversion chimique colorée, ce revêtement n'a pas été appliqué à nouveau sur la zone réparée à la position de 6 h de l'ergot.

Fait établi quant aux risques

Si les instructions de réparation contenues dans un bulletin de service ne sont pas explicitement suivies, il y a un risque que la réparation soit inefficace et que la pièce concernée se rompe prématurément.

Le fabricant a également noté que la face avant du logement de l'ergot ne répondait pas aux spécifications relatives à la finition de surface. Bien que le manuel de révision impose une rugosité de surface précise pour la face avant (d'un minimum de 0,00041 mm ou 0,000016 pouce), les 4 bulletins de service ne précisent pas cette finition de surface minimale requise. Le bulletin de service n° 32-A-JA140940 précise simplement qu'une remise en état est nécessaire en présence de marques d'usure pouvant avoir été causées par la migration (rotation) de la rondelle.

L'enquête a permis de déterminer que, pour trouver ces exigences spécifiques concernant la visibilité de la couche de conversion chimique et à la rugosité minimale requise de la surface, le personnel de maintenance doit consulter plusieurs documents autres que les bulletins de service principaux.

Fait établi quant aux risques

Si les bulletins de service ne fournissent pas de détails, tels que les exigences relatives aux couches de conversion chimique et à la finition de surface minimale requise, il se peut que le problème signalé dans le bulletin de service ne soit pas traité adéquatement.

2.3 Inspection par courants de Foucault

Lorsqu'une technique d'inspection par courants de Foucault est mise au point, une taille minimale de fissure est déterminée en fonction de l'équipement utilisé et du type de défaut à détecter. La technique d'inspection par courants de Foucault mise au point pour le

logement de l'ergot et décrite dans le bulletin de service n° 31-19 était destinée à détecter les fissures d'une longueur minimale de 1,27 mm (0,05 pouce) ou les piqûres de corrosion d'une longueur minimale de 1,27 mm et d'une profondeur minimale de 0,13 mm (0,005 pouce). Cependant, selon leur emplacement, les défauts qui n'atteignent pas ces deux tailles minimales pourraient ne pas être détectés. La rupture à la position de 12 h s'est formée au niveau de l'anomalie de contrainte excessive, qui a ensuite été observée sur la surface de rupture sous la forme d'un cercle sombre. Cette anomalie de contrainte excessive s'est propagée, et la fissure qui en a résulté semble avoir perforé la surface supérieure. On a déterminé que la longueur de cette fissure était inférieure à la longueur minimale de 1,27 mm que le processus d'inspection était censé détecter.

Fait établi quant aux causes et aux facteurs contributifs

La méthode d'inspection par courants de Foucault requise qui est décrite dans le bulletin de service n'a pas permis de détecter les défauts observés sur le logement d'ergot à l'étude. Par conséquent, ces défauts n'ont pas été détectés pendant la maintenance et ont contribué à la défaillance du logement de l'ergot.

3.0 FAITS ÉTABLIS

3.1 Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs

Il s'agit des facteurs qui ont causé l'événement ou qui y ont contribué.

1. Pendant l'atterrissage de l'aéronef, plusieurs fissures se sont propagées dans le logement de l'ergot du train d'atterrissage principal gauche, à un point tel que la structure du train d'atterrissage principal s'est rompue. Les fissures se sont probablement propagées parce que le matériau utilisé était sensible à la fissuration par corrosion sous contrainte et qu'il était exposé à la fois à des contraintes de traction et à un environnement corrosif.
2. La méthode d'inspection par courants de Foucault requise qui est décrite dans le bulletin de service n'a pas permis de détecter les défauts observés sur le logement de l'ergot à l'étude. Par conséquent, ces défauts n'ont pas été détectés pendant la maintenance et ont contribué à la défaillance du logement de l'ergot.

3.2 Faits établis quant aux risques

Il s'agit des facteurs dans l'événement qui présentent un risque pour le système de transport. Ces facteurs peuvent, ou non, avoir causé l'événement ou y avoir contribué, mais ils pourraient présenter un risque dans le futur.

1. Si les instructions de réparation contenues dans un bulletin de service ne sont pas explicitement suivies, il y a un risque que la réparation soit inefficace et que la pièce concernée se rompe prématurément.
2. Si les bulletins de service ne fournissent pas de détails, tels que les exigences relatives aux couches de conversion chimique et à la finition de surface minimale requise, il se peut que le problème signalé dans le bulletin de service ne soit pas traité adéquatement.

