

Bureau de la sécurité des transports  
du Canada



Transportation Safety Board  
of Canada

**RAPPORT D'ENQUÊTE AÉRONAUTIQUE  
A10Q0213**



**SORTIE DE PISTE**

**DU BOEING 737-823, N901AN  
EXPLOITÉ PAR AMERICAN AIRLINES, INC.  
À L'AÉROPORT INTERNATIONAL PIERRE-ELLIOTT-TRUDEAU  
DE MONTRÉAL (QUÉBEC)  
LE 30 NOVEMBRE 2010**

**Canada**

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

## Rapport d'enquête aéronautique

### Sortie de piste

du Boeing 737-823, N901AN  
exploité par American Airlines, Inc.  
à l'aéroport international Pierre-Elliott-Trudeau  
de Montréal (Québec)  
le 30 novembre 2010

Numéro de rapport A10Q0213

### *Résumé*

Le Boeing 737-823 d'American Airlines, Inc. (immatriculé N901AN et portant le numéro de série 29503) décolle de l'aéroport international Dallas-Fort Worth (États-Unis) sous l'indicatif AAL802 pour effectuer un vol régulier à destination de l'aéroport international Pierre-Elliott-Trudeau de Montréal (Québec). À 19 h 53, heure normale de l'Est, après s'être posé sur la piste 24R sous une pluie légère, à l'obscurité, l'aéronef vire graduellement sur la gauche de l'axe de la piste. Il quitte la surface de la piste et s'immobilise dans le gazon et la boue, à environ 90 pieds du bord de la piste et 6600 pieds du seuil. Aucun des 106 passagers, 6 membres d'équipage et 1 membre d'équipage hors service n'est blessé. L'évacuation n'est pas jugée nécessaire. Les passagers et le personnel de la cabine débarquent de l'aéronef par un escalier incorporé, puis sont transportés par autobus jusqu'à l'aérogare. L'aéronef subit des dommages mineurs.

*This report is also available in English.*

# Table des matières

1.0	Renseignements de base .....	2
1.1	Déroulement du vol.....	2
1.2	Victimes .....	4
1.2.1	Dommmages à l'aéronef.....	4
1.3	Autres dommages.....	5
1.4	Renseignements sur le personnel .....	5
1.5	Renseignements sur l'aéronef .....	6
1.5.1	Généralités .....	6
1.5.2	Circuit d'orientation du train avant de l'aéronef .....	6
1.5.3	Circuit hydraulique de l'aéronef.....	7
1.6	Renseignements météorologiques.....	8
1.7	Aides à la navigation.....	8
1.8	Communications .....	8
1.9	Renseignements sur l'aérodrome .....	8
1.9.1	Exploitant de l'aéroport .....	8
1.9.2	Essai de frottement sur piste et entretien .....	9
1.9.3	Radar de surveillance des mouvements de surface.....	10
1.10	Enregistreurs de bord.....	10
1.10.1	Données des enregistreurs de bord.....	10
1.10.2	Atterrissage de l'aéronef précédent.....	11
1.11	Renseignements sur l'épave et sur l'impact.....	11
1.12	Renseignements médicaux et pathologiques.....	12
1.13	Incendie .....	12
1.14	Questions relatives à la survie des occupants.....	12
1.15	Essais et recherches.....	12
1.15.1	Simulations de Boeing.....	12
1.15.2	Blocage du taux de braquage du train avant .....	14
1.16	Renseignements sur les organismes et sur la gestion.....	18
1.16.1	Formation à American Airlines .....	18
1.17	Renseignements supplémentaires .....	19
1.17.1	Réaction du pilote .....	19
1.17.2	Événements antérieurs.....	22
1.17.3	Événement en Suède.....	23
1.17.4	Propreté du liquide hydraulique.....	23
1.17.5	Certification .....	24
1.17.6	Méthodologie d'évaluation des risques.....	25
1.17.7	Analyse des mesures de protection.....	29
1.17.8	Recherche dans d'autres bases de données.....	30
1.17.9	Efforts pour réduire les sorties de piste et le besoin de recueillir des données.....	31

1.18	Techniques d'enquête utiles ou efficaces.....	33
<b>2.0</b>	<b>Analyse .....</b>	<b>34</b>
2.1	Généralités .....	34
2.2	Renseignements des enregistreurs, données et simulations techniques .....	34
2.3	Réaction du pilote .....	35
2.4	Événements de blocage du taux de braquage du train avant et examen de la soupape .....	37
2.5	Perception.....	37
2.6	Besoin de recueillir des données.....	38
<b>3.0</b>	<b>Faits établis .....</b>	<b>40</b>
3.1	Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs .....	40
3.2	Faits établis quant aux risques .....	40
3.3	Autres faits établis.....	40
<b>4.0</b>	<b>Mesures de sécurité .....</b>	<b>41</b>
4.1	Mesures de sécurité prises .....	41
4.1.1	American Airlines .....	41
4.2	Préoccupations liées à la sécurité.....	41
<b>Annexes.....</b>	<b>.....</b>	<b>43</b>
	Annexe A – Liste des rapports de laboratoire du BST.....	43
	Annexe B – Chronologie des événements : vol AAL802.....	44
	Annexe C – Commandes latérales et de direction de l'enregistreur de données de vol.....	45
	Annexe D – Emplacement possible de débris lors d'un blocage du taux de braquage du train avant.....	48
	Annexe E – Simulations par Boeing d'un blocage du taux de braquage du train avant à ½° par seconde .....	49
	Annexe F – Tableau des conséquences les plus graves utilisé pour la classification.....	50
	Annexe G – Recherche dans d'autres bases de données.....	53

## 1.0 Renseignements de base

### 1.1 Déroulement du vol

L'avion effectuant le vol AAL802 a décollé à 17 h 05 de l'aéroport international Dallas-Fort Worth (KDFW), aux États-Unis<sup>1</sup>. Le commandant de bord occupait le siège gauche et était le pilote aux commandes (PF). Le premier officier occupait le siège droit et était le pilote surveillant (PM). Le vol s'est déroulé sans incident et est arrivé à l'heure prévue à l'aéroport international Pierre-Elliott-Trudeau (CYUL) de Montréal (Québec).

En route et une fois de plus avant d'atterrir, l'équipage a reçu des mises à jour des renseignements météorologiques pour CYUL du service automatique d'information de région terminale (ATIS). La piste 24R était celle qui servait aux atterrissages; elle a été déclarée nue et mouillée sur 100 % de sa surface. Il y avait une pluie légère, et les vents signalés à l'équipage pendant l'approche finale soufflaient du 150° magnétique (M) à 16 nœuds, donnant un vent traversier prévu à l'atterrissage de la gauche de 90°. L'équipage a effectué une approche en vue d'un atterrissage aux instruments (ILS) sur la piste 24R. Les listes de vérifications à l'approche et à l'atterrissage ainsi que toutes les annonces ont été exécutées conformément aux procédures d'utilisation normalisées (SOP) de l'entreprise.

Les essuie-glaces n'ont pas été utilisés pendant l'approche et l'atterrissage parce que la pluie légère s'écoulait efficacement du pare-brise. Le système de freinage automatique peut être réglé à 1, 2, 3 ou MAX pour l'atterrissage<sup>2</sup>. L'enregistreur de données de vol (FDR) n'a pas enregistré le réglage du freinage automatique, mais la performance en décélération pendant l'atterrissage était caractéristique d'un système de freinage automatique réglé à 2. Les volets ont été sortis en position de 30°. Selon la masse à l'atterrissage de l'aéronef, le réglage tant du freinage automatique que des volets était approprié en fonction de l'état et de la longueur de la piste. La  $V_{REF}$ <sup>3</sup> calculée de 145 nœuds<sup>4</sup> convenait à la masse à l'atterrissage de l'aéronef et aux conditions météorologiques.

L'aéronef a été configuré pour l'atterrissage avant de franchir le repère d'approche finale (FAF) JARRY, situé à 4,9 milles marins (nm) du seuil de la piste 24R. Les vents au FAF soufflaient du 180 °M à 44 nœuds<sup>5</sup>, diminuant graduellement jusqu'à 14 nœuds du 157 °M au-dessus du seuil, donnant une composante vent de face de 2,2 nœuds et une composante vent de travers de 13,8 nœuds soufflant de la gauche au toucher des roues. Malgré sa présence, le vent de travers à l'atterrissage était bien en deçà des recommandations du fabricant pour cet aéronef<sup>6</sup>.

---

<sup>1</sup> Les heures sont exprimées en heure normale de l'Est (temps universel coordonné moins 5 heures).

<sup>2</sup> Le réglage à 1 de ces 4 positions donne le taux de décélération voulu pour l'atterrissage.

<sup>3</sup> L'abréviation «  $V_{REF}$  » représente la vitesse d'approche de référence (au moins 1,23  $V_{SIG}$  fois la vitesse de décrochage normale 1g) en configuration normale d'atterrissage.

<sup>4</sup> À moins d'indication contraire, toutes les vitesses de l'aéronef mentionnées sont des vitesses anémométriques.

<sup>5</sup> La direction et la vitesse du vent proviennent des données de l'enregistreur des données de vol (FDR).

<sup>6</sup> Lorsqu'il y a de l'eau stagnante sur une piste, la composante vent de travers ne doit pas être supérieure à 20 nœuds. Les recommandations en matière de vent de travers ne sont pas

L'approche était stable avec seulement quelques écarts mineurs par rapport à l'alignement de piste et de descente. Le pilote automatique a été désactivé à environ 1830 pieds au-dessus du niveau de la mer (asl) tandis que les automanettes sont restées activées jusqu'au toucher des roues.

L'aéronef a franchi le seuil à une hauteur indiquée au radioaltimètre de 32 pieds au-dessus du sol (agl)<sup>7</sup> et à une vitesse de 156 nœuds ( $V_{REF} + 11$ ). Le toucher des roues initial s'est effectué fermement à une vitesse de 150 nœuds ( $V_{REF} + 5$ ) et à une distance de 825 pieds du seuil<sup>8</sup>. Le circuit aérofreins automatiques et le freinage automatique se sont activés simultanément moins de 1 seconde après le toucher des roues. Ces activations ont été immédiatement suivies de l'actionnement manuel de la poussée d'inversion maximale. La décélération de l'aéronef était considérée comme normale.

Après le toucher des roues, l'aéronef est resté centré sur l'axe de piste, et seules des rectifications mineures au cap ont été requises pendant les 16 premières secondes du roulement à l'atterrissage. À partir de 19 h 53 min 10 s, à une distance de 4370 pieds au-delà du seuil de piste et à une vitesse approximative de 89 nœuds, l'aéronef a commencé à virer à gauche immédiatement après la réduction de l'inversion de poussée au cran 2<sup>9</sup> (annexe B). La réaction initiale du PF, 3 secondes après le début du déplacement, soit à 19 h 53 min 13 s, était de tourner le volant de commande à droite. La pédale droite du palonnier a ensuite été enfoncée, à 19 h 53 min 17 s<sup>10</sup>, pour corriger le changement et l'écart de cap. Cependant, l'aéronef n'a pas répondu immédiatement à la sollicitation du palonnier. Le déplacement du volant vers la droite a atteint 90° à 19 h 53 min 19 s. La pédale droite du palonnier a ensuite été enfoncée davantage jusqu'à l'équivalent de 83 % de sa course pendant environ 3 secondes. Même si le cap de l'aéronef a commencé à regagner le cap de la piste à partir de 19 h 53 min 20 s, l'aéronef a continué de se déplacer vers la gauche de la piste. Selon les données du FDR, l'aéronef avait un léger mouvement latéral. Cependant, rien n'indique que les pneus se soient bloqués à ce stade ou à tout autre moment durant le roulement à l'atterrissage. À ce moment, l'aéronef était par le travers de la voie de circulation Echo et 60 pieds à gauche de l'axe de la piste. Le PF a ensuite inversé la poussée au cran MAX et a relâché le palonnier droit. L'aéronef a quitté la surface de la piste à 19 h 53 min 23 s<sup>11</sup>, à 61 pieds au-delà de la voie de circulation Echo, sur un cap de 230 °M, à une vitesse sol de 59 nœuds.

---

considérées comme des limites. La norme d'American Airlines à l'égard de la composante vent de travers maximale à l'atterrissage est de 33 nœuds.

<sup>7</sup> La hauteur indiquée au radioaltimètre enregistrée est étalonnée de façon à indiquer la hauteur du bas du train principal au-dessus du relief.

<sup>8</sup> Le manuel de vol d'American Airlines (*American Airlines Flight Manual*, partie 1, Bulletin No. FM-017 - Landing Touchdown Point, Date 8-03-10), stipule que le point de toucher voulu des aéronefs à fuselage étroit doit se trouver à l'intérieur des 800 à 1500 premiers pieds au-delà du seuil d'atterrissage.

<sup>9</sup> Cette position fournit une inversion de poussée adéquate en exploitation normale. Au besoin, le levier d'inversion de poussée peut être tiré au-delà du cran 2 pour fournir la poussée d'inversion maximale. L'inverseur de poussée n'est utilisé que pour les opérations au sol après le toucher des roues pour ralentir l'aéronef, et permet de réduire la distance d'arrêt et l'usure des freins. Le FDR indique que l'inversion de poussée était symétrique.

<sup>10</sup> La vitesse sol était d'environ 75 nœuds.

<sup>11</sup> Le moment de la sortie de piste a été établi principalement en fonction du bruit des accéléromètres et des changements d'assiette de l'aéronef.

Le système de freinage automatique était activé pendant tout le roulement à l'atterrissage; il n'y a eu aucune tentative de freinage manuel pendant l'écart par rapport à l'axe de piste. L'aéronef s'est immobilisé à 19 h 53 min 32 s avec tous les trains d'atterrissage dans le gazon et la boue. En aucun temps, pendant l'approche, l'atterrissage ou la décélération de l'aéronef, l'un ou l'autre des membres de l'équipage n'a noté d'anomalie sur l'aéronef, n'a vu de voyant d'alarme ou n'a entendu d'alarme sonore indiquant un système défectueux.

L'équipage a avisé le contrôleur de la tour que l'aéronef était sorti de la piste, et des véhicules de secours d'urgence ont été dépêchés sur les lieux. L'équipage a commencé la liste des vérifications en cas d'évacuation; cependant, on a demandé aux passagers de rester assis parce qu'il n'y avait pas d'incendie, de fumée ni de besoin immédiat d'évacuer. Les moteurs ont été coupés et le groupe auxiliaire de bord a été démarré pour assurer l'éclairage et le chauffage de l'aéronef. Conformément aux procédures de l'entreprise<sup>12</sup>, l'équipage a tiré les disjoncteurs de l'enregistreur de conversations de poste de pilotage (CVR) afin de préserver les renseignements qu'il contenait. Un escalier incorporé a été déployé pour faire débarquer les occupants de l'aéronef par l'issue arrière droite. Tous ont ensuite été transportés jusqu'à l'aérogare par autobus.

## 1.2 Victimes

**Tableau 1.** Victimes

	Équipage de conduite	Passagers	Équipage hors service	Total
Tués	-	-	-	-
Blessés graves	-	-	-	-
Blessés légers/indemnes	6	106	1	113
Total	6	106	1	113

### 1.2.1 Dommages à l'aéronef

Les dommages à l'aéronef étaient considérés comme mineurs. Il n'y avait pas de dommages structurels; il n'y avait pas de dommages à l'intérieur de la cabine ou du poste de pilotage.

La course normale et la réponse du circuit d'orientation du train avant ont été vérifiées tant à l'aide des 2 pédales que de la barre. Le circuit fonctionnait conformément aux spécifications. Les freins ne présentaient aucune anomalie et fonctionnaient normalement. Le module de commande antidérapage et de freinage automatique n'affichait aucune anomalie. La pression des pneus a été mesurée le jour suivant la récupération de l'aéronef, lequel avait passé la nuit dans un hangar chauffé; la pression de tous les pneus se situait dans les limites normales des spécifications. Les pneus étaient intacts et ne présentaient aucun signe d'aquaplanage causé par

<sup>12</sup> American Airlines Flight Manual, Part I – Abnormal and Emergency, Section 19 – Deactivation of the Recorder, and Part I – Bulletin FM-013, 4.1 B.

la dévulcanisation du caoutchouc<sup>13</sup>. À l'exception de quelques marques en chevron<sup>14</sup>, les pneus étaient dans un état opérationnel acceptable et ne présentaient aucune condition défavorable résultant de l'événement. Les pneus et les freins ont tous été retirés et remplacés par mesure de précaution.

Une inspection endoscopique des réacteurs a révélé de légers dommages par corps étrangers (FOD)<sup>15</sup>, mais ces FOD étaient considérés comme se situant à l'intérieur des marges de tolérance indiquées dans le manuel d'entretien. Des entailles détectées sur les pales de soufflante ont été aplanies avant le départ de CYUL en vertu d'un permis de convoyage spécial. Le support du bras inférieur de compas du train d'atterrissage principal gauche, qui était déformé, a été remplacé aux États-Unis.

### *1.3 Autres dommages*

Les dommages causés à l'environnement aéroportuaire se sont limités à 1 feu de piste et sont survenus lorsque l'aéronef a quitté la surface de la piste. Les roues de l'aéronef et l'équipement lourd utilisé pour le récupérer ont laissé des ornières d'une profondeur de 12 pouces dans l'herbe.

### *1.4 Renseignements sur le personnel*

L'équipage de conduite possédait les licences et les qualifications nécessaires pour effectuer le vol, conformément à la réglementation en vigueur. Dans les jours précédant l'événement, le commandant de bord et le premier officier avaient eu 2 et 7 jours de repos, respectivement. L'équipage avait cumulé environ 9 heures de service continu au moment de l'événement. La fatigue n'est pas considérée comme un facteur ayant contribué à cet événement.

Le commandant de bord avait cumulé quelque 15 000 heures de vol en tout, et avait antérieurement été pilote au sein des forces navales américaines. Au cours de ses 23 années à l'emploi d'American Airlines, le commandant de bord a volé comme mécanicien de bord sur des avions B727 et DC10, ainsi que comme premier officier sur des avions MD11, A300, B757 et B767. Le commandant de bord totalisait 3300 heures à titre de commandant de bord sur des avions A300, B757 et B767 et au moment de l'événement avait cumulé 200 heures d'expérience comme sur des avions B737.

Le premier officier avait cumulé plus de 10 000 heures de vol en tout et a antérieurement été pilote au sein des forces navales des États-Unis. Au cours de ses 12 années à l'emploi d'American Airlines, le premier officier a tout d'abord volé comme mécanicien de bord sur des

---

<sup>13</sup> L'aquaplanage causé par la dévulcanisation du caoutchouc (vapeur) se produit pendant un freinage intense qui entraîne un dérapage prolongé des roues bloquées. Il suffit d'une mince couche d'eau sur la piste pour que se produise ce type d'aquaplanage. Le dérapage d'un pneu génère suffisamment de chaleur pour ramener le caoutchouc qui se trouve en contact avec la piste à son état antérieur à la vulcanisation.

<sup>14</sup> Les marques en chevron sont des dommages à la bande de roulement qui peuvent être causés par les courses ou le freinage sur des pistes à rainures entrecroisées.

<sup>15</sup> Les dommages par corps étrangers sont des dommages causés par toute matière pouvant pénétrer dans les réacteurs.



avions B727, puis comme premier officier sur des avions B737. Au moment de l'événement, le premier officier totalisait 6800 heures à titre de premier officier sur des avions B737.

## 1.5 Renseignements sur l'aéronef

### 1.5.1 Généralités

L'aéronef en cause<sup>16</sup> était homologué, équipé et entretenu conformément à la réglementation en vigueur et aux procédures approuvées. Il a été établi que la masse et le centre de gravité de l'appareil se situaient à l'intérieur des limites prescrites. Toutes les exigences du calendrier d'inspection ont été remplies avant le vol. Il n'y avait aucun élément reporté à une date ultérieure dans la liste minimale d'équipements (LME) au moment de l'événement. La dernière maintenance planifiée exigée<sup>17</sup> s'appliquant au circuit d'orientation train avant avait eu lieu le 21 juillet 2010. Aucune réparation ou anomalie du circuit d'orientation du train avant n'a été signalée dans les 3 mois précédant l'événement, et l'équipage en question n'a signalé aucune difficulté technique ni défaillance de circuit.

