



**RAPPORT D'ENQUÊTE SUR ACCIDENT AÉRONAUTIQUE**

**DIFFICULTÉ À CONTRÔLER L'AVION - RACLAGE DE LA PISTE**

**AIR CANADA  
BOEING 747-433 COMBI C-GAGL  
AÉROPORT INTERNATIONAL  
DE TORONTO / LESTER B. PEARSON (ONTARIO)  
19 FÉVRIER 1996**

**RAPPORT NUMÉRO A96O0030**

## MISSION DU BST

La *Loi sur le Bureau canadien d'enquête sur les accidents de transport et de la sécurité des transports* établit les paramètres juridiques qui régissent les activités du Bureau de la sécurité des transports du Canada.

La mission du BST consiste essentiellement à promouvoir la sécurité du transport maritime, ferroviaire et aérien, ainsi que du transport par productoduc :

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

Le Bureau n'est pas habilité à attribuer ni à déterminer les responsabilités civiles ou pénales.

## INDÉPENDANCE

Pour favoriser la confiance du public à l'endroit du processus d'enquête sur les accidents de transport, l'organisme d'enquête doit non seulement être objectif, indépendant et libre de tout conflit d'intérêts, mais aussi perçu comme tel. La principale caractéristique du BST est son indépendance. Le Bureau relève du Parlement par l'intermédiaire du président du Conseil privé de la Reine pour le Canada et il est indépendant des autres organismes gouvernementaux et des ministères. Son indépendance assure la parfaite objectivité de ses conclusions et de ses recommandations. Elle repose sur sa compétence, sa transparence et son intégrité, ainsi que sur l'équité de ses méthodes.

Visitez le site Internet du BST  
<http://bst-tsb.gc.ca/>

Les rapports d'enquête publiés par le BST depuis janvier 1995 y sont maintenant disponibles. Les rapports seront ajoutés au fur et à mesure qu'ils seront publiés.

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

## Rapport d'enquête sur accident aéronautique

### Difficulté à contrôler l'avion - Raclage de la piste

Air Canada

Boeing 747-433 Combi C-GAGL

Aéroport international de Toronto / Lester B. Pearson  
(Ontario)

19 février 1996

Rapport numéro A96O0030

### *Résumé*

Le Boeing 747-433 à configuration mixte assurait le vol 899 d'Air Canada qui effectuait une liaison régulière de transport de passagers et de fret entre l'aéroport international de Toronto/Lester B. Pearson et l'aéroport international de Vancouver (Colombie-Britannique). Pendant le décollage, le dessous de l'empennage de l'avion a raclé la piste et, pendant la montée, il a fallu compenser considérablement le stabilisateur en piqué pour que l'avion puisse voler. Aucun membre de l'équipage ne s'est aperçu que la queue de l'avion avait raclé la piste, et ce n'est qu'une fois rendu à destination qu'on s'est rendu compte que l'avion avait été endommagé.

Le Bureau a déterminé que le dessous de l'empennage a raclé la piste au décollage parce que le premier officier a trop fait cabrer l'avion à une vitesse inférieure à la vitesse de rotation calculée. L'avion a été davantage sujet à un cabrage précoce à cause du centrage arrière prononcé et du mauvais réglage du compensateur de stabilisateur. Les facteurs suivants ont contribué à l'incident : une erreur dans un logiciel de chargement d'aéronef récemment modifié, la validation incomplète des modifications du logiciel et l'impossibilité du système de chargement de bord de déceler une erreur de calcul grave.

Ce rapport est également disponible en anglais.

*Table des matières*

	Page
1.0 Renseignements de base .....	1
1.1 Déroulement du vol .....	1
1.2 Victimes .....	2
1.3 Dommages à l'aéronef .....	2
1.4 Autres dommages .....	2
1.5 Renseignements sur le personnel .....	3
1.5.1 Généralités .....	3
1.5.2 Le commandant de bord .....	3
1.5.3 Le premier officier .....	4
1.6 Renseignements sur l'aéronef .....	5
1.6.1 Généralités .....	5
1.6.2 Description de l'avion .....	6
1.6.3 Masse et centrage .....	6
1.6.4 Performances au décollage .....	7
1.6.5 Technique utilisée pendant la course au décollage .....	8
1.7 Renseignements météorologiques .....	8
1.8 Aides à la navigation .....	8
1.9 Télécommunications .....	8
1.10 Renseignements sur l'aérodrome .....	8
1.11 Enregistreurs de bord .....	9
1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact .....	9
1.13 Renseignements médicaux .....	9
1.14 Renseignements supplémentaires .....	10
1.14.1 Gestion de la tâche de travail dans le poste de pilotage .....	10
1.14.2 Entraînement des pilotes .....	10
1.14.3 Formation de l'agent d'escale .....	10
1.14.4 <i>Automated Load Planning - Air Canada (ALPAC)</i> .....	11