4.0 MESURES DE SÉCURITÉ

4.1 Mesures de sécurité prises

4.1.1 BAE Systems (Operations) Limited et APPH

À la suite de l'événement, le fabricant, BAE Systems (Operations) Limited, a publié l'« Electronic Service Information Leaflet » [feuillet d'informations de service électronique] 32-J31-820-1, intitulé Corrosion Protection and Maintenance of the Jetstream 31 MLG Forward Pintle End Face³⁶ [Protection contre la corrosion et maintenance de la surface de l'extrémité du pivot avant sur les trains d'atterrissage principaux du Jetstream 31], en y soulignant la nécessité de protéger contre la corrosion la surface de l'extrémité du logement de l'ergot, et de la polir.

La révision 9 du bulletin de Service n° 32-A-JA851226³⁷ de BAE et la révision 10 du bulletin de service n° 32-19³⁸ de APPH (Heroux Devtek) ont également été publiées pour répondre aux exigences concernant la finition et la reprotection de la surface de l'extrémité du logement de l'ergot.

Le présent rapport conclut l'enquête du Bureau de la sécurité des transports du Canada sur cet événement. Le Bureau a autorisé la publication de ce rapport le 17 décembre 2025. Le rapport a été officiellement publié le 14 janvier 2026.

Visitez le site Web du Bureau de la sécurité des transports du Canada (www.bst.gc.ca) pour obtenir de plus amples renseignements sur le BST, ses services et ses produits. Vous y trouverez également la Liste de surveillance, qui énumère les principaux enjeux de sécurité auxquels il faut remédier pour rendre le système de transport canadien encore plus sécuritaire. Dans chaque cas, le BST a constaté que les mesures prises à ce jour sont inadéquates, et que le secteur et les organismes de réglementation doivent adopter d'autres mesures concrètes pour éliminer ces risques.

³⁶ BAE Systems (Operations) Limited, Electronic Service Information Leaflet 32-J31-820-1 : Corrosion Protection and Maintenance of the Jetstream 31 MLG Forward Pintle End Face (9 septembre 2024).

³⁷ BAE Systems (Operations) Limited, Service Bulletin (SB) 32-A-JA 851226: Landing Gear – To Introduce NDT and Visual Inspections of Main Landing Gear Spigot Housing for Cracks, révision 9 (4 octobre 2023).

³⁸ Héroux Devtek, Service Bulletin (SB) 32-19 : MLG Assembly – Inspect Cylinder Attachment Spigot Housing, Revision 10 (4 octobre 2023).

ANNEXES

Annexe A – Défaillances antérieures d'un train d'atterrissage principal sur les aéronefs Jetstream de la série 3100

Date	Immatriculation de l'aéronef	Résumé de l'événement
4 janvier 2022	HR-AYY	Un aéronef de passagers Jetstream de la série 3100 a subi un affaissement du train d'atterrissage principal droit lors de son atterrissage sur la piste 07 de l'aéroport international Juan Manuel Galvez, au Honduras. L'hélice n° 2 est entrée en contact avec la surface de la piste. L'avion a fait une sortie de piste du côté droit et s'est immobilisé sur un sol meuble.
15 août 2014	G-GAVA	Le train d'atterrissage principal gauche de l'aéronef a subi une défaillance peu après l'atterrissage sur la piste 20 de l'aéroport Doncaster Sheffield, en Angleterre. Le train d'atterrissage principal gauche s'est détaché de ses supports et l'aéronef a glissé sur la piste sur son train d'atterrissage restant, l'extrémité de l'aile gauche et le conteneur de fret ventral, avant de faire une sortie de piste et de s'immobiliser dans la zone herbée adjacente. L'unique passager et l'équipage de conduite sont sortis de l'aéronef sans blessure.
8 mars 2012	G-CCPW	Le train d'atterrissage principal droit de l'aéronef a subi une défaillance alors que l'aéronef se posait sur la piste 26 de l'aéroport de l'île de Man. Le train d'atterrissage principal droit s'est détaché et l'aéronef a glissé le long de la piste sur ses trains d'atterrissage restants, l'extrémité de l'aile droite et le conteneur de fret ventral. L'aéronef s'est immobilisé sur la zone herbée adjacente à la piste. Les passagers et membres d'équipage de conduite ont évacué l'aéronef sans blessure. La défaillance finale a été causée par une fissuration par corrosion sous contrainte dans la partie avant du logement de l'ergot, sur le haut de la jambe du train d'atterrissage principal droit. L'Air Accidents Investigations Branch du Royaume-Uni a émis une recommandation de sécurité.
12 février 2009	SX-SKY	Après qu'un aéronef Jetstream de la série 3100 a parcouru environ 80 m sur la piste lors de son atterrissage à l'aéroport Nikos Kazantzakis, en Grèce, son train d'atterrissage principal droit s'est affaissé, se repliant vers l'arrière, et son hélice droite est entrée en contact avec la piste. Après avoir parcouru une distance supplémentaire de 930 m — alors que le train d'atterrissage principal gauche fonctionnait normalement, mais que le train d'atterrissage principal droit qui s'était