**Tableau 2.** Renseignements sur l'aéronef

Constructeur	The Boeing Company
Type et modèle	Boeing 737-823
Année de construction	1999
Numéro de série	29503
Certificat de navigabilité	9 février 1999
Nombre total d'heures de vol cellule	34 841 heures
Type de moteur (nombre)	CFM56-7B24 (2)
Masse maximale autorisée au décollage	174 200 lb

### 1.5.2 Circuit d'orientation du train avant de l'aéronef

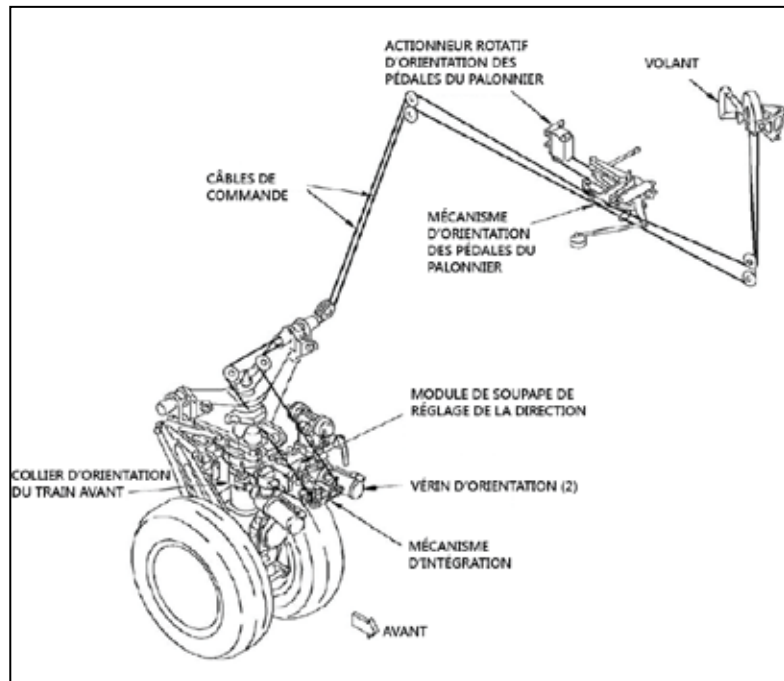
Le circuit d'orientation du train avant (figure 1) assure la commande de direction de l'aéronef au sol. Ses composants se trouvent dans le poste de pilotage et dans le puits de roues du train avant. L'orientation au palonnier est possible pendant la circulation au sol, à l'atterrissage et au décollage. On y a recours pour apporter de légères modifications à la commande de direction. Le braquage maximal des pédales du palonnier produit un braquage d'environ 7° du train avant vers la gauche ou vers la droite.

Le mouvement du volant de train avant (barre) fait tourner le train avant jusqu'à 78° vers la gauche ou vers la droite. Les commandes sont transmises à une soupape de réglage de la direction par l'intermédiaire d'un câble aller-retour en acier. La barre, disponible uniquement sur le côté gauche du poste de pilotage de l'aéronef en cause, annule toujours l'effet des commandes des pédales du palonnier au circuit d'orientation du train avant.

<sup>16</sup> Cet avion Boeing 737 était équipé d'ailettes en boucle sur l'extrémité des ailes.

<sup>17</sup> Aux termes du document de planification de la maintenance.

Le circuit d'orientation du train avant est hydromécanique, l'angle du train avant étant modifié par l'intermédiaire de 2 vérins hydrauliques appelés vérins d'orientation montés sur le train avant. La commande de la course de ces vérins est assurée par un bloc de commande hydraulique (le module de soupape de réglage de la direction) monté avec les vérins. Le bloc de commande est actionné par les pédales du palonnier et la barre, par l'intermédiaire de câbles de commande.



**Figure 1.** Circuit d'orientation du train avant et mécanisme d'intégration du Boeing 737NG (Copyright © 1997 The Boeing Company – œuvre inédite – tous droits réservés.) (Traduction superposée par le BST.)

Un mécanisme d'intégration de la direction, situé à l'avant de l'amortisseur oléopneumatique du train avant, combine les commandes d'orientation et la rétroaction de braquage du train avant. Il agit sur le levier de commande du répartiteur, amorçant ou, selon le cas, neutralisant un virage une fois que l'angle de braquage voulu est atteint<sup>18</sup>.

### 1.5.3 Circuit hydraulique de l'aéronef

L'aéronef est doté de 2 circuits hydrauliques principaux, appelés circuits A et B, qui sont alimentés par les pompes entraînées par le moteur et les pompes électriques. La pression normale de fonctionnement est de 3000 livres par pouce carré (lb/po<sup>2</sup>). Différents filtres assurent un certain niveau de propreté du liquide hydraulique dans l'ensemble des circuits. Le liquide hydraulique<sup>19</sup> qui alimente le circuit d'orientation provient du système de sortie du train d'atterrissage, qui est normalement alimenté par le circuit hydraulique A. Le liquide passe au travers d'un filtre à tamis de 100 microns<sup>20</sup> à son entrée dans la soupape de réglage de la direction qui, à son tour, alimente les vérins d'orientation de droite et de gauche selon les commandes de la barre ou des pédales du palonnier.

<sup>18</sup> Boeing 737 Aircraft Maintenance Manual, Chapter 29 : Hydraulic Power.

<sup>19</sup> L'exploitant utilise le liquide hydraulique Skydrol LD-4 depuis le début des années 1990.

<sup>20</sup> 100 microns = 0,0039 pouce

## 1.6 Renseignements météorologiques

Le message horaire d'observation météorologique régulière pour l'aviation (METAR) de 19 h, le 30 novembre, faisait état des conditions suivantes : vents du 140° vrai (V) à 16 nœuds, visibilité de 7 milles terrestres avec pluie légère<sup>21</sup>, avec quelques nuages à 700 pieds agl, ciel couvert à 5000 pieds agl, température de 6,4 °C, point de rosée de 5,6 °C, calage altimétrique de 30,13 pouces de mercure (po Hg), remarques : 1/8 de stratus fractus, 8/8 de stratocumulus, pression atmosphérique au niveau moyen de la mer de 1020,4 hectopascals.

Le METAR de 20 h indiquait des vents du 140 °V à 16 nœuds, une visibilité de 6 milles terrestres avec pluie légère et brume, des nuages épars à 1000 pieds agl, un plafond de nuages fragmentés à 2200 pieds agl, un couvert nuageux à 5000 pieds agl, une température de 6,7 °C, un point de rosée de 5,8 °C, un calage altimétrique de 30,10 po Hg, remarques : 4/8 de stratus fractus, 2/8 de stratocumulus, 2/8 de stratocumulus, une pression atmosphérique au niveau moyen de la mer de 1019,5 hectopascals.

Les données de précipitation obtenues d'Environnement Canada indiquent qu'il était tombé un total de 6,8 mm de pluie entre 13 h et 19 h, le 30 novembre. Des facteurs externes qui peuvent avoir contribué à la perte de maîtrise de la direction, comme de fortes rafales, ont aussi été pris en compte. Aucun changement rapide de direction du vent ni aucune rafale n'ont été enregistrés au moment de l'événement<sup>22</sup>.

## 1.7 Aides à la navigation

Toutes les aides à la navigation dans la région de Montréal étaient en bon état de service au moment de l'événement. L'approche et le toucher des roues se sont déroulés normalement.

## 1.8 Communications

Les communications et les services de contrôle de la circulation aérienne fournis par NAV CANADA étaient clairs, rapides et sans équivoque pendant l'approche et l'atterrissage. Aucune difficulté technique n'a été relevée.

## 1.9 Renseignements sur l'aérodrome

### 1.9.1 Exploitant de l'aéroport

CYUL est un grand aéroport exploité par Aéroports de Montréal (ADM). Il y a 3 pistes disponibles à CYUL. Le soir de l'événement, les avions atterrissaient sur la piste 24R et la piste 24L et décollaient de la piste 24L.

---

<sup>21</sup> Le Manuel d'observations météorologiques de surface (MANOBS), à la section 3.9.5, définit la pluie légère comme un taux de précipitation de 2,5 millimètres par heure ou moins.

<sup>22</sup> Le vent affiché dans le Système d'affichage de l'information opérationnelle (OIDS) est une moyenne sur 2 minutes mise à jour approximativement toutes les 5 secondes et dont la direction est arrondie au multiple de 10° le plus près.

La piste 24R mesure 11 000 pieds de longueur sur 200 pieds de largeur, et sa surface en asphalte et en béton n'est pas rainurée. Elle est orientée au 238 °M. La piste 24R est équipée de feux de balisage lumineux d'approche et de piste à haute intensité, ainsi que de feux d'axe de piste; ils étaient tous allumés et réglés au niveau d'intensité 2<sup>23</sup> au moment de l'événement.

### 1.9.2 Essai de frottement sur piste et entretien

Les opérations hivernales, qui vont de la mi-novembre à la mi-avril, étaient en vigueur à l'aéroport le jour de l'événement. La surface des pistes fait l'objet d'inspections<sup>24</sup> au moins toutes les 8 heures ou aussi souvent que nécessaire, selon les conditions météorologiques changeantes et les comptes rendus des pilotes. La dernière inspection de l'état de la surface des pistes avait été effectuée à 15 h 23. Elle indiquait que la piste 24R était nue et mouillée sur 100 % de sa surface. Les comptes rendus de l'état de la surface pour le mouvement d'aéronefs (AMSCR) sont distribués au centre des opérations d'ADM et à la tour de contrôle de la circulation aérienne (ATC) de l'aéroport CYUL, aux stations d'information de vol et au bureau NOTAM<sup>25</sup> de NAV CANADA. Les AMSCR sont mis à la disposition des équipages de conduite arrivant à CYUL par l'entremise des messages ATIS et de la tour ATC de CYUL.

En hiver, lorsque les pistes peuvent être contaminées par de la neige ou de la glace, ADM prend des lectures à l'aide d'un décéléromètre pour obtenir des relevés de frottement sur piste, mieux connus sous le nom de Coefficient canadien de frottement sur piste (CRFI). Lorsque les pistes sont contaminées de quelque façon que ce soit, un rapport de CRFI accompagne les AMSCR. On ne doit pas utiliser les décéléromètres en présence de neige mouillée, d'eau sur le revêtement, de neige fondante sur le revêtement ou de neige poudreuse de plus de 1 pouce d'épaisseur. Leur utilisation est indiquée en présence d'eau sur de la glace, de neige fondante sur de la glace et de neige poudreuse de moins de 1 pouce d'épaisseur.

Les pentes longitudinales et latérales de la piste 24R à CYUL respectent les normes de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) et de Transports Canada (TC) en matière de déclivité des pistes pour favoriser l'écoulement rapide des eaux de la surface des pistes. L'inspection de la piste après l'événement n'a révélé aucune accumulation d'eau à aucun endroit sur toute sa longueur et sa largeur. Un écoulement rapide de l'eau est recommandé pour éviter l'aquaplanage à l'atterrissage. Les données de l'enregistreur à accès rapide (QAR) et les rapports sur le freinage reçus dans le cadre de l'enquête d'autres équipages qui ont atterri avant l'aéronef en cause révèlent que le freinage sur la piste 24R était bon<sup>26</sup>. Les données du FDR de l'aéronef en cause indiquent qu'il n'y a pas eu d'aquaplanage. Même si la piste était mouillée à l'atterrissage, cette situation ne constitue pas un facteur contributif à l'événement.

---

<sup>23</sup> L'intensité des feux d'axe de piste varie de 1 à 5, la plus forte intensité étant de 5. Le réglage d'intensité varie selon la visibilité au sol.

<sup>24</sup> Les inspections des pistes sont effectuées visuellement, au moyen d'un véhicule, à une vitesse maximale de 60 km/h. Une piste est considérée comme étant mouillée lorsque la main de la personne qui effectue l'inspection est mouillée quand elle touche la surface de la piste ou si l'eau peut être entendue lorsque les pneus du véhicule roulent sur la piste.

<sup>25</sup> Avis aux aviateurs.

<sup>26</sup> On considère que le freinage est « bon » lorsque la décélération de freinage est normale pour l'effort de freinage appliqué aux roues. La commande de direction est normale.

### 1.9.3 Radar de surveillance des mouvements de surface

On a examiné les données radar sol du radar de surveillance des mouvements de surface (ASDE) afin de vérifier si le souffle d'un réacteur d'un autre aéronef effectuant des manœuvres près de la piste 24R aurait pu nuire à l'atterrissage de l'avion AAL802. Il n'y avait aucun autre aéronef à proximité de la piste 24R au moment du roulement à l'atterrissage de l'avion AAL802.

## 1.10 Enregistreurs de bord

### 1.10.1 Données des enregistreurs de bord

Les enregistreurs de bord ont été récupérés le soir de l'événement et transportés au Laboratoire du Bureau de la sécurité des transports (BST) le lendemain en vue de leur analyse.

Le CVR était un FA2100 à semi-conducteurs fabriqué par L3 Communications, sur lequel 31 minutes de données étaient enregistrées. Dans le cas de l'aéronef en cause, le CVR d'une capacité d'enregistrement de 30 minutes enregistre aussi longtemps que l'alimentation électrique de l'aéronef fonctionne, et les données sont écrasées tant que le CVR est sous tension. L'enregistrement a débuté approximativement 20 minutes avant l'atterrissage lorsque le PF terminait les instructions d'approche et a pris fin approximativement 10 minutes après l'atterrissage<sup>27</sup>.

Le FDR était un FA2100 à semi-conducteurs fabriqué par L3 Communications, sur lequel 52 heures de données de vol étaient enregistrées, y compris les données du vol en cause. Le fichier de téléchargement du FDR a été acheminé à l'exploitant, American Airlines, au National Transportation Safety Board (NTSB) des États-Unis et au constructeur de l'aéronef, Boeing.

Le FDR à bord de l'avion B737 en cause n'a pas enregistré de données liées au circuit d'orientation du train avant, comme l'angle de braquage du train avant ou la barre. Aucun règlement n'exige que ces données soient enregistrées. Cependant, ces paramètres sont maintenant enregistrés dans certains types d'aéronefs récemment homologués, puisque les trains avant de conception récente comprennent les capteurs nécessaires à la commande d'orientation du train avant; ces capteurs peuvent aussi fournir des données au FDR.

Aux fins de comparaison, les données du FDR de l'aéronef pour l'atterrissage à KDFW et le décollage de KDFW plus tôt au cours de la journée ont aussi fait l'objet d'un examen relatif au comportement et au pilotage de l'aéronef; aucune information pertinente digne de mention n'a été relevée.

L'examen des paramètres enregistrés s'appliquant à une perte de maîtrise en direction a porté principalement sur les commandes de direction : position des gouvernes de direction,

---

<sup>27</sup> L'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), à l'Annexe 13 de la Convention relative à l'aviation civile internationale, *Enquêtes sur les accidents et incidents d'aviation*, 9<sup>e</sup> édition, 2001, modification 12B, paragraphe 5.12, exige que les États qui mènent des enquêtes sur les accidents protègent les enregistreurs de conversation du poste de pilotage. Le Canada se conforme à cette exigence en protégeant tous les équipements d'enregistrement embarqués (y compris les CVR), dont les enregistrements sont protégés aux termes de la *Loi sur le Bureau canadien d'enquête sur les accidents de transport et de la sécurité des transports*.

sollicitations faites au palonnier, utilisation des freins et poussée du moteur. Les dispositifs de décélération pour le roulement à l'atterrissage, notamment les freins de roue, les inverseurs de poussée et les freins aérodynamiques, ont également fait l'objet d'un examen : il a été déterminé qu'ils fonctionnaient normalement.

Une route au sol a été calculée à partir des données de vitesse sol et d'angle de dérive enregistrées par le FDR. La dérive enregistrée était négligeable durant la course initiale à l'atterrissage, et les calculs indiquaient que l'aéronef se dirigeait tout droit, dans l'axe de la piste. Cette constatation correspondait aux données du radar ASDE, qui indiquaient aussi que l'aéronef maintenait le cap de la piste.

L'écart de cap vers la gauche de l'axe de piste ne résultait d'aucune pression qui aurait été exercée sur la pédale gauche du palonnier par l'un ou l'autre des pilotes. Les données du FDR indiquent le déplacement du volant et le fonctionnement de l'inversion de poussée au début du virage intempestif; par conséquent, la barre, disponible uniquement sur le côté du commandant de bord de l'aéronef, n'a vraisemblablement pas été utilisée pour amorcer le virage. En outre, les données n'indiquent aucun freinage asymétrique ni aucune poussée asymétrique (annexe C).

### *1.10.2 Atterrissage de l'aéronef précédent*

Un autre aéronef, un B737-700, a atterri sur la piste 24R à 19 h 31, quelque 22 minutes avant l'aéronef en cause. Les précipitations et les vents enregistrés pour le METAR de 19 h sont demeurés semblables au moment de l'atterrissage de l'avion AAL802. Le fichier de téléchargement du QAR a été obtenu de l'exploitant du B737-700 et les paramètres pertinents relatifs à l'atterrissage ont été tracés sur un graphique aux fins de comparaison. Les données indiquent une bonne décélération, conforme aux conditions de freinage décrites par l'équipage de conduite après l'événement; la décélération longitudinale maximale enregistrée était de 0,24 g (enregistrée comme accélération négative), soit la même que celle de l'aéronef en cause à l'atterrissage. Malgré la présence d'un vent de travers direct soufflant à environ 16 nœuds, il n'est survenu aucun problème de maîtrise de la direction pendant le roulement à l'atterrissage du B737-700, ce qui suggère que la capacité de virage des pneus<sup>28</sup> était adéquate.

## *1.11 Renseignements sur l'épave et sur l'impact*

Après avoir quitté la piste, l'aéronef a parcouru environ 485 pieds le long du côté de la piste et s'est immobilisé sur un cap de 212 °M dans l'herbe et la boue. Le train avant et le train principal droit se trouvaient respectivement à 90 pieds et à 50 pieds du bord du revêtement de la piste (photo 1).

Il n'y avait pas de marques blanches de chauffage à la vapeur visibles sur le revêtement de la piste qui auraient été indicatives d'un aquaplanage. Il n'y avait pas de marques d'impact au sol, de marques de dérapage de pneu ni de dommage à la surface de la piste. Un feu de bord de la piste a été endommagé lorsque l'aéronef a quitté la surface de la piste.

---

<sup>28</sup> La capacité de virage des pneus correspond aux forces qui sont développées à la perpendiculaire de la direction des pneus. Les forces de virage fournissent la capacité de tenue d'axe sur la piste. Un bon frottement des pneus sur le sol et d'énormes charges verticales favorisent tant un bon freinage que de bons virages.



**Photo 1.** Boeing 737 AAL802 hors piste

### *1.12 Renseignements médicaux et pathologiques*

Sans objet.

### *1.13 Incendie*

Sans objet.

### *1.14 Questions relatives à la survie des occupants*

Sans objet.

### *1.15 Essais et recherches*

#### *1.15.1 Simulations de Boeing*

Selon les paramètres du FDR, tous les circuits fonctionnaient normalement et l'équipage n'avait pas sollicité l'écart de cap par rapport à l'axe de la piste. Le BST a demandé au constructeur de l'aéronef, Boeing, de l'aider à comprendre les difficultés éprouvées dans la maîtrise de la direction.

Boeing a effectué différentes simulations à partir des données enregistrées par le FDR pour contrôler les paramètres requis. Un pilote sur modèle mathématique<sup>29</sup> a été utilisé pour contrôler le paramètre des pédales du palonnier. La simulation réalisée à partir d'un ordinateur de bureau offre la souplesse de pouvoir contrôler la simulation à partir des données du FDR ou

---

<sup>29</sup>

Le terme « Pilote sur modèle mathématique » désigne un modèle mathématique simplifié élaboré par Boeing et utilisé pour simuler le pilote.

d'utiliser des modèles mathématiques de pilote. Un pilote sur modèle mathématique sollicite des commandes pour surveiller des paramètres précisés dans une tentative de réduire à zéro l'erreur entre les données enregistrées par le FDR et la simulation<sup>30</sup>. En l'espèce, le pilote sur modèle mathématique a été créé pour reproduire la trajectoire au sol calculée et le cap enregistré au moyen du paramètre des pédales du palonnier, qui a ensuite été comparé à la position des pédales enregistrée par le FDR.