2.0	Analyse .....	13
2.1	Introduction .....	13
2.2	Le logiciel ALPAC .....	13
2.3	La course au décollage .....	14
2.4	Silence dans le poste de pilotage .....	14
3.0	Conclusions .....	17
3.1	Faits établis .....	17
3.2	Causes .....	18
4.0	Mesures de sécurité .....	19
4.1	Mesures prises .....	19
4.1.1	Mesures prises par l'exploitant - Annonce des vitesses à voix haute au décollage .....	19
4.1.2	Mesures prises par l'exploitant - Logiciel de contrôle du chargement .....	19
5.0	Annexes	
	Annexe A - Liste des rapports pertinents .....	21
	Annexe B - Sigles et abréviations .....	23



## 1.0 Renseignements de base

### 1.1 Déroulement du vol

L'avion devait partir de l'aéroport international de Toronto/Lester B. Pearson (Ontario) à 8 h 45, heure normale de l'Est (HNE)<sup>1</sup>, pour un vol régulier sans escale jusqu'à l'aéroport international de Vancouver (Colombie-Britannique). L'avion combi était configuré pour transporter des passagers et de lourdes charges de fret. L'avion transportait 243 passagers et 31 257 kilogrammes (kg)<sup>2</sup> de fret.

Le vol avait été retardé d'une trentaine de minutes sur l'aire de trafic pendant le chargement du fret. Après avoir été refoulé au tracteur et avoir roulé jusqu'à la piste 24 droite sans incident, l'avion a été autorisé à décoller à 9 h 51 HNE. La circulation au sol, les manoeuvres avant décollage et la course au décollage ont été effectuées conformément aux procédures d'utilisation normalisées (SOP) d'Air Canada. Le décollage a été effectué par le premier officier sous la surveillance du commandant qui était en place gauche.

L'enregistreur de données de vol (FDR) révèle que l'avion s'est mis à cabrer lentement à une vitesse indiquée d'environ 120 noeuds<sup>3</sup>, sans déplacement de la gouverne de profondeur. Aux environs de 134 noeuds, alors que l'angle de cabrage était d'à peu près 5 degrés, la gouverne de profondeur a accusé un important mouvement de cabrage, ce qui a fait cabrer plus rapidement l'avion jusqu'à ce qu'il décolle à 143 noeuds à 13 degrés en cabré. La partie inférieure du fuselage a raclé la piste pendant le décollage à l'insu de l'équipage. Il a fallu compenser le stabilisateur en piqué pour ainsi dire jusqu'au maximum pendant la montée initiale. Peu après le décollage, l'équipage de conduite a signalé par radio à l'agent d'opérations de la compagnie qu'il croyait qu'il y avait une erreur de masse et centrage, compte tenu du comportement de l'avion en vol.

Pendant l'inspection de l'avion à destination, on s'est aperçu que le dessous du fuselage dans la zone de l'empennage avait raclé la piste.

L'incident est survenu à 9 h 51 HNE, de jour, par 43° 40' de latitude Nord et 079° 37' de longitude Ouest.

---

<sup>1</sup> Les heures sont exprimées en HNE (temps universel coordonné [UTC] moins cinq heures), sauf indication contraire.

<sup>2</sup> Voir l'annexe B pour la signification des sigles et abréviations.

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

## 1.2 Victimes

	Équipage	Passagers	Tiers	Total
Tués	-	-	-	-
Blessés graves	-	-	-	-
Blessés légers/Indemnes	10	243	-	253
Total	10	243	-	253

## 1.3 Dommages à l'aéronef

Le dessous du fuselage présentait un gondollement léger au niveau de l'empennage entre les références fuselage 2658 à 2742 parce que cette partie de l'avion a raclé la piste. Dans cette zone se trouvent les panneaux d'accès au groupe auxiliaire de bord (APU) et la partie située légèrement à l'arrière des portes.

## 1.4 Autres dommages

Aucun.