		affaîssi était traîné sur la piste — l'aéronef s'est immobilisé à 4,6 m à droite de l'axe de la piste.
1980	XX493	Sur un aéronef Jetstream de la série 3100 exploité par la Royal Air Force du Royaume-Uni, une fissure de 127 mm de long a été découverte lors de travaux sans rapport avec cet incident. La fissure semblait provenir d'un certain nombre de fissures de corrosion intergranulaire qui s'étaient développées à partir du bord extérieur du logement de l'ergot. Des bandes de fatigue ont été trouvées à l'extrémité de ces fissures. Les photos de la fissure, prises après son ouverture, montrent des signes de taches sombres similaires à celles observées sur le logement d'ergot rompu installé sur le G-CCPW. Deux ans avant la découverte de la fissure, l'aéronef avait été utilisé pour des essais d'atterrissage par vent traversier.
1985	XX491	Sur un aéronef Jetstream de la série 3100 exploité par la Royal Air Force britannique, une fissure d'environ 160 mm de long a été découverte dans le logement de l'ergot du train d'atterrissage principal gauche; l'aéronef avait connu une sortie de piste 5 mois et 478 atterrissages auparavant. La fissure s'était formée sur le bord extérieur de la face avant du logement de l'ergot et s'était propagée sur 130 mm le long de la face supérieure usinée, avant de se diviser en 2 branches de 25 et 30 mm de long. Il n'y avait aucun signe de fatigue, et la défaillance ne semblait pas avoir été causée par une contrainte excessive attribuable à un atterrissage brutal. L'examen de la fissure a révélé des signes de fissuration intergranulaire et d'exfoliation le long de l'intérieur de l'alésage, à mi-chemin de la fissure. De plus, il y avait une anomalie ressemblant à de la « boue séchée » au début de la fracture.
1987	XX491	Une fissure d'environ 120 mm de long a été découverte dans le logement de l'ergot avant du train d'atterrissage qui avait été installé après la découverte de la fissure lors de l'événement survenu en 1985. L'enquête a permis de déterminer que la nouvelle fissure avait été causée par une fissuration par corrosion sous contrainte (FCC) et que la fissure s'était formée à l'angle extérieur de la surface de l'extrémité du logement de l'ergot. Il n'y avait aucun signe de l'anomalie ressemblant à de la « boue séchée » qui avait été observée lors de l'événement précédent. On a estimé que la fissuration par corrosion sous contrainte ne s'était probablement pas propagée sur plus de 5 mm, puis avait entraîné une défaillance rapide sous l'effet d'une charge dynamique. L'enquête a aussi permis de conclure que la défaillance de la protection contre la corrosion avait permis à la corrosion

		intercristalline de se propager et entraîné ultérieurement la propagation de la fissure par FCC. Le train d'atterrissage principal avait effectué un total de 10 289 atterrissages et avait été révisé pour la dernière fois 9 mois et 2622 atterrissages avant la découverte de la fissure. Pendant la révision, la corrosion avait été éliminée de la surface d'extrémité du logement de l'ergot. La dernière inspection par courants de Foucault avait été effectuée 31 vols auparavant.
Inconnue	XX494	À la suite des faits établis en 1984 sur les événements concernant les appareils XX493 et XX491, la Royal Air Force du Royaume-Uni a inspecté les logements d'ergot d'un autre aéronef Jetstream de la série 3100 en utilisant une technique d'inspection par courants de Foucault. L'examen a révélé de petits défauts sur la face avant du logement d'ergot des deux cylindres du train d'atterrissage principal, causés par la corrosion des « bouts de grains ». L'examen a également révélé que le traitement de protection (la couche anodisée) sur la face du logement de l'ergot s'était usé.