La simulation a été établie au sol avec des conditions initiales (p. ex., masse, vitesse, etc.), des commandes et des sollicitations sur la manette des gaz semblables à celles enregistrées par le FDR. La simulation a été contrôlée avec la position du stabilisateur, la position du manche, la position des roues et la position de la manette des gaz enregistrées par le FDR. Les pressions de freinage des simulations ont été contrôlées de façon symétrique avec la pression de freinage du train droit biaisée<sup>31</sup> du FDR. De plus, un pilote sur modèle mathématique a servi à contrôler la position des pédales du palonnier afin de reproduire le cap enregistré et la trajectoire au sol calculée. On a supposé un centre de gravité à mi-distance de 20 %. Le vent utilisé dans les simulations était un vent constant soufflant à 16 nœuds, du 150°, comme il a été signalé au moment de l'atterrissage. La contamination de la surface de la piste a été modélisée selon une piste mouillée conformément aux normes de la Federal Aviation Administration (FAA)<sup>32</sup>.

La portée de l'étude de simulation a été déterminée au fil de discussions entre le personnel du BST, de Boeing, du NTSB et d'American Airlines. Les facteurs suivants ont été pris en considération comme causes possibles de la déviation par rapport à l'axe de piste :

- si la piste était mouillée ou inondée;
- des variations du vent de travers comme des rafales;
- une différence dans le freinage entre le train principal gauche et droit;
- des différences dans le taux de poussée inverse;
- des anomalies dans le circuit d'orientation du train avant.

Ces causes possibles ont fait l'objet de simulations effectuées par Boeing. Les simulations techniques effectuées ont permis de déterminer que la meilleure correspondance entre la simulation et les données du FDR de tous les cas possibles analysés est une anomalie du circuit d'orientation du train avant. Un blocage du taux de braquage du train avant correspondait le mieux, plutôt qu'un blocage de la position de braquage du train avant. Plusieurs taux de braquage du train avant ont été étudiés ( $\frac{1}{2}^\circ$  par seconde,  $1^\circ$  par seconde,  $2^\circ$  par seconde et  $5^\circ$  par seconde)<sup>33</sup>; le blocage selon un taux de  $\frac{1}{2}^\circ$  par seconde offrait la meilleure correspondance. Boeing estime que la cause la plus vraisemblable du virage intempestif est un blocage temporaire à basse vitesse de rotation du taux de braquage du train avant.

---

<sup>30</sup> Rapport de Boeing sur le vol AAL802, 2013.

<sup>31</sup> Puisque le transmetteur de pression de freinage gauche était défectueux, seules les données de pression de freinage de droite ont été prises en compte lors de la simulation.

<sup>32</sup> Rapport de Boeing sur le vol AAL802, 2013.

<sup>33</sup> Dans d'autres situations de blocage, Boeing n'a constaté que des basses vitesses de rotation de  $5^\circ$  par seconde ou moins. La taille théorique de débris dans la soupape qui seraient capables de bloquer celle-ci et de provoquer un taux supérieur à  $\frac{1}{2}^\circ$  par seconde serait supérieure à 0,0035 pouce; par conséquent, de tels débris seraient trop gros pour passer dans la crépine de 100 microns à l'entrée.



### 1.15.2 Blocage du taux de braquage du train avant

Un blocage du taux de braquage du train avant se produit lors de l'interruption de la rétroaction au circuit d'orientation; le train avant continue alors de virer (pivoter) à un taux fixe jusqu'à la fin de la course ou jusqu'à l'élimination du blocage.

Une explication pour un blocage du taux de braquage serait la présence de débris piégés à l'intérieur de la soupape de réglage (coulisseau/manchon) qui en empêche la fermeture complète. En conséquence, l'angle du train avant change à un taux donné, causant ainsi un virage intempestif. Un tel blocage de la soupape de réglage est difficile à confirmer puisqu'il n'endommage pas nécessairement la soupape et que le liquide du circuit hydraulique peut déloger le débris causant le blocage une fois le blocage éliminé, ne laissant aucun signe de blocage. La taille théorique calculée de débris capables de produire un blocage selon un taux de  $\frac{1}{2}^\circ$  par seconde est évaluée à 0,0035 pouce<sup>34</sup>. Au moment de l'assemblage d'une soupape ou de son installation sur un aéronef, il y a 2 occasions où les orifices hydrauliques sont ouverts et où des débris pourraient entrer dans la soupape. Boeing présume en outre que des débris peuvent provenir des filets du raccord hydraulique lors de l'installation de la soupape ou de l'intérieur de la soupape lorsqu'elle est en service, comme lorsqu'un composant interne commence à se détériorer, ou provenir d'ailleurs à l'intérieur du circuit hydraulique. Dans tous les cas antérieurs dans lesquels la cause probable d'un virage intempestif était aussi associée à un blocage du taux de braquage du train avant, il n'y avait aucun signe de détérioration de pièces à l'intérieur des soupapes examinées. Les normes de propreté des liquides hydrauliques sont abordées plus en détail à la rubrique 1.17.4.

Le fabricant de la soupape de direction du train avant, Parker Hannifin Corporation (PHC), explique que, de par sa conception, la soupape de commande peut cisailer toutes les particules ou les débris, car elle est fabriquée selon des tolérances très étroites qui devraient empêcher les plus grosses particules (d'une taille approximative supérieure à 0,000100 pouce) de se coincer entre le tiroir et le manchon. Si une particule de plus petite taille que le jeu devait se coincer entre le tiroir et le manchon, la capacité de cisaillement des limailles est plus qu'adéquate pour contrer toute résistance de ces particules infimes et insignifiantes. Dans le scénario d'un blocage selon le taux de  $\frac{1}{2}^\circ$  par seconde, on estime que la taille théorique des particules serait de 0,0035 pouce et qu'elles ne pourraient pas être piégées dans le jeu de la soupape. Il serait plus probable qu'une particule de 0,0035 pouce se loge dans l'orifice de réglage entre le tiroir et le manchon (conformément à l'annexe D) lorsque le tiroir s'ouvre à l'orifice de réglage. Selon les calculs, la force requise pour couper une particule théorique en acier d'une résistance à la traction de 200 ksi de cette taille n'est que de 5 livres à l'entrée de la soupape de réglage de la direction du train avant. PHC précise qu'à l'intérieur de soupapes semblables où la capacité de cisaillement a été soumise à des essais, les débris métalliques durs qui sont cisailés ont tendance à laisser des signes visibles sous forme de marques et de rayures sur le tiroir et les bords du manchon. En raison de cette capacité de cisaillement nominale de la soupape, et puisque ni le présent événement, ni aucun autre événement antérieur ne présentaient de signes visibles de cisaillement causé par des débris, PHC n'a pas effectué d'essais additionnels sur la soupape de réglage de la direction du train avant.

La deuxième cause de blocage est la présence de débris, notamment de la glace ou des pierres, dans la tringlerie externe actionnant la soupape de direction. Un blocage de la tringlerie

<sup>34</sup>

0,0039 pouce = 100 microns.

d'intégration externe qui fait fonctionner le levier d'entrée de la soupape de direction a le même effet (blocage de taux) qu'un blocage du coulisseau ou du manchon interne de la soupape. Un couvercle de plastique<sup>35</sup> non scellé protège le dispositif d'orientation, qui est tout de même exposé aux conditions météorologiques lorsque l'aéronef est au sol, du moment où le train est sorti durant l'approche à l'atterrissage jusqu'à ce qu'il soit rentré, après le décollage. Boeing n'a pas effectué d'essai ou de recherche afin de reproduire un scénario de blocage de taux causé par un blocage de la tringlerie externe.

Dans le cas présent, Boeing a conclu que l'écart de cap pendant le roulement à l'atterrissage était vraisemblablement causé par un blocage à basse vitesse de rotation du taux de braquage du train avant (approximativement  $\frac{1}{2}^\circ$  par seconde), de nature temporaire et d'une durée de 8 secondes, soit de 0 h 53 min 10 s à 0 h 53 min 18 s.

#### *1.15.2.1 Fonctionnement de la soupape de réglage de la direction du train avant*

Lorsqu'une commande de direction est sollicitée, des câbles activent la soupape de réglage de la direction et, en raison de la pression hydraulique exercée, les vérins d'orientation font pivoter le vérin interne de l'amortisseur et tourner le train avant. Des câbles transmettent aussi le déplacement du collier d'orientation à la soupape de réglage de la direction pour l'annuler et arrêter le train avant à la position sollicitée. Puisque les 2 câbles sont connectés à une référence fixe (collier d'orientation), tout mouvement différentiel des câbles entraîne une augmentation de la tension d'un câble et une diminution de la tension de l'autre. La différence de tension fait pivoter la bielle et active la soupape de réglage de la direction.

Le module de soupape de réglage de la direction du train avant est situé sur l'amortisseur du train avant, et fournit l'énergie hydraulique pour actionner la direction du train avant en réponse aux commandes mécaniques. Des câbles transmettent le mouvement de la barre ou des pédales du palonnier à un mécanisme d'intégration. Le mécanisme d'intégration déplace ensuite la soupape de réglage de la direction qui dirige le liquide hydraulique à une pression de 3000 lb/po<sup>2</sup> vers les vérins d'orientation du train avant pour en faire tourner la partie orientable. La pression est exercée aux vérins à l'orifice d'extension, à l'orifice de rappel ou aux deux pour déplacer les roues du train avant de 0° à 78°. Lorsque les roues du train avant arrivent à la position sollicitée, le mécanisme d'intégration remet la soupape de réglage en position neutre. Cela interrompt la pression hydraulique exercée sur les vérins. Les vérins maintiennent la roue dans sa position actuelle.

Essentiellement, la soupape de réglage de la direction suit le mouvement des pédales, de façon à ce que chaque fois que les pédales sont déplacées vers la gauche, le train avant pivote aussi vers la gauche. Si le train avant est orienté vers la droite par une pression sur la pédale droite, et que celle-ci est ensuite relâchée, le circuit commande à la soupape de réglage de la direction d'effectuer un virage à gauche pour réorienter le train avant vers le centre (la position neutre). Si la soupape ou la tringlerie qui actionne la soupape se coince dans une position pour un virage demandé, le train continuera de pivoter jusqu'à ce que la soupape se débloque ou que la direction atteigne la fin de sa course. On parle alors d'un blocage du taux de braquage du train avant. Par conséquent, la soupape de réglage de la direction peut non seulement bloquer dans

<sup>35</sup>

Le couvercle de plastique empêche que des outils, des dispositifs de fixation desserrés, de la boue, des pierres, de la neige fondante ou de la glace viennent bloquer le dispositif.

un virage à gauche lorsqu'une pression est exercée sur la pédale gauche, mais aussi lorsque la pression sur la pédale droite est relâchée.

Les données du FDR indiquent qu'au cours des 8 secondes de virage à gauche, la pression sur la pédale droite du palonnier a été relâchée à 4 reprises, sollicitant un déplacement vers la position neutre, créant ainsi 4 instances où un blocage vers la gauche aurait pu se produire.

#### *1.15.2.2 Démontage, examen et essais fonctionnels de la soupape de réglage de la direction du train avant*

Compte tenu de la conclusion qu'un blocage du taux de braquage du train avant était vraisemblablement à l'origine du virage intempestif, la soupape de réglage de la direction du train avant<sup>36</sup> de l'aéronef en cause a été retirée le 17 février 2011 et expédiée au fabricant de la soupape (PHC) aux installations de Parker Aerospace en Californie, aux fins d'essais et de démontage. Puisque le dispositif d'orientation du train avant a fait l'objet d'essais et qu'on a conclu qu'il était pleinement fonctionnel après l'événement à CYUL, la soupape n'a pas été retirée à ce moment. La soupape était restée sur l'aéronef en cause à la suite de l'événement du 30 novembre 2010, et aucune autre difficulté liée aux commandes de direction n'a été notée; cet état de fait concorderait avec une situation de blocage temporaire, puisque le circuit d'orientation du train avant a continué de fonctionner normalement après l'événement.

Le module de soupape de réglage de la direction du train avant est un article à remplacer selon l'état. Par conséquent, le nombre d'heures totales en service ne fait pas nécessairement l'objet d'un suivi par l'exploitant. Une inspection externe de la soupape n'a révélé aucun dommage. Les scellés de PHC sur le fil de sécurité de la soupape de direction du train avant en cause indiquaient que la soupape a été assemblée aux installations de PHC. PHC ne possède aucun dossier indiquant que la soupape aurait été retournée à l'installation depuis sa fabrication<sup>37</sup>. Les dossiers d'American Airlines indiquent que la soupape a été installée sur l'aéronef en cause en 2002.

#### *1.15.2.3 Examen du liquide de la soupape de réglage de la direction*

On a récupéré 1 once de liquide translucide violet, présentant la couleur et l'odeur caractéristiques du Skydrol. Le liquide a été envoyé au laboratoire des matériaux et des procédés de PHC aux fins d'analyse. Cet échantillon a été prélevé collectivement des orifices de sortie, d'entrée et de pivot avant que soit enlevée la crépine d'entrée. La taille des particules métalliques trouvées dans l'échantillon de liquide hydraulique était supérieure à celle des mailles de la crépine du filtre d'entrée. Puisque ce module de soupape n'est pas doté d'un clapet de dérivation du filtre d'entrée, il est peu probable que de grosses particules métalliques proviennent d'en amont du filtre d'entrée. La petite taille de l'échantillon de liquide n'a pas permis de classer le liquide selon une échelle de propreté. La dépose de la crépine du filtre d'entrée<sup>38</sup> a révélé que son tamis était intact et qu'environ 1 % de sa surface était obstruée par des débris de pellicules de téflon de couleur brune.

---

<sup>36</sup> Soupape de PHC, numéro de pièce 383900-1007, numéro de série 1621

<sup>37</sup> La soupape a été fabriquée au cours du 3<sup>e</sup> trimestre de 2002; le numéro de référence de la date de fabrication de PHC est 3Q02.

<sup>38</sup> Les mailles de la crépine du filtre d'entrée, numéro de pièce BASX0500300B, sont de 100 microns.

#### 1.15.2.4 Essais fonctionnels de la soupape de réglage de la direction

La soupape a fait l'objet d'essais fonctionnels. Les essais effectués indiquent que l'unité pouvait fonctionner normalement. Le démontage du module de soupape de réglage de la direction du train avant n'a révélé aucune anomalie mécanique; on a constaté un peu de brunissage et de légères éraflures correspondant à une usure normale.

#### 1.15.2.5 Autres simulations de Boeing

Le BST a demandé à Boeing si, dans le cadre d'une simulation technique, il aurait été possible que le PF garde l'aéronef sur la piste uniquement à l'aide des pédales du palonnier.

D'autres simulations effectuées par Boeing comprenaient des modifications des sollicitations aux pédales du palonnier pour essayer de garder l'aéronef sur la piste. Boeing a élaboré 2 scénarios avec les simulations techniques.

Le premier scénario portait sur une augmentation de la pression exercée sur la pédale droite du palonnier (jusqu'à la position de braquage complet) à partir d'une position neutre à 19 h 53 min 13 s, soit 3 secondes après le début du virage intempestif à gauche. Ce moment a été choisi parce qu'il s'agit de celui auquel une pression a été exercée sur le volant de commande de droite au lieu de la pédale droite du palonnier. Lors de la simulation, à partir de 19 h 53 min 13 s, la pression exercée sur la pédale droite du palonnier a été augmentée, atteignant la position de braquage complet à 19 h 53 min 17 s; par conséquent, la pédale du palonnier a été enfoncée graduellement pour atteindre la fin de sa course après 4 secondes. La pédale du palonnier n'a pas été relâchée avant la fin de la simulation. On présume que le blocage s'est dégagé à 19 h 53 min 18 s<sup>39</sup> (annexe E).

Le second scénario consistait à appliquer et à retenir le palonnier à fond à partir de 19 h 53 min 19 s<sup>40</sup>, dépassant la pression exercée sur le palonnier qui a été enregistrée par le FDR à ce moment, lorsque le cap de l'aéronef a commencé à regagner le cap de piste. Cette pression sur le palonnier a été maintenue pendant quelque 3 secondes, jusqu'à ce que l'aéronef revienne en direction de l'axe de piste (annexe E).

Ces simulations indiquent, dans les 2 scénarios, que la maîtrise aurait été suffisante pour empêcher une déviation importante par rapport à l'axe de piste. Seules les pédales du palonnier ont été utilisées dans le cadre des simulations. D'autres commandes de direction auraient pu être utilisées, comme le freinage différentiel ou l'inversion de poussée différentielle. Les simulations de Boeing suggèrent que les pédales du palonnier avaient été enfoncées suffisamment pour garder l'aéronef sur la piste, en supposant que le blocage s'est dégagé à 19 h 53 min 18 s, comme il est expliqué ci-dessus.

---

<sup>39</sup> La vitesse sol était de 68 nœuds.

<sup>40</sup> La vitesse sol était de 64 nœuds. La simulation a pris fin à 19 h 53 min 22 s; la vitesse était de 56 nœuds.

## 1.16 Renseignements sur les organismes et sur la gestion

### 1.16.1 Formation à American Airlines

Les équipages de conduite d'American Airlines reçoivent une formation normale en classe et sur simulateur afin d'acquérir l'expertise nécessaire pour effectuer des opérations aériennes sûres tout en assurant l'efficacité opérationnelle et le confort des passagers. Dans le cadre de cette formation et au cours d'opérations en ligne, les équipages de conduite consultent différents manuels. Certains de ces manuels fournissent des renseignements techniques et décrivent des systèmes, tandis que d'autres fournissent des renseignements pertinents à l'égard des limites et de l'exploitation de l'aéronef. La formation est structurée de façon à exposer les équipages aux différents scénarios de panne qui pourraient survenir dans le cadre d'opérations en vol et au sol.

Des listes de vérifications sont élaborées pour aider les équipages de conduite en cas de pannes ou d'anomalies de systèmes particuliers. Les listes de vérifications portent sur les procédures normales et les urgences; elles correspondent la plupart du temps à un voyant, une alarme ou une autre indication. Ces voyants, alarmes et autres indications sont des signaux permettant à l'équipage de sélectionner la liste de vérifications appropriée et de l'exécuter. Les équipages de conduite utilisent des listes de vérifications en cas de situation anormale pour gérer les situations anormales. Boeing fournit aussi des directives relatives aux situations qui débordent du cadre des listes de vérifications en cas de situation anormale. Les directives sont générales et, en ce qui concerne les problèmes de commande de direction à l'atterrissage ou au décollage, instruisent l'équipage sur la façon de composer avec des situations difficiles qui peuvent exiger le recours à différentes commandes pour prévenir les écarts et les sorties de piste.

Une recherche des différents manuels de référence<sup>41</sup> auxquels avait accès cet équipage de conduite a révélé plusieurs sections qui décrivent comment composer avec des commandes de vol, comme les ailerons, les déporteurs, la gouverne de direction et les gouvernes de profondeur, qui sont bloquées ou dont le débattement est limité. On n'y a trouvé aucune référence sur la façon de résoudre un problème de direction ou de blocage du taux de braquage du train avant. Il y a aussi des sections qui traitent des procédures par vent de travers, des procédures par vent de travers sur piste glissante, de la poussée asymétrique et de l'atterrissage avec des pneus à plat. Le comportement de l'aéronef pour ces types d'événements peut, selon les conditions, être semblable au comportement rencontré dans le cas d'un problème de direction ou de blocage du taux de braquage du train avant.

Un blocage du taux de braquage du train avant au cours du roulement à l'atterrissage ne serait pas annoncé par un voyant, une alarme ou une autre indication. Étant donné que cela peut se produire pendant le roulement à l'atterrissage ou au décollage, une liste de vérifications propre à ce type d'événement ne serait pas consultée. La réaction à ce type d'événement doit être immédiate et intuitive, puisque différentes situations peuvent avoir une incidence négative sur les caractéristiques de l'avion pendant le roulement à l'atterrissage ou au décollage. Il peut être

---

<sup>41</sup> Manuel de formation des équipages de conduite de 737 NG de Boeing, Manuel d'exploitation de l'équipage de conduite de 737-800 de Boeing, Manuel d'exploitation du Boeing 737 d'American Airlines et Manuel de vol d'American Airlines.

nécessaire d'effectuer un freinage différentiel brusque ou d'utiliser une inversion de poussée asymétrique, en plus d'autres commandes, pour garder la maîtrise en direction<sup>42</sup>.