## 1.5 Renseignements sur le personnel

### 1.5.1 Généralités

	Commandant de bord	Premier officier
Âge	58 ans	49 ans
Licence	pilote de ligne	pilote de ligne
Date d'expiration du certificat de validation	1er juillet 1996	1er juillet 1996
Nombre total d'heures de vol	18 362	12 885
Nombre total d'heures de vol sur type en cause	1 085	23
Nombre total d'heures de vol dans les 90 derniers jours	38	88
Nombre total d'heures de vol sur type en cause dans les 90 derniers jours	38	23
Nombre d'heures de service avant l'événement	2,3	2,3
Nombre d'heures libres avant la prise de service	5 semaines	9,0

### 1.5.2 Le commandant de bord

Le commandant de bord possédait la licence et les qualifications nécessaires au vol et en vertu de la réglementation en vigueur. Il possédait l'annotation pour voler sur B747-200 depuis août 1991 et celle pour voler sur B747-400 depuis mars 1992. Sa dernière vérification de compétence pilote et son dernier vol de contrôle aux instruments avait eu lieu le 27 janvier 1995. Il a été jugé apte au vol (catégorie 1) lors de sa dernière visite médicale le 22 décembre 1995. Pour voler, il doit avoir ses lunettes en sa possession. En sa qualité de pilote vérificateur de compagnie qualifié sur B747-400, il surveillait le premier officier qui suivait sa formation préparatoire au vol de ligne sur B747-400 pour la compagnie.

Le jour de l'incident, le commandant s'est présenté à l'aéroport vers 7 h 30 HNE pour prendre son service. C'était son premier jour de travail après cinq semaines de congé.

### 1.5.3 *Le premier officier*

Le premier officier a commencé sa formation au sol de pilote de compagnie et son entraînement sur simulateur le 7 janvier 1996 en vue de passer sur B747-400. Au terme de son entraînement sur simulateur le 9 février 1996, il a subi sa vérification de compétence pilote. Avant de passer sur B747-400, il volait comme premier officier qualifié sur B767. Il a obtenu l'annotation pour voler sur B747-400 le 13 février 1996. Il a été jugé apte au vol (catégorie 1) lors de sa dernière visite médicale le 19 décembre 1995. Pour voler, il doit avoir ses lunettes en sa possession. Il possédait la licence et les qualifications nécessaires au vol et en vertu de la réglementation en vigueur.

La veille de l'incident, le premier officier avait effectué un vol préparatoire au vol de ligne entre Vancouver et Toronto, où il était arrivé à 22 h HNE. Il s'est rendu directement de l'aéroport à sa chambre d'hôtel et, semble-t-il, il s'est couché une heure et demie après être arrivé à Toronto. Le jour de l'incident, le premier officier est arrivé à l'aéroport une heure environ avant l'heure de départ prévue du vol 899. Le vol de l'incident était le troisième parcours (de huit) de formation préparatoire au vol de ligne sur l'avion. C'était son deuxième décollage à bord de l'avion depuis la fin de son entraînement sur simulateur.

## 1.6 Renseignements sur l'aéronef

### 1.6.1 Généralités

Constructeur	Boeing Company
Type et modèle	747-433 Combi
Année de construction	1991
Numéro de série	24998
Certificat de navigabilité	janvier 1991
Nombre total d'heures de vol cellule	17 115
Type de moteur (nombre)	Pratt & Whitney PW 4056 (4)
Type d'hélice (nombre)	sans objet
Masse maximale autorisée au décollage	394 600 kg
Type de carburant utilisé	Jet A

L'équipage de conduite n'a signalé ni défaillance ni mauvais fonctionnement des systèmes et des composants de l'avion qui auraient pu contribuer à l'incident. L'enquête n'a révélé ni défaillance ni mauvais fonctionnement.

### 1.6.2 Description de l'avion

Le Boeing 747-433 combi était configuré pour transporter des passagers et du fret. Le pont supérieur, entre l'arrière du poste de pilotage et le bord d'attaque des ailes, est réservé aux passagers. Le pont



principal est réservé aux passagers et au fret. La zone entre le nez de l'avion et le bord de fuite des ailes est réservé aux passagers. La zone entre l'arrière du compartiment passagers du pont principal et l'empennage est réservée au fret. Uniquement du fret est transporté sous le pont principal, dans des soutes situées entre l'avant du bord de fuite des ailes et l'arrière du train avant, et entre l'arrière du bord de fuite des ailes et l'arrière de l'avion.