## 1.17 Renseignements supplémentaires

### 1.17.1 Réaction du pilote

Un simple modèle de traitement de l'information chez l'être humain consiste en une série d'étapes d'opérations mentales entre un stimulus et une réponse. Essentiellement, un stimulus est perçu, l'information est traitée, une décision est prise puis une mesure est prise; on peut aussi décider qu'aucune mesure n'est requise. Au terme de ce processus, la personne attend de constater les résultats avant de prendre d'autres mesures. La reconnaissance de modèles fait partie de l'étape du traitement. Cela consiste à établir des liens entre les indices physiques perçus par les sens et des indices significatifs en mémoire. Le processus complet peut prendre moins d'une seconde<sup>43</sup>. Il sera plus long lorsque le stimulus perçu ne correspond pas à ce à quoi on s'attend ou qu'aucune forme n'est immédiatement reconnue. Dekker<sup>44</sup> explique [traduction] :

Les gens mettent à jour leur compréhension de l'évolution d'une situation en fonction des indices perçus. Cette compréhension les incite à agir (ou non) d'une façon ou d'une autre, ce qui change la situation qui du même coup met à jour leur compréhension de ce qui se passe.

La réaction du pilote peut parfois être influencée par des habitudes bien ancrées, dont l'intrusion survient lorsque l'environnement actuel présente des éléments semblables ou identiques à ceux de circonstances très familières. Il s'agit d'activités menées récemment ou fréquemment et dont les lieux, les mouvements et les objets sont semblables aux actions voulues. Essentiellement, l'exécution de ces actions devient largement automatique<sup>45</sup>.

La formation a une incidence considérable sur la façon de gérer une situation anormale ou d'urgence. Des études portant sur le temps de réaction des pilotes dans des simulateurs ont révélé que durant les urgences simulées, lorsque les pilotes s'attendent à devoir composer avec une urgence quelconque, leur temps de réaction est plus court qu'en réalité, alors qu'on ne s'attend pas à ce que la situation d'urgence survienne et qu'on ne s'est pas entraîné à y répondre récemment. Certaines manœuvres d'entraînement sont obligatoires aux termes des règlements en vigueur<sup>46</sup>. Certaines listes de vérifications essentielles sont considérées comme des éléments de mémoire, sont souvent mises en pratique et viennent rapidement à l'esprit, au besoin. Les

---

<sup>42</sup> Boeing 737 NG Flight Crew Training Manual, Situations Beyond the Scope of Non-Normal Checklist, p. 8.35.

<sup>43</sup> Le temps de réaction du pilote peut être défini comme le temps entre l'apparition d'un stimulus et le début d'une mesure manifeste, et cela pourrait exiger un recours simultané aux mains et aux pieds. La FAA définit le temps de réaction en tant que somme du temps de réaction humain et du temps d'initiation de la réaction.

<sup>44</sup> S. Dekker, *The Field Guide to Human Error Investigations*, Ashgate Publishing Limited, 2002, p. 94.

<sup>45</sup> J.T. Reason, *The Human Contribution: Unsafe Acts, Accidents and Heroic Recoveries*, 2008.

<sup>46</sup> *Federal Aviation Regulations (FAR)*, partie 121, annexe H, sections H121.1 à H121.4, (États-Unis). *Règlement de l'aviation canadien (RAC)*, norme 725 – Exploitation d'une entreprise de transport aérien - Avions, section VIII - Formation, articles 725.124 et 725.125 (Canada).

équipages sont rarement confrontés à une situation pour laquelle il n'y a pas de liste de vérifications ni de procédure, même si une telle situation peut se produire dans une urgence réelle<sup>47</sup>.

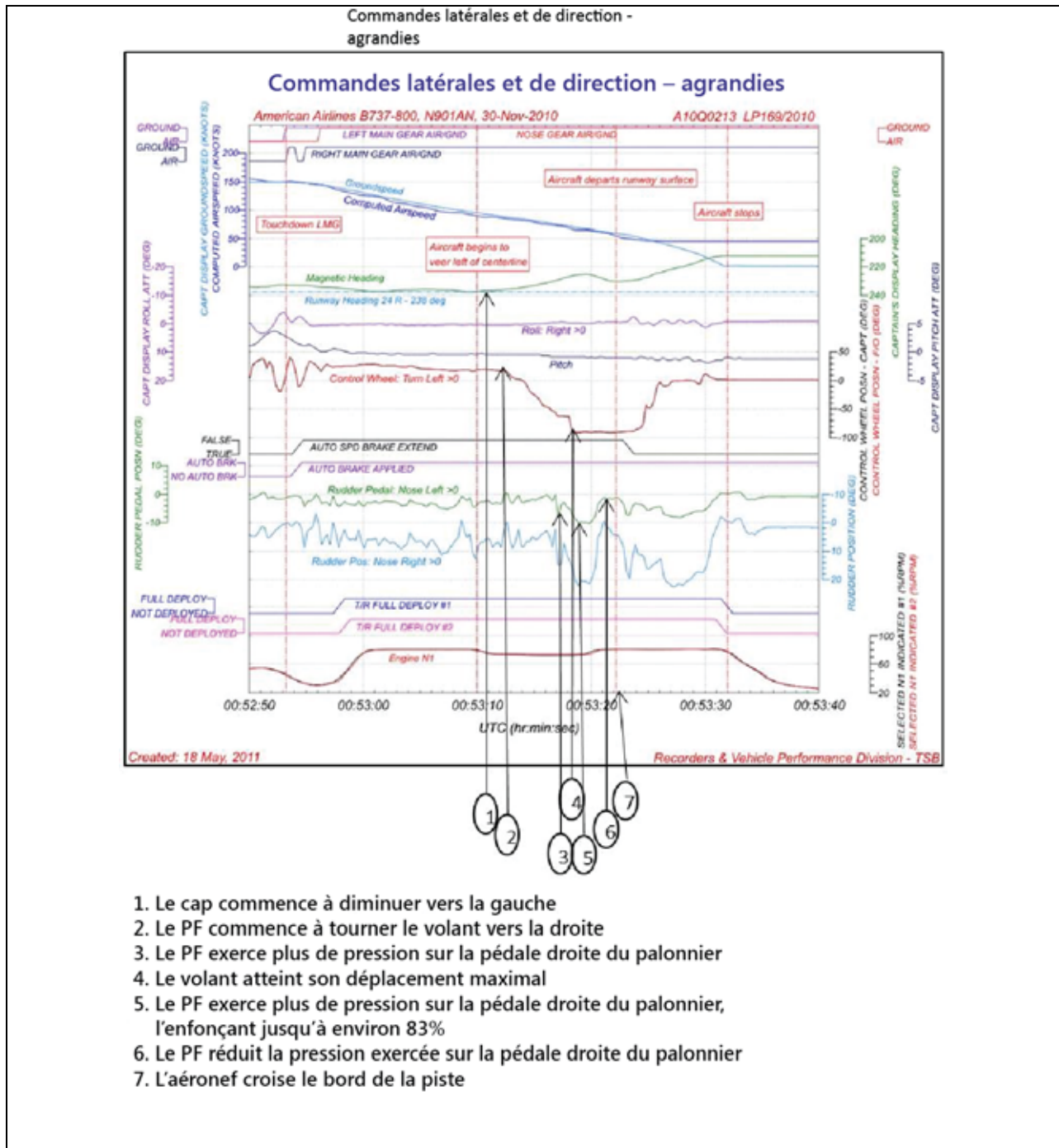
Dans le cas présent, lorsque l'aéronef a commencé à virer graduellement sur la gauche de l'axe de piste, le PF n'a pas immédiatement appuyé sur la pédale droite du palonnier pour contrer l'écart de cap. La réaction initiale du PF, 3 secondes après le début du déplacement, a été de tourner graduellement le volant vers la droite, jusqu'à sa course maximale (90°), 6 secondes plus tard. Le PF a senti que l'aéronef se comportait comme sur de la glace; comme s'il dérapait. Un léger mouvement latéral a été enregistré dans les données du FDR. L'équipage ne s'attendait pas à ce que la piste soit glissante, même si elle était mouillée; la température extérieure ambiante était de 7 °C.

Sept secondes après le début du virage intempestif à gauche, le PF a commencé à exercer une plus forte pression sur la pédale droite du palonnier, l'enfonçant jusqu'à environ 83 % du point maximum de sa course, 2 secondes plus tard. À ce stade, le cap de l'aéronef a commencé à augmenter, réorientant l'aéronef vers la droite. Le PF a réduit la pression exercée sur la pédale droite du palonnier et, 1 seconde plus tard, l'aéronef a quitté la surface revêtue de la piste (figure 2).

Le freinage différentiel peut être utilisé pour aider à diriger ou à immobiliser l'aéronef; cependant, le PF n'a pas eu recours au freinage différentiel manuel pour essayer de diriger ou d'immobiliser l'aéronef durant l'événement.

---

<sup>47</sup> B. K. Burian, I. Barshi et R. K. Dismukes, *The challenges of aviation emergency and abnormal situations*, Mémoire technique de la NASA 2005-213462, Moffett Field, CA : NASA Ames Research Center, 2005.



**Figure 2.** Réaction du pilote à un virage intempestif à gauche

Il n'y a eu aucune demande de la part d'ATC avant l'atterrissage de dégager rapidement la piste. Il n'y avait pas d'autre aéronef suivant de près le vol AAL802 en approche. L'équipage ne se sentait pas obligé de dégager rapidement la piste, et le PF n'avait pas l'intention de quitter la piste par la voie de circulation Echo, la vitesse de l'aéronef étant trop élevée à l'intersection de cette sortie. De plus, il convenait mieux de dégager à l'extrémité de la piste 24R ou par la voie de circulation B2, compte tenu de la porte d'arrivée qui avait été assignée à l'aéronef.



Le PM n'a pas pris les commandes du PF pendant l'écart par rapport à l'axe de piste puisque le PF était actif aux commandes. Compte tenu des circonstances, on ne se serait pas attendu à ce que le PM intervienne aux commandes.

### 1.17.2 Événements antérieurs

Au cours d'une période de 21 ans, il y a eu en tout 11 événements (y compris celui qui fait l'objet du présent rapport) mettant en cause des avions de Boeing<sup>48</sup>, pour lesquels l'avionneur a analysé les données du FDR ou a fait une évaluation, et a attribué les événements à un vraisemblable blocage du taux de braquage du train avant. Le premier de ces événements a eu lieu en 1991. Tous les événements se sont produits à l'atterrissage; un peu plus de la moitié de ces aéronefs ont quitté la surface de la piste prévue dans une certaine mesure. Le B737 était en cause dans 7 des 11 événements. Boeing estime que la fréquence à laquelle un blocage du taux de braquage du train avant se produit est de l'ordre de 1 événement par 10 000 000 de cycles ( $1 \times 10^{-7}$  événement par cycle). Cette estimation repose sur le nombre d'événements dont Boeing est au courant et qui ont fait l'objet d'une analyse ou d'un examen quelconque. Un examen avec démontage des soupapes en cause dans plusieurs de ces événements n'a pas révélé de défektivité ni d'anomalie; par conséquent, aucune conclusion n'a été formulée quant à la cause exacte des blocages du taux de braquage du train avant. Cependant, le comportement des aéronefs, les simulations effectuées par Boeing et le diagnostic par exclusion rendu dans le cadre de l'analyse des données du FDR disponibles portent à croire que la cause la plus vraisemblable est un blocage du taux de braquage du train avant. La cause précise du blocage demeure inconnue. Boeing présume aussi qu'il peut se produire environ 1 événement par année pour toute la flotte d'appareils de Boeing à l'échelle mondiale. Le nombre d'événements pourrait être plus élevé si certains n'ont pas été signalés.

En raison du manque de preuve concluante quant à la cause exacte des événements visant le virage intempestif, et même si les renseignements recueillis suggèrent qu'il s'agissait de blocages du taux de braquage du train avant, Boeing n'a pas informé l'industrie de la possibilité que de tels blocages se produisent, et rien ne l'y oblige, étant donné la fréquence à laquelle ces événements semblent se produire, le manque de preuve de défaillance, de défektivité ou de défaut d'une pièce donnée<sup>49</sup> et l'absence de dommages aux aéronefs et de blessures aux occupants. Il n'y a pas de renseignements ou de directives à l'intention des exploitants ou des équipages relativement à la maîtrise d'un B737 en cas de problème de direction du train avant semblable à celui du présent événement. Cet équipage de conduite n'était pas au courant de la possibilité d'un blocage du taux de braquage du train avant.

Même si Boeing a indiqué que ces blocages du taux de braquage sont signalés à la FAA, rien n'indique que la FAA a effectué une évaluation des risques ou que ces événements font systématiquement l'objet d'un suivi dans le système de suivi des dangers (HTS) de la FAA. Selon les conséquences qui en découlent, ce type d'événement ne répond pas nécessairement aux critères de signalement établis à la partie 21.3 des *Federal Aviation Regulations* (FAR), en raison de l'absence d'une pièce considérée comme défective ou ayant fait défaut, ni ne

---

<sup>48</sup> La période de 21 ans va du premier événement en 1991 jusqu'à novembre 2012. Les modèles d'appareils de Boeing en cause sont notamment : 707/720, 727, 737, 747 (certains modèles), 757, 767 et 777.

<sup>49</sup> FAA Code of Federal Regulations (CFR) Title 14: Aeronautics and Space, Part 21 – *Certification Procedures for Products and Parts*, Subpart A.

répond aux critères de signalement des accidents et des incidents du NTSB. En outre, en l'absence de dommages à l'aéronef ou de blessures aux occupants, il ne s'agit pas d'un événement qui doit être signalé<sup>50</sup>.

### 1.17.3 Événement en Suède

En avril 2004, le bureau suédois d'enquête sur les accidents a mené une enquête sur une sortie de piste accidentelle mettant en cause un B737-600<sup>51</sup>. On considère qu'il s'agit vraisemblablement de l'un des blocages du taux de braquage du train avant analysés par Boeing<sup>52</sup>.

L'aéronef a atterri à l'aéroport d'Ängelholm-Helsingborg (ESTA). Lorsque la vitesse a diminué à environ 60 nœuds et que le commandant de bord a pris en charge la direction sur la piste à l'aide de la commande de direction du train avant (barre), l'aéronef a soudainement commencé à obliquer vers la droite. Le pilote a essayé de ramener l'aéronef dans la bonne direction à l'aide de la direction du train avant, de la gouverne de direction et du freinage différentiel, mais n'y est pas parvenu. Après avoir parcouru 100 mètres (328 pieds) de plus, l'aéronef a quitté la piste, s'immobilisant finalement avec le train avant juste à l'extérieur du bord de piste, à droite. L'enquête n'a révélé aucune anomalie technique. La conclusion du rapport suédois est la suivante [traduction] :

L'événement a été causé par la conception de la direction du train avant sur ce type d'aéronef, qui permet un virage spontané sans intervention des pilotes. Un facteur contributif est que l'avionneur considère qu'une défectuosité est acceptable si la fréquence de défaillance est inférieure à  $1 \times 10^{-5}$ .

### 1.17.4 Propreté du liquide hydraulique

Dans le circuit hydraulique, le liquide sert à la fois d'agent transmetteur d'énergie et de lubrifiant. La présence de contaminants solides dans le liquide nuit à sa capacité de lubrification et provoque l'usure des composants<sup>53</sup>. Il est important de maintenir la propreté du liquide hydraulique pour assurer le bon fonctionnement du circuit hydraulique et prolonger la vie de certains composants. Parmi les contaminants du liquide hydraulique, notons les particules solides, l'air, l'eau ou tout autre objet qui nuit au fonctionnement du circuit hydraulique pressurisé.

En 1998, la FAA a désigné la norme NAS 1638 (National Aerospace Standard) à titre de norme de l'industrie qui définit les niveaux de propreté des liquides hydrauliques. La classe 9 est

---

<sup>50</sup> CFR, titre 49, partie 830.

<sup>51</sup> Swedish Accident Investigation Authority, *Report RL 2005:14e*, cas L-06/04. Cet événement compte parmi les 11 événements connus.

<sup>52</sup> Depuis l'événement suédois survenu en 2004, la flotte de Boeing compte 3197 aéronefs (27 %) de plus à l'échelle mondiale. En juillet 2012, Boeing avait livré un total de 14 725 aéronefs à l'échelle mondiale.

<sup>53</sup> *International Journal of Aerospace Engineering*, Article n° 156281, volume 2010, Hindawi Publishing Corporation, 2010.

considérée comme la tolérance d'utilisation<sup>54</sup>. Même si cette norme a entraîné l'élaboration d'autres systèmes, notamment la norme de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) 4406, le système de classes de la norme NAS 1638 demeure une référence dans l'industrie. Pour établir le niveau de propreté d'un liquide hydraulique, on calcule le nombre et la taille des particules présentes dans un échantillon donné. Cette exigence de classe 9 a été ajoutée au manuel de maintenance du B737. Boeing n'exige pas de prélever régulièrement des échantillons de liquide du circuit hydraulique. Il est suggéré à l'exploitant de prélever des échantillons après la première année de service et ensuite d'établir les intervalles selon son expérience pour maintenir une propreté de classe 9 ou moins. Boeing recommande aussi de prélever des échantillons de liquide après certains événements liés au circuit hydraulique énumérés dans le manuel de maintenance de l'aéronef.

American Airlines avait testé un échantillon de liquide hydraulique de l'aéronef en cause en juillet 2009; on avait alors déterminé que le niveau de propreté du liquide était de classe 12. À la suite de l'analyse de cet échantillon, il a été recommandé que l'exploitant vide le réservoir du circuit et le remplisse de nouveau liquide. Il a également été suggéré de remplacer les filtres du circuit. American Airlines prélève des échantillons du circuit hydraulique toutes les 3400 heures de vol (normalement tous les 24 mois). Dans le cas de l'aéronef en cause, les réservoirs hydrauliques A et B ont été vidés et remplis de nouveau liquide dans le cadre d'une visite à la base de maintenance du 18 juin au 21 juillet 2010. Aucun échantillon de liquide hydraulique n'a été prélevé ou testé spécifiquement pour en confirmer la propreté après la visite à la base de maintenance en 2010. On n'a pas prélevé d'échantillon de liquide hydraulique après l'événement du 30 novembre 2010; le niveau de propreté du liquide hydraulique au moment de l'événement n'a pas été déterminé.

#### 1.17.5 Certification

Le Boeing 737, fabriqué aux États-Unis, a été certifié en vertu de la partie 25 intitulée *Airworthiness Standards, Transport Category Airplanes*. La plupart des *Federal Aviation Regulations* (FAR), y compris la partie 25, sont en vigueur depuis le 1<sup>er</sup> février 1965. Une fois qu'un modèle d'avion est certifié en vertu d'une partie quelconque des FAR, il demeure certifié, quelles que soient les modifications apportées ultérieurement aux règlements. Le B737-800 a été certifié à titre de version dérivée du B737-100 initial. Cependant, différents règlements modifiés avaient aussi été respectés au moment du développement de la série 800.

Le site Web de Boeing précise que l'avionneur avait livré 7010 appareils B737 à l'échelle mondiale<sup>55</sup>. Il y a 246 appareils Boeing immatriculés au Canada, dont 158 sont des B737. Il y a 1289 appareils Boeing immatriculés aux États-Unis.

La soupape de direction du train avant originale installée sur les premiers modèles de B737 était fabriquée par Sargent Aerospace & Defense. La soupape de commande principale (soupape de direction du train avant) de l'aéronef en cause était une soupape fabriquée par PHC; sa

---

<sup>54</sup> Les numéros de classe indiquent le niveau de propreté; la classe 1 représente le liquide le plus propre.

<sup>55</sup> Les statistiques de Boeing pour 2010 indiquent 5 000 000 d'atterrissages par année pour la flotte de B737 NG. Le 737 de Boeing est utilisé pour les vols court-courriers où le nombre d'atterrissages par année est plus élevé comparativement aux aéronefs utilisés pour les vols long-courriers.

conception initiale est restée la même depuis 1997. Cette soupape est très semblable à la soupape certifiée auparavant en ce qui a trait à sa conception et à son fonctionnement, et les deux sont fabriquées selon les spécifications de Boeing. PHC a publié 3 bulletins de service (SB) traitant de la soupape de direction du train avant du B737. Deux des SB portent sur l'incorporation de nouveaux pivots avec un fini de surface amélioré et de nouveaux joints d'étanchéité qui permettent de prolonger la vie utile et de réduire les fuites externes. Le troisième SB concerne le remplacement d'une douille sur le levier de remorquage visant à empêcher les coincements causés par la corrosion extérieure du mécanisme de levier de remorquage. La soupape du B737 NG, également fabriquée par PHC, est très semblable à celle utilisée sur les modèles 777, 767 et 757 de Boeing ainsi que sur certains modèles de 747; cependant, la conception du collecteur est différente. Dans l'ensemble, Boeing et PHC déclarent que la soupape en question et les unités de conception semblable des autres modèles Boeing ont été considérées comme très fiables, ayant connu très peu de problèmes en service.

### *1.17.6 Méthodologie d'évaluation des risques*

#### *1.17.6.1 Programmes de sécurité*

Il existe de nombreux programmes de sécurité dans tous les secteurs de l'industrie de l'aviation et ceux-ci sont utilisés par les exploitants pour veiller à l'efficacité et à la sécurité des opérations aériennes. Ces programmes de sécurité sont habituellement couplés et coordonnés avec le programme d'assurance de la qualité des opérations de vol (FOQA), qui est un programme de sécurité destiné à améliorer la sécurité aérienne par l'utilisation proactive de données recueillies en vol. Les données de vol numériques générées pendant l'exploitation de l'aéronef sont régulièrement recueillies et analysées dans le but de déterminer et de corriger les anomalies dans tous les domaines des opérations aériennes. Les données de FOQA peuvent aider à réduire ou à éliminer les risques pour la sécurité, ainsi qu'à minimiser les écarts par rapport aux règlements. Les données de FOQA combinées et anonymes permettent à la FAA de déceler et d'analyser les tendances nationales et les ressources cibles en vue de réduire les risques opérationnels dans les opérations aériennes qui représentent un intérêt particulier.

De nombreuses sociétés aériennes ont un programme de FOQA en place (notamment American Airlines, en plus de leurs autres programmes de sécurité<sup>56</sup>), mais elles ne tiennent présentement pas compte des événements liés à la direction. Pour être en mesure de recueillir les événements comme les problèmes de direction du train avant, il faudrait ajouter des filtres particuliers (contrôleurs d'accès) aux paramètres logiciels afin que ces événements puissent être signalés. Le signalement d'événements liés à la direction serait boiteux en raison de l'absence de capteurs sur le circuit d'orientation du train avant et parce que de nombreux événements liés à la direction causés par une multitude d'autres variables seraient plutôt recueillis. Il faudrait procéder à une analyse plus poussée après tout signalement pour vérifier si l'événement constituait effectivement un blocage du taux de braquage, puisque cela demande un diagnostic par exclusion.

Les données concernant un événement mettant en cause un aéronef Boeing sont fournies à la FAA par Boeing, par l'intermédiaire de son programme de maintien de la sécurité

---

<sup>56</sup> American Airlines utilise le programme *Aviation Safety Action Program* (ASAP), le Programme avancé de qualification (PAQ), le programme d'évaluation interne des transporteurs aériens (IEP), les audits de sécurité en service de ligne (LOSA) et le FOQA.

opérationnelle (MSO). Une fois que Boeing a soumis un rapport du programme de MSO, son processus d'examen interne de la sécurité est lancé. Ce programme comporte un grand nombre d'étapes d'examen de la sécurité effectuées par différents services. La FAA peut décider de participer ou non à ce processus d'examen à tout moment au cours des différentes étapes effectuées par Boeing. Consulter l'annexe F pour voir le tableau utilisé par la FAA en vue de s'assurer que la préoccupation liée à la sécurité satisfait aux exigences de certification. Si elle ne satisfait pas aux exigences, les mesures correctives appropriées deviennent alors nécessaires. Boeing a examiné chacun des 11 événements connus de blocage du taux de braquage du train avant. Le processus d'examen a révélé une fréquence connue de moins de  $1 \times 10^{-7}$  et un degré de gravité « majeure ». Par conséquent, conformément au tableau figurant à l'annexe F, aucune autre mesure n'a été jugée nécessaire.

#### 1.17.6.2 Évaluation des risques

Les normes de navigabilité de la Partie 25 des FAR reposent sur les objectifs et les principes ou techniques de la conception à sûreté intégrée, laquelle tient compte des effets des défaillances<sup>57</sup> et des combinaisons de défaillances dans la définition d'une conception sécuritaire, et les incorpore. Selon la circulaire d'information AC 25.1309.1A de la FAA, l'un des objectifs de conception de base s'appliquant aux défaillances s'énonce comme suit [traduction] :

Dans tout système ou sous-système, il faut reconnaître la possibilité de la défaillance de chacun des éléments, composants ou raccords durant quelque vol que ce soit (du relâchement des freins à la décélération au sol jusqu'à l'arrêt complet), indépendamment de sa probabilité. De telles défaillances quelconques ne doivent pas empêcher la poursuite en toute sécurité du vol ou de l'atterrissage, ou réduire de façon importante la capacité de l'appareil ou de l'équipage de composer avec les conditions de défaillance qui en résultent.

Pour évaluer si un événement constitue un problème de sécurité ou non, la FAA utilise le processus *Monitor Safety/Analyze Data* (MSDA) (surveiller la sécurité et analyser les données), qui est conçu pour filtrer, examiner et analyser les données relatives à la sécurité aérienne et en dégager les tendances. Le processus MSDA aide à détecter les problèmes de sécurité des flottes en service et à déterminer les mesures correctives destinées à atténuer les risques pour la sécurité dans l'ensemble de la flotte. Le processus désigne aussi d'autres causes de problèmes de sécurité qui ne permettent pas de régler des mesures correctives sur l'ensemble de la flotte (produit ou pièce)<sup>58</sup>. Le processus MSDA peut être enclenché par des données reçues parce qu'un événement était à signaler par définition ou par des données fournies par un fabricant, un fournisseur de services de maintenance ou un exploitant.

Le document du processus MSDA explique que le processus porte sur tout, de la réception des données à la détermination des mesures correctives au niveau de la flotte. L'émission de la mesure corrective ne fait pas partie du processus MSDA; elle fait partie de la consigne de navigabilité (CN), du bulletin spécial d'information sur la navigabilité (SAIB) ou d'autres processus de mesures ou de recommandations de la FAA. Certains titulaires de certificat (p. ex., le fabricant) ont leurs propres processus pour filtrer, examiner et analyser les données relatives

<sup>57</sup> Une défaillance est la perte de fonction ou la défektivité d'un système ou d'une partie de celui-ci.

<sup>58</sup> FAA, Order 8110.107A, *Monitor Safety/Analyze Data*.

à la sécurité aérienne de leurs produits et en dégager les tendances (p. ex., un programme de MSO).

Une évaluation des risques<sup>59</sup> utilise la classification des conditions de défaillance<sup>60</sup> selon leur gravité : mineure, majeure, dangereuse et catastrophique. Les termes « probable », « faible », « extrêmement faible » et « extrêmement improbable » sont utilisés pour définir la probabilité d'une condition de défaillance. Chaque condition de défaillance doit avoir une probabilité inversement proportionnelle à sa gravité. Une condition de défaillance mineure peut être probable. Une condition de défaillance majeure doit être improbable. Une condition de défaillance catastrophique doit être extrêmement improbable<sup>61</sup>.

Il y a 2 types fondamentaux d'analyses des risques : l'analyse quantitative et l'analyse qualitative. Chacune de ces méthodes comporte des avantages et des inconvénients. Les résultats d'une analyse qualitative visent à étayer le jugement technique et opérationnel basé sur l'expérience (p. ex., pour déterminer la conformité avec les exigences de conception et d'analyse des systèmes)<sup>62</sup>. Le BST a recours aux analyses qualitatives lorsqu'il effectue une évaluation des risques.

Après la certification et la navigabilité de la flotte en service, la FAA, c.-à-d. l'organisme de réglementation, et Boeing, par exemple, ont recours aux analyses quantitatives et qualitatives pour évaluer le niveau de risque d'un problème ou d'un événement lié à la sécurité. Les analyses quantitatives expriment habituellement des plages de probabilités numériques pour chaque heure de vol, fondées sur un vol de durée moyenne en fonction du type d'aéronef. Cependant, dans le cas d'une fonction de circuit qui n'est utilisée que pendant des opérations de vol précises (p. ex., le décollage, l'atterrissage, etc.), la probabilité acceptable serait fondée sur la durée de cette phase particulière du vol, et exprimée en termes connexes<sup>63</sup>.

Lorsqu'on a recours aux définitions de la FAA ou de Boeing dans l'évaluation des événements de blocage du taux de braquage, compte tenu de la fréquence de ces événements, le degré de gravité est désigné majeur<sup>64</sup> et extrêmement faible sur l'échelle de probabilité pour une fréquence de  $1 \times 10^{-7}$  (Tableau 3 et Tableau 4).

---

<sup>59</sup> Le terme « évaluation des risques » désigne l'ensemble du processus d'évaluation d'un risque.

<sup>60</sup> Le terme « condition de défaillance » fait référence aux effets tant directs qu'indirects sur l'aéronef et ses occupants, causés directement ou indirectement par 1 ou plusieurs défaillances, compte tenu de conditions météorologiques ou de conditions d'exploitation défavorables pertinentes.

<sup>61</sup> Les définitions des termes utilisés pour définir la gravité et la probabilité font l'objet de la circulaire d'information AC 25.1309.1A de la FAA.

<sup>62</sup> Tableau d'évaluation des risques, *FAA System Safety Handbook*, chapitre 3.

<sup>63</sup> « System Design and Analysis », FAA Advisory Circular AC 25.1309-1A, p. 15.

<sup>64</sup> Même si les événements antérieurs semblables n'ont pas causé de dommages importants aux aéronefs ou de blessures aux occupants, Boeing considère que le niveau de gravité de cet événement est majeur, et non pas dangereux.

**Tableau 3.** Définitions des évaluations de la gravité de la FAA<sup>65</sup>

<b>Catastrophique</b>	Entraîne de nombreux décès ou la perte du système.
<b>Dangereux</b>	Réduit la capacité du système ou celle de l'exploitant à composer avec des conditions défavorables dans la mesure où il y aurait : une forte réduction des marges de sécurité ou des capacités fonctionnelles; une détresse physique ou une charge de travail excessive de l'équipage telle qu'on ne pourra pas compter sur les exploitants pour accomplir les tâches qui leur incombent de façon exacte et complète; (1) des blessures graves ou mortelles d'un petit nombre d'occupants de l'aéronef (sauf les exploitants); des blessures mortelles du personnel au sol ou du grand public.
<b>Majeur</b>	Réduit la capacité du système ou celle de l'exploitant à composer avec des conditions d'exploitation défavorables dans la mesure où il y aurait : une réduction significative des marges de sécurité ou des capacités fonctionnelles; une augmentation importante de la charge de travail des exploitants; des conditions compromettant l'efficacité des exploitants ou créant beaucoup d'inconfort; une détresse physique des occupants de l'aéronef (sauf l'exploitant), incluant des blessures; de graves maladies professionnelles, des dommages écologiques importants ou des dommages matériels majeurs.
<b>Mineur</b>	Ne réduit pas la sécurité du système de façon significative. Les mesures requises de la part des exploitants sont tout à fait dans leurs capacités. Elles comprennent notamment : une légère réduction des marges de sécurité ou des capacités fonctionnelles; une légère augmentation de la charge de travail, p. ex. en raison de modifications apportées au plan de vol habituel; un certain inconfort physique des occupants de l'aéronef (sauf les exploitants); des maladies professionnelles mineures, des dommages écologiques mineurs ou des dommages matériels mineurs.
<b>Aucun effet sur la sécurité</b>	N'a aucun effet sur la sécurité.

<sup>65</sup> FAA System Safety Handbook, Chapter 3: Principles of System Safety (December 30, 2000). Sur Internet : [http://www.faa.gov/regulations\\_policies/handbooks\\_manuals/aviation/risk\\_management/ss\\_handbook/media/Chap3\\_1200.pdf](http://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/risk_management/ss_handbook/media/Chap3_1200.pdf) (consulté le 18 octobre 2013).

**Tableau 4.** Définitions de la FAA pour l'évaluation des probabilités<sup>66</sup>

<b>Probable</b>	Qualitative : Susceptible de se produire au moins 1 fois au cours de la vie utile des systèmes. Quantitative : La probabilité d'occurrence par heure d'exploitation est supérieure à $1 \times 10^{-5}$ .
<b>Faible</b>	Qualitative : Peu susceptible de se produire au cours de la vie entière de chaque unité; pourrait se produire plusieurs fois au cours de la vie de l'ensemble d'un système ou d'une flotte. Quantitative : La probabilité d'occurrence par heure d'exploitation est inférieure à $1 \times 10^{-5}$ , mais supérieure à $1 \times 10^{-7}$ .
<b>Extrêmement faible</b>	Qualitative : Ne devrait pas se produire au cours de la vie entière de chaque unité; pourrait se produire quelques fois au cours de la vie de l'ensemble d'un système ou d'une flotte. Quantitative : La probabilité d'occurrence par heure d'exploitation est inférieure à $1 \times 10^{-7}$ , mais supérieure à $1 \times 10^{-9}$ .
<b>Extrêmement improbable</b>	Qualitative : Si peu probable que cela ne devrait pas se produire au cours de la vie utile de l'ensemble d'un système ou d'une flotte. Quantitative : La probabilité d'occurrence par heure d'exploitation est inférieure à $1 \times 10^{-9}$ .

Le niveau de risque quantitatif d'un événement dont la probabilité est considérée comme étant extrêmement faible et dont le degré de gravité est majeur satisfait toujours aux exigences suivantes de certification et de flotte en service établies par les FAR (annexe F)<sup>67</sup>. Ce niveau de risque serait alors « Acceptable » selon les définitions de la FAA<sup>68</sup>. Rien n'indique que la FAA a effectué une évaluation des risques de blocage du taux de braquage du train avant, et il ne semble pas non plus que ces événements fassent l'objet d'un suivi dans le HTS de la FAA.

#### 1.17.7 Analyse des mesures de protection

L'ensemble des mesures<sup>69</sup> mises en place pour protéger les personnes, les biens et l'environnement constitue un élément majeur de tout système de transport. Ces mesures de

<sup>66</sup> FAA System Safety Handbook, Chapter 3: Principles of System Safety (December 30, 2000). Sur Internet : [http://www.faa.gov/regulations\\_policies/handbooks\\_manuals/aviation/risk\\_management/ss\\_handbook/media/Chap3\\_1200.pdf](http://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/risk_management/ss_handbook/media/Chap3_1200.pdf) (consulté le 18 octobre 2013).

<sup>67</sup> Boeing a certifié la conformité de ses avions aux exigences à la fois des *Federal Aviation Regulations* (FAR) des États-Unis et des *Joint Aviation Requirements* (JAR) de l'aviation de certains pays européens.

<sup>68</sup> Order 8040.4A, Appendix C de la FAA. Acceptable = Un risque pour la sécurité sans restriction ou limite; rien n'oblige d'assurer une gestion active des dangers, mais ces dangers doivent être consignés.

<sup>69</sup> Les mesures de protection peuvent être divisées en 2 catégories : matérielles et administratives; elles peuvent viser à limiter la probabilité d'un accident et les préjudices que pourrait causer un accident.



protection peuvent servir à réduire la probabilité d'événements non souhaités ainsi que les conséquences négatives liées à de tels événements.

L'analyse des mesures de protection permet de mieux comprendre les enjeux liés à la sécurité et les problèmes de sécurité propres à un événement. Plus particulièrement, cette analyse est utilisée conjointement avec le processus d'évaluation des risques pour valider les manquements à la sécurité. L'analyse des mesures de protection vise à examiner la situation en vue de déterminer l'absence ou l'état des mesures de protection.

Les mesures de protection inadéquates sont celles qui, selon le cas :

- sont prises en compte, mais ne sont ni annoncées ni communiquées aux utilisateurs;
- sont absentes ou non fournies;
- sont en place, mais ne sont pas pratiquées;
- ne fonctionnent pas comme prévu.

Puisqu'on ne peut pas déterminer de manière concluante la cause des événements de blocage du taux de braquage du train avant et qu'on ne peut donc pas appliquer de mesures de protection à la source, il conviendrait d'examiner les mesures de protection applicables au-delà de la source. Boeing affirme que sa mesure de protection contre ces événements est la rigueur du processus d'examen de la sécurité de la flotte en service mis en œuvre chaque fois qu'un programme de MSO et un processus d'examen sont déclenchés pour un événement connu de blocage du taux de braquage. Outre ce processus de surveillance mené par Boeing, la présente enquête n'a révélé aucune autre mesure de protection ou stratégie d'atténuation visant à réduire les conséquences défavorables d'une sortie de piste possible causée par un événement de blocage du taux de braquage du train avant.

#### *1.17.8 Recherche dans d'autres bases de données*

Le BST a cherché les événements semblables dans différentes bases de données sur l'aviation, notamment celles du BST du Canada (l'ensemble de la base de données couvre une période de 20 ans), de la Air Accident Investigation Branch du Royaume-Uni et du Australian Transportation Safety Board (couvrant une période de 10 ans), du National Transportation Safety Board des États-Unis (base de données entière) et du Centre européen de coordination des systèmes de notification des incidents d'aviation remontant à 1970, de même que la base de données confidentielle du système d'information sur la sécurité aérienne de la National Aeronautics and Space Administration (NASA) (qui remonte à 20 ans). Ayant parcouru les résumés des événements recherchés et éliminé ceux qui n'étaient pas liés à des virages intempestifs du train avant, on n'a trouvé qu'un nombre négligeable d'événements. Les détails des événements conservés et des circuits d'aéronef dont on avait recherché la cause de la panne n'étaient pas suffisants. Il n'y avait pas suffisamment d'information pour confirmer s'il s'agissait d'événements probablement causés par un blocage du taux de braquage du train avant. La seule ressemblance au présent événement est la présence d'un virage intempestif dont l'équipage ou l'inspection d'entretien subséquente (annexe G) n'ont pu établir avec certitude quel en avait été l'événement déclencheur.

Les renseignements recueillis ou enregistrés à ce moment n'étaient pas suffisants pour tirer des conclusions sur ces événements puisqu'ils n'ont pas fait l'objet d'une enquête complète, et que dans la plupart des cas, la recherche de la cause effectuée après l'événement, si elle a eu lieu, n'a pas été enregistrée. Il ressort des renseignements consignés dans la base de données

confidentielle de la NASA que les événements étaient suffisamment troublants pour que les personnes en cause aient pris la peine d'exprimer leurs préoccupations.

Étant donné la nature de ces événements de blocage du taux de braquage du train avant, il est probablement difficile pour un équipage de conduite de reconnaître, dans le cas d'un blocage de relativement courte durée, si le changement de cap a été causé par des rafales, un vent de travers ou l'état de la piste, ou encore par les compétences et la technique du pilote. Les événements de nature graduelle et temporaire qui n'aboutissent pas à une sortie de piste ou de voie de circulation ne sont probablement pas signalés. Parce que la gouverne de direction conserve son efficacité à des vitesses supérieures à 60 nœuds et que les écarts de cap peuvent habituellement être corrigés si on y répond de façon immédiate et précise, les événements peuvent passer inaperçus et, par conséquent, ne pas être signalés, consignés ou analysés. Aucun des événements vraisemblablement connus analysés par le fabricant à ce jour n'a causé des dommages majeurs à un aéronef ou de blessures aux occupants; cependant, les environs des pistes ne sont pas tous hospitaliers, et la possibilité de dommages plus importants et de blessures demeure vraisemblable, compte tenu de la possibilité d'une sortie de piste et d'une collision subséquente avec un autre aéronef, un véhicule ou un objet.

Plus récemment, en 2011 et en 2012, il s'est produit 2 autres événements probables de blocage du taux de braquage du train avant mettant en cause des B737. Dans les 2 cas, l'aéronef a quitté la surface revêtue de la piste dans une certaine mesure. Dans 1 des 2 cas, Boeing a participé à l'analyse des données du QAR et dans l'autre, des données du FDR. On a constaté que les 2 cas étaient de nature semblable au présent événement. Dans le cas de l'événement de 2011, l'aéronef a quitté la piste par une voie de sortie rapide. Il a continué de tourner et a quitté le bord de la voie de sortie à une vitesse d'environ 50 nœuds; le train avant et les pneus ont subi des dommages mineurs. La soupape de réglage de la direction du train avant n'a pas été démontée. Dans le cas de l'événement de 2012, l'aéronef a quitté la surface de la piste à l'atterrissage. La soupape de direction du train avant, fabriquée par Sargent Aerospace & Defense, a été envoyée aux fins de démontage, et aucune défaillance n'a été trouvée. L'aéronef et l'environnement n'ont subi aucun dommage. Ni l'un ni l'autre de ces événements n'a causé de blessures aux occupants.

#### *1.17.9 Efforts pour réduire les sorties de piste et le besoin de recueillir des données*

En 2005, NAV CANADA a proposé aux autres intervenants canadiens du milieu de l'aviation de créer un forum interdisciplinaire national pour échanger des renseignements sur la sécurité des pistes. Le Conseil de sécurité et de prévention des incursions sur piste (CSPIS) a vu le jour le 1<sup>er</sup> janvier 2006. Il a pour mandat de permettre l'échange de renseignements en matière de sécurité à l'échelle nationale, dans le but de promouvoir la sécurité des pistes et de réduire les risques pour la sécurité. Même si à l'origine l'accent était principalement lié aux incursions sur pistes, on s'efforce maintenant de recueillir des statistiques sur les sorties de piste. En 2010, NAV CANADA a inauguré un domaine dans son site Web d'entreprise au nom du CSPIS qui porte sur la sécurité des pistes au Canada et comprend du matériel promotionnel destiné au milieu de l'aviation. En 2010 et 2011, le CSPIS a lancé une campagne de sensibilisation sur les sorties de piste, incluant la création d'une base de données sur les sorties de piste, un programme de sensibilisation pour les intervenants du milieu de l'aviation et la mise en commun de pratiques exemplaires pour aider à réduire le risque de sorties de piste. Il a été nécessaire de déterminer les facteurs de risques connexes et les options de contrôle du risque pour classer les événements, reconnaître les tendances et repérer avec précision les dangers. Au

moment de la rédaction du présent rapport, la base de données de sorties de piste du CSPIS n'avait pas encore été créée.

Les statistiques de NAV CANADA indiquent que pour la période d'avril 2010 à mars 2012, il y a eu au Canada 147 sorties de piste à l'atterrissage et 21 au décollage<sup>70</sup>. Des 147 sorties de piste à l'atterrissage, 111 étaient attribuables à des difficultés de maîtrise de la direction de la part des pilotes. Les 21 sorties de piste au décollage étaient toutes attribuables à des difficultés de maîtrise de direction de la part des pilotes<sup>71</sup>.

Aux États-Unis, en raison d'accidents et des conclusions connexes du NTSB, la FAA a annoncé un plan d'appel à l'action en juin 2009 visant à accroître la participation des transporteurs aériens dans des programmes de sécurité volontaires et à promouvoir l'utilisation de systèmes de gestion de la sécurité (SMS), système faisant état des risques, appuyé par des données. Plus tard, en avril 2012, le bureau de reddition de comptes du gouvernement des États-Unis (GAO) a recommandé que la FAA élabore et mette en œuvre de meilleures façons de recueillir des données sur les sorties de piste et qu'elle utilise ces données de façon proactive pour prévenir les accidents et gérer les risques.

Le BST recueille des données sur les accidents et les événements. Au moyen de recommandations en matière de sécurité et d'avis de sécurité, il s'efforce d'accroître la sécurité du public et de réduire le risque de récurrence. La liste de surveillance du BST comprend les accidents à l'atterrissage et les dépassements de piste. Cependant, les renseignements sur les facteurs de risque qui contribuent aux sorties de piste latérales ne sont pas nécessairement recueillis d'une manière qui permet d'effectuer des analyses systématiques; par conséquent, il manque dans la base de données du BST des renseignements sur les facteurs de risque liés aux embardées. Le BST cherche actuellement déterminer les facteurs de risque de sortie de piste les plus appropriés à enregistrer dans sa base de données.

De même, afin de diminuer le nombre de sorties de piste, TC a élaboré des règlements concernant la planification et la maintenance en hiver, le suivi régulier et la diffusion de renseignements exacts sur les aérodromes aux équipages d'aéronef, la formation et l'évaluation des conducteurs de véhicule de servitude, et a déployé des efforts pour veiller à ce que les équipages d'aéronef obtiennent des renseignements exacts et à jour sur l'état de la surface des pistes afin qu'ils puissent mieux comprendre la situation et planifier l'atterrissage ou se dérouter vers un autre aéroport. Les données pertinentes relatives aux sorties de piste sont recueillies dans la base de données de TC; cependant, il n'y a pas d'étude de sécurité sur les sorties de piste actuellement en cours à TC qui pourrait aider à déterminer les facteurs de risque connexes.

En novembre 2012, la FAA, les sociétés aériennes et les syndicats du secteur de l'aviation ont annoncé la création d'un partenariat avec le NTSB pour mettre en commun des renseignements sommaires sur la sécurité qui pourraient aider à prévenir les accidents. Les renseignements, mis en commun par l'intermédiaire d'une initiative appelée le conseil d'administration de l'*Aviation*

---

<sup>70</sup> Ces statistiques comprennent tous les types d'aéronef. On ne précise pas la nature des difficultés de maîtrise de la direction par les pilotes.

<sup>71</sup> NAV CANADA, *Rapport trimestriel sur la sécurité des pistes*, mars 2012. Les données comprennent tous les types d'aéronef. On ne précise pas combien de ces sorties étaient des sorties de piste latérales ou des dépassements en bout de piste.

*Safety Information Analysis and Sharing* (ASIAS), vont aider le NTSB à déterminer si un accident est un événement unique ou une indication de risques systémiques. Dans le cadre de l'ASIAS, les sociétés aériennes et les syndicats mettent déjà en commun des renseignements sur la sécurité de façon volontaire avec la FAA en vue de reconnaître des tendances. De plus, en novembre 2012, l'OACI et la Fondation pour la sécurité aérienne (FSF) ont conclu une nouvelle entente officialisant leur collaboration en matière de partage des données sur la sécurité aérienne et d'efforts d'atténuation des risques. En janvier 2013, Eurocontrol a publié son plan sur la sécurité de l'aviation en Europe pour prévenir les sorties de piste<sup>72</sup>.

La collecte de données sur les facteurs de risque des sorties de piste et le partage de données en général sont nécessaires pour aider à déterminer les manquements à la sécurité qui contribuent à ces événements, qu'il s'agisse d'une sortie de piste latérale ou longitudinale.

### *1.18 Techniques d'enquête utiles ou efficaces*

Sans objet.

---

<sup>72</sup>

L'un des nombreux éléments soulignés parmi les efforts pour prévenir les sorties de piste par tous les moyens pratiques est la formation (du personnel d'exploitation) aux situations inhabituelles qui peuvent entraîner des sorties de piste.

## 2.0 Analyse

### 2.1 Généralités

L'équipage a effectué une approche stable et un atterrissage normal de nuit sous une pluie légère. La piste a été déclarée nue et mouillée. Le freinage était considéré comme bon. Tous les circuits de l'aéronef fonctionnaient normalement à l'approche et à l'atterrissage, ainsi que pendant la décélération initiale et le roulement à l'atterrissage. Un examen détaillé des données de l'enregistreur de données de vol (FDR) a révélé que l'équipage n'avait pas sollicité le virage à gauche de l'axe de piste, qui s'est produit 16 secondes après l'atterrissage. L'analyse portera principalement sur la réaction du pilote, le besoin de sensibiliser l'industrie aux événements de blocage du taux de braquage du train avant et le besoin d'améliorer la collecte de données.

### 2.2 Renseignements des enregistreurs, données et simulations techniques

En déclenchant le disjoncteur de l'enregistreur de conversations de poste de pilotage (CVR), l'équipage a protégé les données enregistrées par celui-ci. Cette mesure est souvent omise. Il est important que les exploitants ajoutent cette mesure à la liste de vérifications à effectuer après un événement parce que les renseignements enregistrés constituent un élément important de l'enquête. Il est fort probable que les 30 minutes de données enregistrées par le CVR auraient été écrasées, comparativement à celles des nouveaux CVR d'une capacité de 2 heures, si le disjoncteur n'avait pas été déclenché au moment opportun. Dans le cas de l'aéronef en cause, le CVR enregistre tant qu'il reçoit l'alimentation électrique de l'aéronef. Les données du FDR risquent beaucoup moins d'être écrasées parce que sa logique d'arrêt fait en sorte qu'il cesse d'enregistrer à la désactivation de certains circuits.

Les simulations de Boeing, effectuées avec les données disponibles de l'événement enregistrées sur le FDR, ont aidé à éliminer plusieurs scénarios qui auraient pu occasionner le virage intempestif. Le scénario qui correspond le mieux aux données du FDR à l'égard de cet événement était celui d'un blocage à basse vitesse de rotation du taux de braquage de la soupape de réglage de la direction du train avant. Les renseignements du FDR et le comportement de l'aéronef indiquent que ces blocages semblent être de nature temporaire, et que la direction redevient normale une fois que le blocage disparaît.

Ces événements montrent clairement la nécessité que le FDR enregistre les données du circuit d'orientation du train avant ou qu'un autre appareil enregistre des renseignements sur le train avant et le circuit d'orientation, pour permettre d'accroître les occasions de détecter les manquements à la sécurité. L'angle de braquage du train avant, s'il avait été enregistré, aurait permis de déterminer si le circuit du train avant avait fait défaut. Une preuve concluante d'un blocage du taux de braquage aurait vraisemblablement entraîné d'autres essais du circuit pour en établir la cause.

Les simulations de Boeing réalisées à partir d'un ordinateur de bureau indiquent que l'équipage aurait été capable de garder l'aéronef sur la piste s'il avait appuyé suffisamment sur les pédales du palonnier (dans un délai de 3 secondes) après le début de l'écart de cap. Elles indiquent aussi que si la pédale droite du palonnier avait été enfoncée une fois le blocage disparu, l'aéronef aurait pu rester sur la surface revêtue de la piste. Les simulations effectuées ne comprenaient pas l'utilisation du freinage différentiel ou de l'inversion de poussée différentielle, qui auraient aussi pu aider à assurer la maîtrise directionnelle de l'aéronef. Boeing déclare que dans la

plupart des événements de blocage du taux de braquage, selon la vitesse sol de l'aéronef au moment auquel se produit le blocage, la gouverne de direction est suffisante pour conserver la maîtrise directionnelle de l'aéronef. Il aurait aussi été possible de recourir au freinage manuel et à l'inversion de poussée pour conserver la maîtrise de l'aéronef.

### 2.3 Réaction du pilote

Après une approche stable, un toucher des roues normal et la course initiale à l'atterrissage, le pilote aux commandes (PF) a suivi l'axe de piste en sollicitant peu le volant et les pédales du palonnier pour compenser le vent de travers soufflant de la gauche, et l'aéronef a répondu normalement à ces commandes. Lorsque l'aéronef s'est mis à dériver vers la gauche de l'axe de piste, le PF a tourné le volant par vent de côté (sous le vent) (c.-à-d. vers la droite), et a enfoncé légèrement la pédale droite du palonnier pour contrer l'effet de girouette du vent de travers. La réaction du PF de tourner le volant vers la droite avait des éléments d'automatisme liés à une séquence stimulus-réponse apprise. Le système cognitif humain a une immense capacité de garder en mémoire des schémas de réponses et de les réappliquer chaque fois que leurs conditions d'appel se présentent<sup>73</sup>. L'intrusion d'habitudes bien ancrées est définie comme l'activation non intentionnelle d'un schéma tenace<sup>74</sup>. La réaction initiale du PF de tourner le volant vers la droite était vraisemblablement due à l'intrusion d'une habitude bien ancrée, comme celle qu'on verrait en guise de réponse à la commande de direction dans une automobile. Ce type de réaction se produirait inconsciemment. La réponse initiale de tourner le volant a retardé la réponse plus appropriée de corriger l'écart de cap à l'aide des pédales du palonnier. Il est également possible que le PF ait inconsciemment tourné le volant par vent de côté, alors que l'aéronef dérivait dans le vent, hors de l'axe de la piste. Même si l'équipage était qualifié, formé et très expérimenté, il se peut fort bien que l'évaluation et le manque de compréhension de la situation, dus à l'absence d'indications reconnaissables et, à certains moments, à la présence d'indications contradictoires, ont retardé la prise de décision et le temps de réaction au virage intempestif.

Le PF n'a probablement pas appuyé à fond sur la pédale droite du palonnier pour contrer l'écart de cap graduel initial, puisqu'il est rarement nécessaire d'appliquer une telle pression pendant le roulement à l'atterrissage à haute vitesse et que lors de situations antérieures, il n'a pas été nécessaire d'appuyer à fond sur les pédales du palonnier pour maintenir le cap de l'aéronef à l'atterrissage. Normalement, une légère pression sur les pédales du palonnier aurait suffi pour corriger un léger écart de cap, puisqu'il était graduel et à un taux d'environ  $\frac{1}{2}^\circ$  par seconde. Cependant, en raison du braquage à gauche non sollicité causé par le blocage du taux de braquage du train avant, la pression initialement exercée sur la pédale droite du palonnier par le PF n'était pas suffisante pour compenser le déplacement vers la gauche et ramener l'aéronef dans l'axe de la piste. Plus tard<sup>75</sup>, on a augmenté la pression exercée sur la pédale droite du palonnier. Le cap de l'aéronef a commencé à revenir vers la droite; cependant, l'aéronef a continué de se déplacer vers le bord de la piste. La pédale droite du palonnier a ensuite été relâchée jusqu'à ce que la pression revienne à la position neutre, dans le but de réduire les charges latérales sur l'aéronef au moment où ce dernier quittait la piste.

---

<sup>73</sup> J. Reason, *Human Error*, Cambridge University Press, 1990, pp. 51-52.

<sup>74</sup> *Ibid*, pp. 68-70.

<sup>75</sup> Il était 19 h 53 min 17 s et la vitesse anémométrique calculée était de 72 nœuds.

Cette anomalie, c.-à-d. le blocage d'orientation du train avant, n'est liée à aucun voyant d'avertissement ou indication sonore. L'absence d'avertissement de la défaillance d'un circuit retarde le temps de réaction de l'équipage, qui risque de ne pas reconnaître au moment opportun les symptômes ou le problème comme un danger immédiat, puisque les légers écarts de cap à l'atterrissage ou au décollage peuvent être assez courants et qu'ils sont habituellement facilement corrigés par une légère pression sur les pédales du palonnier. Le PF n'a pas eu recours au freinage manuel ou au freinage différentiel, ayant eu l'impression que la piste était glacée et que l'aéronef dérapait. Le freinage automatique de l'aéronef avait été sélectionné avant l'atterrissage et était demeuré activé; la décélération était normale jusqu'à ce que l'avion quitte la surface de la piste. Ni l'un ni l'autre des membres de l'équipage ne s'est rendu compte qu'un blocage du taux de braquage du train avant avait pu se produire, ni n'était au courant qu'un tel événement pouvait survenir.

Outre le fait que l'équipage ne s'était pas rendu compte qu'un virage intempestif pouvait se produire en raison d'un blocage du taux de braquage du train avant, il n'y avait aucun avertisseur, voyant, alerte, bruit ou vibration pour indiquer à l'équipage qu'il y avait un problème de direction. La seule indication était que l'aéronef dérivait lentement vers la gauche. Plusieurs facteurs peuvent avoir contribué à la confusion du PF et retardé sa réponse, notamment :

- l'atterrissage a été effectué avec un vent de travers soufflant de la gauche à 16 nœuds, mais conforme aux limites;
- l'aéronef dérapait vers le côté gauche de la piste dans le vent;
- la piste était mouillée, mais pas inondée;
- l'aéronef semblait se comporter comme s'il glissait latéralement sur de la glace;
- la température extérieure ambiante était au-dessus du point de congélation, ce qui devrait normalement empêcher la formation de glace sur la piste; il n'avait pas été nécessaire de se préparer pour un atterrissage sur une piste glissante;
- lorsqu'une pression normale a été exercée sur la pédale droite du palonnier, l'aéronef n'a pas répondu immédiatement; il a fallu appuyer plus fort qu'à l'habitude sur le palonnier;
- les indications visuelles auraient été moins évidentes en raison de l'obscurité et de la pluie légère sur le pare-brise;
- il n'y a pas eu de vibrations, de bruit ou autres indications d'une anomalie d'orientation.

La vitesse à laquelle ces virages intempestifs peuvent se produire, le taux de blocage en vigueur (p. ex.,  $\frac{1}{2}^\circ$  par seconde,  $1^\circ$  par seconde,  $2^\circ$  par seconde,  $5^\circ$  par seconde), la largeur de piste disponible de chaque côté de l'axe (le cas échéant, 100 pieds de chaque côté) et la durée du blocage laissent tous peu de temps à l'équipage pour évaluer, reconnaître et agir avant que l'aéronef se trouve en danger de quitter la piste. Dans le cas présent, une anomalie d'orientation n'est pas venue à l'esprit du PF : ce dernier avait plutôt l'impression que l'aéronef était sur une piste glacée et qu'il dérapait lorsqu'il n'a pas répondu à une application normale de la pédale droite du palonnier. Cette sensation corporelle de dérapage sur la glace ne pousserait pas le PF à réagir de la même façon que pour un autre type d'anomalie d'orientation, de pneu à plat ou de poussée asymétrique. De plus, il n'y a pas eu de bruit ou de vibration qui auraient pu accompagner d'autres scénarios de formation portant sur la difficulté de maîtriser la direction, comme un pneu à plat ou un blocage de la position du train avant. Jusqu'au moment où le virage intempestif a débuté, l'aéronef suivait une trajectoire normale, décélérait normalement et répondait normalement aux légères commandes. Rien n'indiquait qu'un circuit était défectueux.

Le pilote surveillant (PM) n'a pas pris les commandes du PF pendant l'écart par rapport à l'axe de piste puisque celui-ci était actif aux commandes. Compte tenu des circonstances, on ne se serait pas attendu à ce que le PM intervienne aux commandes.

## *2.4 Événements de blocage du taux de braquage du train avant et examen de la soupape*

Comme dans les démontages antérieurs de soupapes à la suite de virages intempestifs, le démontage de la soupape de réglage de la direction du train avant de l'aéronef en cause n'a pas révélé d'anomalies ou de problèmes d'ordre opérationnel qui pourraient expliquer son rôle dans le virage intempestif. Le circuit d'orientation du train avant a fait l'objet d'essais et fonctionnait bien après le présent événement, et aucun autre problème de maîtrise en direction n'a été signalé entre le moment de l'événement, en novembre 2010, et le jour en mars 2011 où on a retiré la soupape de réglage de la direction du train avant pour l'examiner. Puisque les soupapes examinées à la suite de ces événements ont fait l'objet d'essais, qu'elles fonctionnaient bien et qu'aucune anomalie n'a été révélée, il n'est pas possible de confirmer que la soupape elle-même soit le facteur déclencheur des virages intempestifs; la cause de ces blocages du taux de braquage demeure difficile à cerner. Le fabricant de la soupape estime qu'il est extrêmement improbable qu'un blocage se produise à l'intérieur de la soupape.

Boeing n'a pas effectué d'autres essais ou recherches pour confirmer la seconde cause possible d'un blocage du taux de braquage, c'est-à-dire la rétroaction interrompue quelque part à l'entrée de la tringlerie externe de la soupape de réglage. Le comportement de l'aéronef indiquerait le même blocage à basse vitesse de rotation du taux de braquage que si le blocage s'était produit à l'intérieur de la soupape. Le puits de roues du train avant, qui comprend le dispositif d'orientation du train avant, est exposé aux éléments extérieurs comme la saleté, le sable, les pierres, la glace, la neige et l'eau. Malgré la présence d'un couvercle de plastique sur le train avant, il est possible que des débris se coincent et nuisent à son fonctionnement normal.

## *2.5 Perception*

Boeing évalue la fréquence en fonction d'événements probables connus, dans lesquels elle a analysé des données du FDR et a effectué des simulations pour établir des comparaisons avec d'autres scénarios possibles. Cependant, le nombre d'événements de blocage du taux de braquage probables analysés n'est peut-être pas représentatif du nombre réel de ces événements; ceux-ci peuvent être associés par erreur à d'autres facteurs externes, comme des rafales soudaines, l'effet des vents de travers, les pistes glissantes ou les compétences et la technique du pilote. En outre, lorsque l'équipage parvient à maintenir l'aéronef sur la piste comme prévu, cela devient un non-événement et il est fort probable que les écarts ne soient pas signalés ou ne fassent pas l'objet de discussions dans le cadre des programmes de sécurité aérienne des entreprises en cause. Dans la plupart des cas, en appuyant suffisamment sur les pédales du palonnier, l'équipage serait en mesure de maintenir l'aéronef sur la surface de la piste. Selon la définition d'un accident ou d'un incident à signaler, ces événements peuvent ne pas être signalés aux autorités compétentes ou au fabricant aux fins d'analyse et de collecte de données sur les facteurs de risque. Boeing n'a pas informé les exploitants de flottes de la possibilité de blocages du taux de braquage du train avant, et rien ne l'y oblige.



Boeing a évalué que ce type d'événement est d'un degré de gravité majeur et présente une probabilité d'occurrence extrêmement faible, et qu'il ne s'agit donc pas d'un problème de sécurité. La fréquence d'occurrence par cycle de  $1 \times 10^{-7}$  respecte les exigences relatives à la certification et à la flotte en service établies par la Federal Aviation Administration (FAA), et par conséquent aucune autre mesure n'a été jugée nécessaire. La présente évaluation du niveau de risque est fondée sur la fréquence connue. Il se peut que des événements de blocage du taux de braquage ne soient pas signalés, puisque le fabricant n'a pas informé l'industrie de la possibilité d'un virage intempestif. Les stratégies d'atténuation des risques pour la sécurité découlent habituellement des données recueillies et, par conséquent, la mise en œuvre de mesures de sécurité ne peut se faire sans données historiques pour orienter les changements. Rien n'indique que la FAA a effectué une évaluation des risques de ce type d'événement, et il ne semble pas non plus que ces événements font l'objet d'un suivi dans le système de suivi des dangers (HTS) de la FAA. Si une évaluation détermine que le niveau de risque est acceptable, aucune mesure corrective ou de suivi n'est nécessaire. L'évaluation des risques effectuée par Boeing révèle que la fréquence à laquelle ces événements peuvent se produire satisfait aux exigences relatives à la flotte en service des *Federal Aviation Regulations* (FAR) et qu'aucune diffusion d'information ou de mesure n'est requise. Outre la surveillance des événements de blocage du taux de braquage par l'entremise du programme de maintien de la sécurité opérationnelle (MSO), aucune autre mesure de protection n'a été mise en place.

Les équipages de conduite reçoivent de la formation qui leur donne une connaissance des circuits de bord ainsi que de l'information sur le fonctionnement de ces circuits et les limites propres à chacun d'eux. L'équipage en cause, l'exploitant et le service de maintenance ignoraient la possibilité de virages intempestifs, de même que la possibilité qu'un blocage du taux de braquage du train avant déclenche ces événements. Par conséquent, l'exploitant n'a pas élaboré de procédures, fourni de directives ou informé ses équipages de conduite de la possibilité que de tels événements se produisent. La diffusion de l'information sur ce type d'événement peut permettre aux équipages de conduite de signaler de tels événements au moment opportun, de façon à ne pas perdre de données enregistrées essentielles.

On croit qu'un débris a causé les blocages du taux de braquage du train avant, qu'il s'agisse d'un blocage à l'intérieur de la soupape ou à l'extérieur du circuit d'orientation du train avant. Ce débris est perdu lorsque le blocage cesse. D'après cette explication, toutes les preuves sont perdues avant même le début de la recherche des causes ou de l'enquête. Le manque de perception par l'équipage de conduite et les équipes de maintenance les empêche de signaler les problèmes de blocage du taux de braquage ou d'en rechercher la cause. Les renseignements du FDR pour confirmer un blocage du taux de braquage seront perdus si l'équipage de conduite ne reconnaît pas un problème de direction. Aucune directive n'a été donnée aux équipes de maintenance quant à la meilleure façon de recueillir des éléments de preuve pour reconnaître un tel événement dans le but d'en trouver la cause et le correctif. En l'absence de renseignements sur les virages intempestifs causés par un blocage du taux de braquage du train avant, il existe un risque que la cause de ces événements demeure non résolue et non atténuée, et entraîne un risque de sortie de piste.

## *2.6 Besoin de recueillir des données*

Les plus récentes statistiques de la Fondation pour la sécurité aérienne (FSF) indiquent qu'environ 29 % du nombre total d'accidents impliquant des aéronefs de transport commercial survenus entre 1995 et 2008 étaient des sorties de piste (sorties latérales et dépassements en bout de piste) et que 83 % des décès liés aux sorties de piste ont eu lieu durant de telles sorties de

piste<sup>76</sup>. On déploie des efforts à l'échelle mondiale pour recueillir et mettre en commun des données importantes sur les facteurs de risque des sorties de piste; cependant, il faut davantage d'efforts au sein de chaque organisation. Même si le blocage du taux de braquage du train avant ne constitue probablement la cause que d'un très petit nombre de ces sorties de piste (latérales à basse vitesse), les renseignements sur ces blocages et la détermination des facteurs de risque présents durant ces événements peuvent aider à déterminer la source du virage intempestif ou les facteurs qui peuvent accroître les risques liés à de tels événements.

Une recherche dans plusieurs bases de données a révélé qu'il y a des cas où il peut s'être produit des virages intempestifs, mais sur lesquels il manque de données et d'analyse pour en confirmer l'élément déclencheur. Le manque de sensibilisation, qui tient du fait que le fabricant n'a pas informé les exploitants de flottes de la possibilité de tels événements, contribue au manque de collecte de données. Par conséquent, le signalement des événements par les exploitants, les équipages de conduite et les services de maintenance est inexistant. Puisque les évaluations des risques et les options d'atténuation des risques pour la sécurité dépendent des données, il serait important d'essayer de recueillir les données du plus grand nombre possible de ces événements.

De nombreuses sociétés aériennes utilisent un programme d'assurance de la qualité des opérations de vol (FOQA), ou un programme semblable, pour aider à saisir certains paramètres de vol dans le but de signaler les événements causant certaines préoccupations. Il serait possible, avec les filtres appropriés en place, de recueillir les événements liés à la direction; cependant, cela pourrait entraîner la collecte d'un grand nombre d'événements liés à la direction qui ne sont pas nécessairement causés par un blocage du taux de braquage. Puisqu'il n'y a pas de capteurs sur le circuit d'orientation du train avant, on ne peut pas connaître le comportement précis du circuit pour signaler le comportement caractéristique d'un blocage du taux de braquage. L'analyse des données disponibles dans le but de déterminer la possibilité d'un blocage du taux de braquage repose sur un processus d'élimination ou un diagnostic par exclusion.

---

<sup>76</sup> Flight Safety Foundation (FSF), *Reducing the Risk of Runway Excursions: Report of the Runway Safety Initiative* (mai 2009), page 5. Sur Internet : <http://www.icao.int/safety/RunwaySafety/Documents%20and%20Toolkits/fsf-runway-excursions-report.pdf> (consulté le 21 octobre 2013)

### 3.0 *Faits établis*

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

1. Après une approche stabilisée et un atterrissage normal, l'aéronef a dérivé vers la gauche de l'axe de piste, vraisemblablement en raison d'un blocage à basse vitesse de rotation du taux de braquage de la soupape de réglage de la direction du train avant.
2. La réponse tardive du pilote aux commandes au virage intempestif n'était pas suffisante pour compenser le déplacement vers la gauche, et l'aéronef a quitté la surface de la piste.

#### 3.2 *Faits établis quant aux risques*

1. En l'absence de renseignements sur les virages intempestifs causés par un blocage du taux de braquage du train avant, il existe un risque que la cause de ces événements demeure non résolue et non atténuée et entraîne un risque de sortie de piste.
2. L'absence de renseignements d'un enregistreur de données de vol ou de tout autre type d'appareil d'enregistrement sur le circuit d'orientation du train avant peut nuire à l'identification de manquements à la sécurité.

#### 3.3 *Autres faits établis*

1. Les programmes d'assurance qualité des opérations de vol en place au sein d'un grand nombre de sociétés aériennes visent déjà certains événements en vue de souligner les préoccupations liées à la sécurité. Avec des filtres supplémentaires, il serait possible de signaler les événements liés à la direction pour aider à vérifier les événements de blocage du taux de braquage.

## 4.0 Mesures de sécurité

### 4.1 Mesures de sécurité prises

#### 4.1.1 American Airlines

En avril 2011, American Airlines a introduit une simulation de la sortie de piste du Boeing 737 en cause et une discussion à ce sujet dans le cadre du cours sur les facteurs humains de la formation périodique de ses pilotes. Cette formation est donnée aux pilotes de l'entreprise pour leur enseigner la possibilité d'une sortie de piste causée par un problème de direction du train avant pendant le roulement à l'atterrissage, après une approche normale et un atterrissage normal.

### 4.2 Préoccupations liées à la sécurité

Malgré les efforts déployés dans l'analyse d'événements antérieurs de blocage à basse vitesse de rotation du taux de braquage du train avant et les examens subséquents des soupapes, la cause de ces virages intempestifs demeure incertaine. Le processus d'examen de la sécurité effectué par le fabricant en fonction d'une fréquence quantitative basée sur un cycle de  $1 \times 10^{-7}$  a mené à la conclusion que ce type d'événement présente un niveau de risque acceptable en raison d'une probabilité extrêmement faible combinée à un degré de gravité majeur. Une fréquence de  $1 \times 10^{-7}$  satisfait aux exigences de certification des *Federal Aviation Regulations* (FAR). De plus, un niveau de risque acceptable n'exige pas que le danger fasse l'objet d'un suivi plus poussé dans le système de suivi des dangers de la Federal Aviation Administration (FAA). Par conséquent, outre l'analyse des données de vol et l'examen des soupapes, le fabricant n'a pris aucune autre mesure à la suite des 11 événements connus de blocage du taux de braquage du train avant qui se sont produits au cours de 21 dernières années.

La fréquence d'un événement détermine si un fabricant doit prendre des mesures de sécurité. Pour déterminer leur fréquence, il faut saisir le plus grand nombre possible d'événements. Cela permet de déterminer les manquements possibles à la sécurité et aide à la mise en application de stratégies d'atténuation des risques. Puisqu'aucune mesure de protection n'a été mise en place pour atténuer le risque de sortie de piste causée par un blocage du taux de braquage, la possibilité de dommages à l'aéronef et de blessures à ses occupants demeure.

La basse fréquence présentement connue de blocages du taux de braquage du train avant peut être attribuable au fait que les difficultés de maîtrise de la direction au décollage ou à l'atterrissage entraînent rarement des sorties de piste, des dommages ou des blessures et, par conséquent, ne sont pas signalées. Le manque de signalement peut aussi découler en partie du fait que les exploitants, les équipages de conduite et le personnel de maintenance n'ont pas été informés de la possibilité d'un blocage du taux de braquage et n'ont pas reçu d'information sur la façon de reconnaître ces événements, d'y réagir ou d'en chercher les causes. La fréquence devrait augmenter considérablement pour valider des mesures correctives, puisque les mesures de sécurité reposent sur les exigences de certification des FAR et la satisfaction des exigences par les flottes en service.

Malgré les progrès technologiques des appareils d'enregistrement, un grand nombre d'aéronefs de Boeing n'enregistrent pas les paramètres du circuit d'orientation du train avant. Les modèles

d'appareils de Boeing en cause sont notamment : 707/720, 727, 737, 747 (certains modèles), 757, 767 et 777.

La cause de ces blocages à basse vitesse de rotation du taux de braquage du train avant au cours de 21 dernières années demeure incertaine. Un manque de reconnaissance et de signalement empêche la collecte de données adéquate, leur analyse et, au besoin, la mise en œuvre de stratégies d'atténuation des risques.

Le Bureau craint qu'en l'absence de renseignements sur la cause des virages intempestifs causés par un blocage du taux de braquage du train avant, le risque de sorties de piste demeure.

*Le présent rapport met un terme à l'enquête du Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) sur cet événement. Le Bureau a autorisé la publication du rapport le 19 septembre 2013. Il est paru officiellement le 5 novembre 2013.*

*Pour obtenir de plus amples renseignements sur le BST, ses services et ses produits, visitez son site Web ([www.bst-tsb.gc.ca](http://www.bst-tsb.gc.ca)). Vous y trouverez également la Liste de surveillance qui décrit les problèmes de sécurité dans les transports présentant les plus grands risques pour les Canadiens. Dans chaque cas, le BST a établi que les mesures prises jusqu'à présent sont inadéquates, et que tant l'industrie que les organismes de réglementation doivent prendre de nouvelles mesures concrètes pour éliminer ces risques.*

## *Annexes*

### *Annexe A – Liste des rapports de laboratoire du BST*

Les rapports du Laboratoire de la Direction générale de l'ingénierie du BST suivants ont été finalisés :

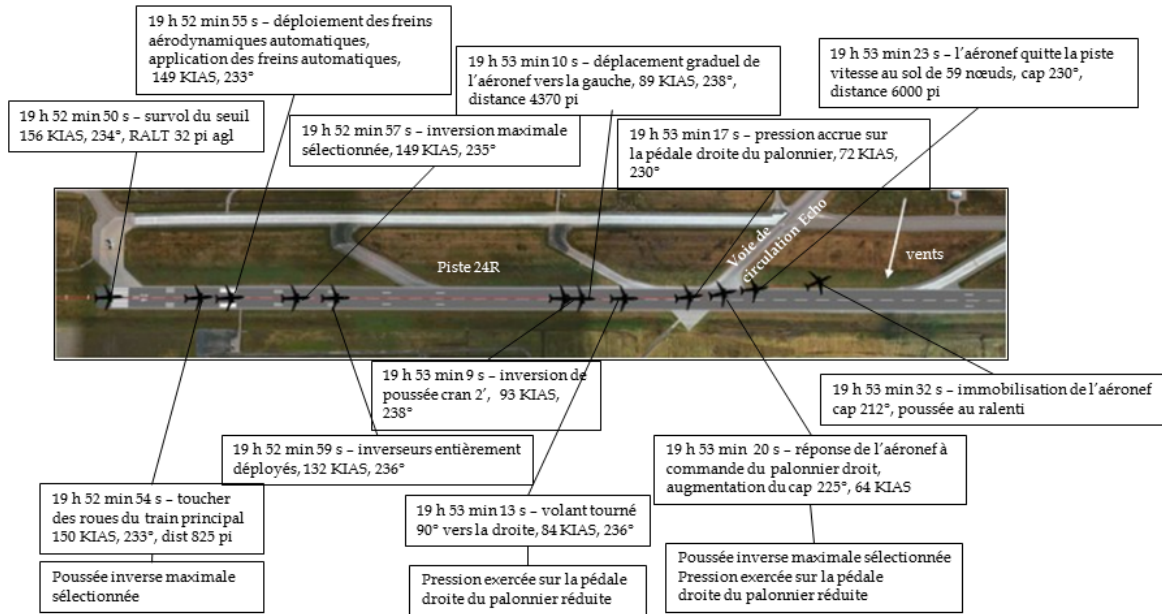
LP169/2010 – FDR and CVR Analysis (analyse des données du FDR/CVR);

LP187/2010 – Aircraft Performance Analysis (analyse des performances de l'aéronef);

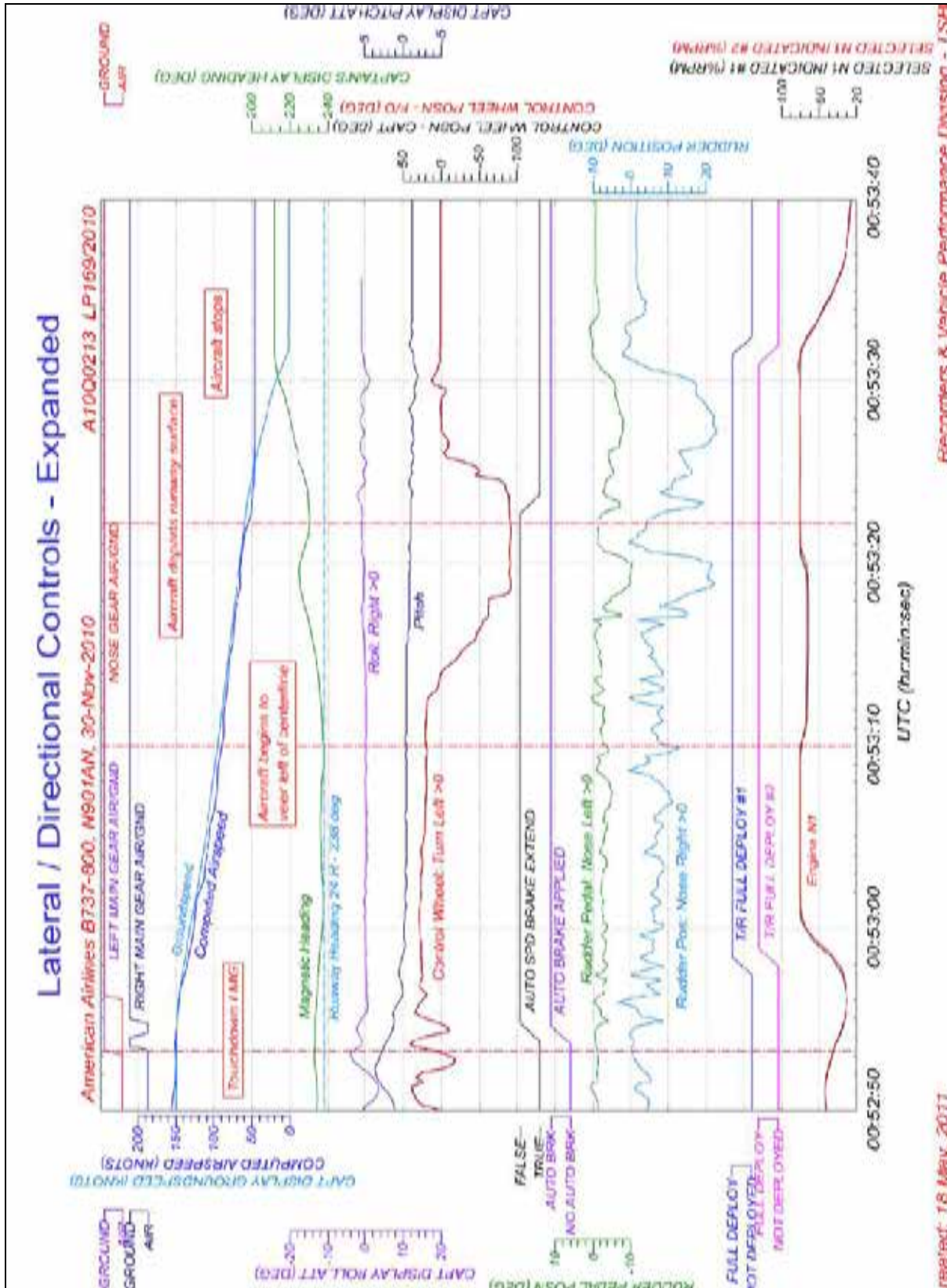
LP035/2011 – Nose Wheel Steering Valve Evaluation (évaluation de la soupape de direction du train avant).

Ces rapports peuvent être fournis sur demande par le Bureau de la sécurité des transports du Canada.

## Annexe B – Chronologie des événements : vol AAL802



# Annexe C – Commandes latérales et de direction de l'enregistreur de données de vol



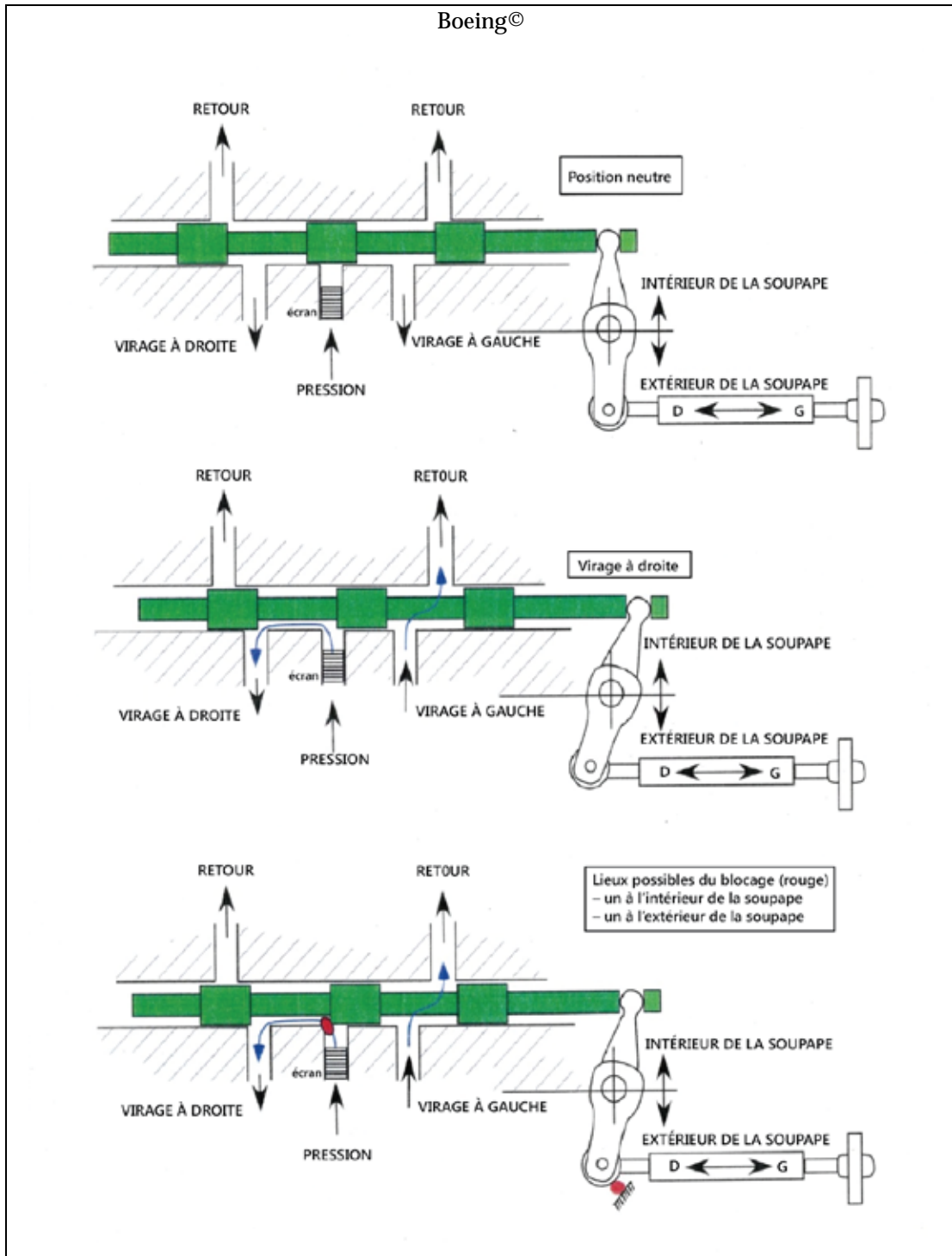


[traduction]

Lateral / Directional Controls - Expanded	Commandes latérales et de direction – agrandies
GROUND AIR	SOL AIR
CAPT DISPLAY ROLL ATT (DEG)	AFFICHAGE CMDT ASS. ROULIS (DEG)
RUDDER PEDAL POSN (DEG)	POSITION PÉDALES PALONNIER (DEG)
FULL DEPLOY NOT DEPLOYED	ENTIÈREMENT DÉPLOYÉ NON DÉPLOYÉ
Created: 18 May, 2011	Créé le 18 mai 2011
CAPT DISPLAY GROUNDSPED (KNOTS) COMPUTED AIRSPEED (KNOTS)	AFFICHAGE CMDT VITESSE SOL (NOEUDS) VITESSE ANÉMOMÉTRIQUE CALCULÉE (NOEUDS)
FALSE TRUE	VRAI FAUX
AUTO BRK NC AUTO BRK	FREIN AUTO ≠ FREIN AUTO
American Airlines B737-800, N901AN, 30- Nov-2010	American Airlines B737-800, N901AN, 30 nov 2010
LEFT MAIN GEAR AIR/GND	TRAIN PRINCIPAL GAUCHE AIR/SOL
RIGHT MAIN GEAR AIR/GND	TRAIN PRINCIPAL DROIT AIR/SOL
Groundspeed	Vitesse sol
Computed Airspeed	Vitesse anémométrique calculée
Touchdown I MG	Toucher des roues / train principal gauche
Aircraft begins to veer left of centerline	L'aéronef commence à se diriger vers la gauche de l'axe de piste
Magnetic Heading	Cap magnétique
Runway Heading 24 R - 238 deg	Cap de piste 24R - 238 deg
Roll: Right > 0	Roulis : Droite > 0
Control Wheel: Turn Left > 0	Volant : Tourné à gauche > 0
AUTO SPD BRAKE EXTEND	AÉROFREIN
AUTO BRAKE APPLIED	APPLICATION FREIN AUTO
Rudder Pedal: Nose Left > 0	Pédale palonnier : Gauche (nose left) > 0
Rudder Pos: Nose Right > 0	Position gouvernail direction : Droite (nose right) > 0
T/R FULL DEPLOY #1	INVERSEUR PLEINEMENT DÉPLOYÉ #1
T/R FULL DEPLOY #2	INVERSEUR PLEINEMENT DÉPLOYÉ #2
Engine N1	Réacteur no 1
UTC (hr:min:sec)	TUC (h:min:s)
NOSE GEAR AIR/GND	TRAIN AVANT AIR/SOL
Aircraft departs runway surface	L'aéronef quitte la surface de la piste
Aircraft stops	L'aéronef s'immobilise
Recorders & Vehicle Performance Division	BST, Section Enregistreurs et performance

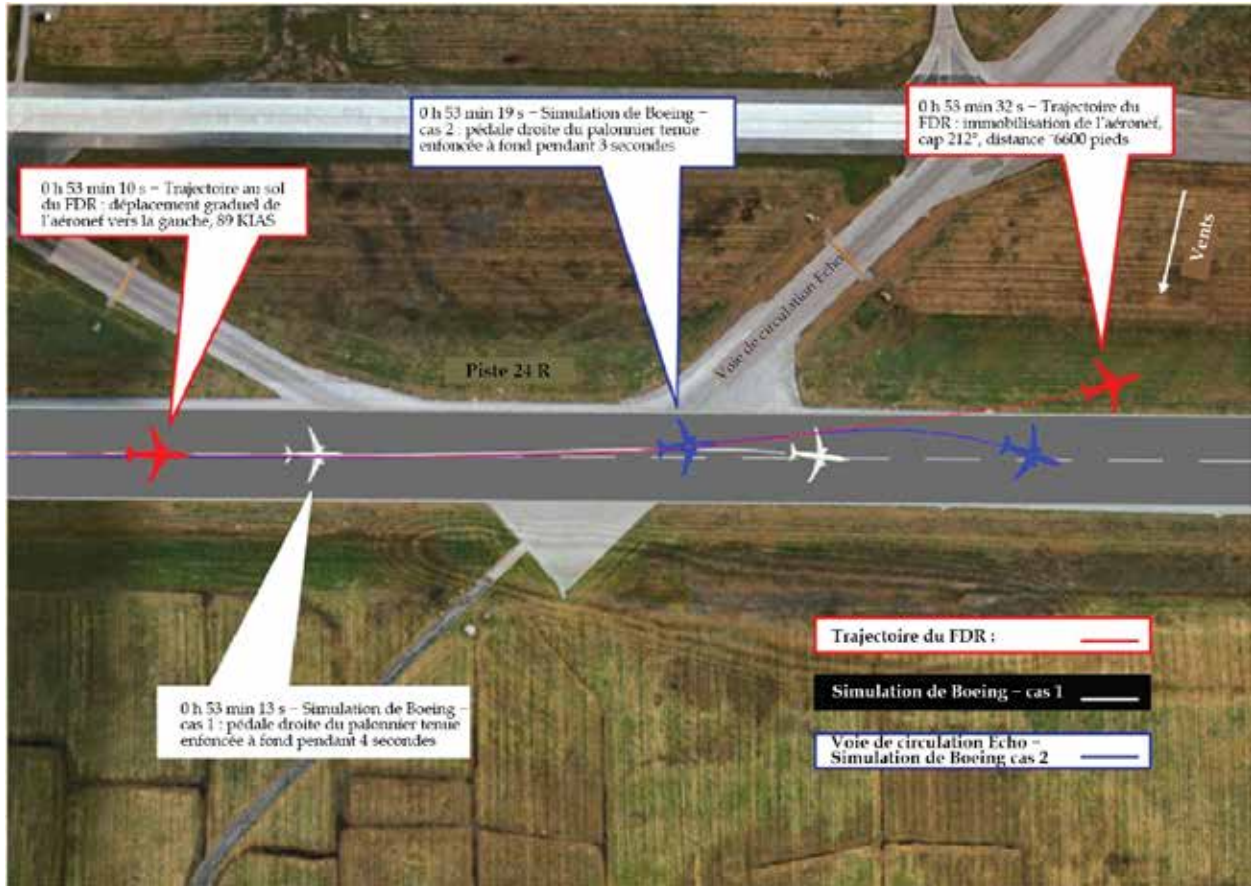
- TSB	des véhicules
RUDDER POSITION (DEG)	POSITION GOUVERNAIL DIRECTION (DEG)
CONTROL WHEEL POSN – CAPT (DEG) CONTROL WHEEL POSN – F/O (DEG)	POSITION VOLANT DE COMMANDE – CMDT (DEG) POSITION VOLANT DE COMMANDE – P/O
CAPTAIN’S DISPLAY HEADING (DEG)	AFFICHAGE CMDT CAP (DEG)
CAPT DISPLAY PITCH ATT (DEG)	AFFICHAGE CMDT ASS. TANGAGE (DEG)
SELECTED N1 INDICATED #1 (%RPM)	SÉLECT. No 1 INDIC. #1 (%T/M)
SELECTED N1 INDICATED #2 (%RPM)	SÉLECT. No 2 INDIC. #2 (%T/M)

Annexe D – Emplacement possible de débris lors d'un blocage du taux de braquage du train avant



(Traduction superposée par le BST.)

## Annexe E – Simulations par Boeing d'un blocage du taux de braquage du train avant à $\frac{1}{2}^\circ$ par seconde



Annexe F – Tableau des conséquences les plus graves utilisé pour la classification<sup>77</sup>

Probability (Quantitative)		1.0	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-9</sup>
Probability (Descriptive)	FAR	Probable		Improbable		Extremely Improbable
	JAR	Frequent	Reasonably Probable	Remote	Extremely Remote	Extremely Improbable
Failure condition severity classification	FAR	Minor		Major		Catastrophic
	JAR	Minor		Major	Hazardous	Catastrophic
Effect on aircraft occupants	FAR	<ul style="list-style-type: none"> <li>Does not significantly reduce airplane safety (Slight decrease in safety margins)</li> <li>Crew actions well within capabilities (Slight increase in crew workload)</li> <li>Some inconvenience to occupants</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Reduce capability of airplane or crew to cope with adverse operating conditions</li> <li>Significant reduction in safety margins</li> <li>Significant increase in crew workload</li> </ul> <p><b>Severe Cases:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Large reduction in safety margins</li> <li>Higher workload or physical distress on crew - can't be relied upon to perform tasks accurately</li> <li>Adverse effects on occupants</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Conditions which prevent continued safe flight and landing</li> </ul>
	JAR	Nuisance	Operating Limitations	<ul style="list-style-type: none"> <li>Significant reduction in safety margins</li> <li>Difficulty for crew to cope with adverse conditions</li> <li>Passenger injuries</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Large reduction in safety margins</li> <li>Crew extended because of workload or environmental conditions</li> <li>Serious or fatal injury to small number of occupants</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Multiple deaths, usually with loss of aircraft</li> </ul>

77

[traduction]

Probability (Quantitative)	Probabilité (mesure quantitative)
Probability (Descriptive)	Probabilité (mesure descriptive)
Failure condition severity classification	Classification de gravité de la défaillance
Effect on aircraft occupants	Incidence sur les occupants de l'aéronef
Probable	Probable
Frequent	Fréquent
Reasonably Probable	Probabilité raisonnable
Minor	Mineur
Does not significantly reduce airplane safety (Slight decrease in safety margins)	Ne réduit pas la sécurité de l'avion de façon significative (légère réduction des marges de sécurité)
Crew actions well within capabilities (Slight increase in crew workload)	Le travail requis de l'équipage correspond tout à fait à ses capacités (légère augmentation de la charge de travail de l'équipage)
Some inconvenience to occupants	Un certain inconfort des occupants
Nuisance	Nuisance
Operating limitations	Limites d'exploitation
Emergency procedures	Procédures d'urgence
Improbable	Improbable
Remote	Probabilité faible
Extremely Remote	Probabilité infime
Major	Majeur
Hazardous	Dangereux
Reduce capability of airplane or crew to cope with adverse operating conditions	Diminue la capacité de l'avion ou de l'équipage de composer avec des conditions d'exploitation défavorables
Significant reduction in safety margins	Réduction significative des marges de sécurité
Significant increase in crew workload	Augmentation significative de la charge de travail de l'équipage
Severe cases:	Cas graves :
Large reduction in safety margins	Importante réduction des marges de sécurité
Higher workload or physical distress on crew – can't be relied upon to perform tasks accurately	Accroissement de la charge de travail ou de la détresse physique des membres de l'équipage – on ne peut plus se fier à ce que ceux-ci effectuent leurs tâches de façon efficace
Adverse effects on occupants	Incidence négative sur les occupants
Significant reduction in safety margins	Réduction significative des marges de sécurité
Difficulty for crew to cope with adverse	Difficulté des membres de l'équipage à

conditions	composer avec des conditions défavorables
Passenger injuries	Blessures aux passagers
Large reduction in safety margins	Importante réduction des marges de sécurité
Crew extended because of workload or environmental conditions	Équipage élargi en raison de la charge de travail ou de conditions environnementales
Serious or fatal injury to small number of occupants	Blessures graves ou mortelles subies par un petit nombre d'occupants
Extremely Improbable	Extrêmement improbable
Catastrophic	Catastrophique
Conditions which prevent continued safe flight and landing	Conditions qui empêchent de poursuivre le vol ou d'atterrir de façon sécuritaire
Multiple deaths, usually with loss of aircraft	Pertes de vies multiples – coïncide habituellement avec la destruction de l'aéronef

## *Annexe G – Recherche dans d'autres bases de données*

### **Source : Australian Transportation Safety Board (ATSB)**

#### **200300561**

le 27 février 2003

Boeing 737

L'équipage de conduite a déclaré que pendant le roulement à l'atterrissage, à une vitesse d'environ 80 nœuds, l'aéronef a viré à gauche en direction du bord de piste. L'aéronef a été ramené dans l'axe de piste en enfonçant à fond la pédale droite du palonnier, en appliquant le frein droit et en braquant le train avant. Il n'a pas quitté la surface scellée de la piste.

#### **200402661**

le 19 juillet 2004

Boeing 737

Pendant le roulement au décollage, l'équipage a remarqué un mouvement latéral brusque de l'aéronef. L'équipage a continué, mais a gardé la configuration de décollage jusqu'à environ 3000 pieds. Après avoir consulté les services d'ingénierie et d'exploitation de l'exploitant, la décision a été prise de continuer le vol. Les résultats d'une analyse subséquente du FDR convergeaient avec les observations de l'équipage, mais n'ont pas permis de déterminer la cause de l'événement.

#### **200600103**

le 8 janvier 2006

Boeing 737

Durant le roulement au décollage initial à basse vitesse, l'aéronef a commencé à dériver de façon intempestive de l'axe de piste. L'équipage a interrompu le décollage.

### **Source : Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST)**

#### **A03F0141**

le 23 juillet 2003

Boeing 767

L'aéronef a viré momentanément à droite à une vitesse d'environ 100 nœuds durant le décollage. La déviation a été corrigée à l'aide de la gouverne de direction. L'aéronef a poursuivi normalement sa course jusqu'au décollage. Après avoir atterri à sa destination, l'équipage a demandé que l'on soumette l'aéronef à une inspection avant de rouler jusqu'à la porte. Aucune anomalie n'a été relevée. Le service de maintenance a inspecté le train d'atterrissage, les pneus, les freins, les réacteurs, les commandes de vol et autres structures de l'aéronef, et n'a trouvé ni dommage, ni défaillance. Les systèmes informatiques de données moteur (EDCS) et l'unité de programmation et d'indication (PIMU) droite n'ont enregistré aucune anomalie ni aucun dépassement des moteurs. La cause du virage n'a pas été établie.

### **Source : Aviation Safety Reporting System (ASRS) de la National Aeronautics and Space Administration (NASA)**

#### **550790**

Boeing 737

Roulement au décollage. Manettes avancées vers la poussée au décollage. Commande d'activation des automanettes. Déplacement simultané des manettes vers la puissance de



décollage. Déviation brusque de l'aéronef vers la gauche de l'axe de la piste pendant le roulement au décollage. Commande d'orientation du train avant vers la droite pour compenser la déviation brusque vers la gauche. Aucune réponse de la barre de direction du train avant. Application du freinage différentiel pour ramener l'aéronef sur l'axe de la piste. Odeur de caoutchouc brûlé des pneus qui dérapent créée par le sautiller et le frottement du train avant ou le glissement du frein du train principal gauche. Roulement au décollage interrompu à une vitesse de 15 nœuds. Aéronef à moins de 30 pieds de quitter la surface préparée. Dégagement de la piste active par la première voie de circulation libre et remorquage jusqu'à la porte.

**576165**

Boeing 747

Le P/O a effectué une approche normale et un atterrissage normal. On lui demande de dégager la piste active par la voie de circulation M, puis la voie de circulation E. Pendant que l'aéronef roulait en direction nord-est sur la voie de circulation E, et que le commandant de bord assumait les commandes de la barre, l'aéronef a dérivé vers la droite de l'axe de la voie de circulation. Le commandant de bord a assumé les commandes et sollicité un virage à gauche. L'aéronef était exceptionnellement lent à répondre; par conséquent, le commandant de bord a sollicité un autre virage à gauche et l'aéronef a soudainement fait une embardée vers la gauche et a dérivé par rapport à l'axe de la voie de circulation E, puis a commencé à se diriger vers le bord gauche de la voie de circulation. Le commandant de bord a immédiatement ajouté une commande d'orientation de 4 mains par rapport à la commande sollicitée précédemment pour ramener l'aéronef dans l'axe de la piste, mais, une fois de plus, l'aéronef était lent à réagir et a dérivé vers le bord de la voie de circulation, puis le train de l'aile gauche et le train avant se sont immobilisés dans le sol mou. Les commandes de freinage et de direction pour garder l'aéronef sur la voie de circulation semblent avoir eu peu ou pas d'effet.

**727681**

Boeing 737

Le commandant de bord a interrompu le décollage initial parce que l'aéronef dérivait de façon impétueuse vers la gauche. Les événements suivants ont été observés avant l'interruption : 1) la vérification des commandes de vol pendant le roulage au départ était normale; 2) selon le rapport, le vent soufflait du sud à 20 nœuds; 3) la poussée au décollage a été atteinte et elle était stable avant 60 KIAS; 4) une pression vers l'avant a été exercée sur le manche et il a fallu enfoncer le palonnier droit à environ 50 % pour maintenir l'axe de la piste avant l'événement; 5) à environ 60 KIAS, l'aéronef a dérivé vers la gauche de l'axe de la piste et on a appuyé à fond sur le palonnier droit pour tenter de regagner l'axe de la piste; la gouverne de direction n'avait aucun effet pour ramener l'aéronef vers la droite; 6) à environ 70 KIAS, l'aéronef était à mi-chemin entre l'axe de la piste et le bord gauche de la piste et dérivait toujours vers la gauche, même avec le palonnier droit complètement enfoncé; 7) le commandant de bord a décidé d'interrompre le décollage; 8) le ciel était dégagé, mais de la neige balayait la piste; 9) le décollage interrompu et le roulage subséquent jusqu'à la porte se sont déroulés sans incident; 10) après une consultation avec les responsables de l'entretien et de la répartition, on a effectué un échange d'aéronef et le vol a eu lieu.