### 1.6.3 Masse et centrage

La masse maximale opérationnelle au décollage de l'avion est de 328 600 kg, et la plage de centrage opérationnelle se situe entre 10,8 % et 32,5 % de la corde aérodynamique moyenne (MAC).

Un agent d'escale agréé d'Air Canada à Toronto a commencé à planifier le chargement du vol 899 à 6 h 45 HNE à l'aide du logiciel appelé *Automated Load Planning Air Canada (ALPAC)*. Le tout s'est déroulé normalement et a pris fin à 7 h 15 HNE. Sept conteneurs chargés de fret ont été placés dans le compartiment de fret du pont principal. Six d'entre eux ont été placés dans le compartiment de fret du pont principal parce qu'ils avaient une hauteur supérieure à celle des soutes. La masse du fret sur ce pont totalisait 19 782 kg. Le devis de masse et centrage calculé par le logiciel ALPAC a été remis à l'équipage de conduite avant le départ de l'avion.

Un agent au chargement de la compagnie a confirmé que le fret avait été chargé à bord conformément au plan ALPAC et que la masse réelle du fret était dans les limites acceptables des masses que le logiciel ALPAC avait calculées pour le vol.

Les agents au chargement de la compagnie ont calculé manuellement la masse et le centrage de l'avion après que l'équipage de conduite a avisé l'agent d'opérations de la compagnie après le décollage qu'il semblait y avoir une erreur de masse et centrage. Le calcul manuel a rapidement confirmé l'erreur du logiciel ALPAC, et la compagnie a aussitôt pris des mesures pour qu'aucun autre aéronef ne parte après des calculs effectués par le logiciel ALPAC modifié. La masse au décollage de 286 500 kg a été confirmée, mais le centrage était à 35 % de la MAC et non à 22,3 %. Le FDR a montré que la masse au décollage de l'avion était de 286 783 kg. Le centrage réel de l'avion au décollage se trouvait à l'arrière de la limite arrière de 32,5 % de la MAC.

En même temps que l'équipage de conduite signalait des difficultés avec le vol 899, des agents au chargement qui préparaient un autre Boeing 747 pour l'autoriser à partir ont eu des problèmes avec le logiciel ALPAC modifié. Ils ont calculé manuellement la masse et le centrage pour essayer de trouver la cause du problème.

#### 1.6.4 Performances au décollage

Les données de masse et centrage que l'agent au chargement a communiquées à l'équipage de conduite ont été entrées dans un ordinateur de bord pour calculer les vitesses de décollage et le réglage de la compensation du stabilisateur pour le décollage. Les vitesses de décollage calculées s'affichaient automatiquement sur le tableau de bord. Elles ne faisaient pas partie des paramètres enregistrés par le FDR. Le FDR a montré que le compensateur du stabilisateur était réglé à 5,9 unités pour le décollage, soit dans la plage de compensation normale pour le décollage. Les vitesses de décollage calculées en fonction des conditions qui prévalaient au moment de l'incident étaient les suivantes :  $V_1^4 = 132$  noeuds et  $V_R^5 = 144$  noeuds.

Une puissance réduite «un»<sup>6</sup> a été choisie pour le décollage, avec braquage des volets de bord de fuite à 10 degrés.

---

<sup>4</sup> Selon Transports Canada, la  $V_1$  est la vitesse de détection de la panne du moteur critique. Selon le manuel de vol du Boeing 747-400, la  $V_1$  est la vitesse de décision.

<sup>5</sup> Vitesse de rotation.

<sup>6</sup> Puissance réduite utilisée pour décoller lorsque la poussée maximale n'est pas essentielle.

### *1.6.5 Technique utilisée pendant la course au décollage*

Dans le cas du Boeing 747, les forces de pesanteur qui s'exercent sur le train avant pendant la course au décollage sont faibles. Le manuel de vol du Boeing 747-400 d'Air Canada, dans la section qui traite de la procédure initiale de décollage, précise que, à faible masse dans des conditions de centrage arrière et si la piste est glissante, le train avant doit demeurer fermement sur la piste jusqu'à ce que l'avion arrive presque à la  $V_R$ , après quoi il faut cesser de pousser sur le manche.

Les performances au décollage et pendant la montée initiale sont fonction du cabrage de l'avion à la bonne vitesse et au bon taux jusqu'à l'assiette de cabrage prévue. Si l'on cabre trop tôt, trop rapidement ou à un angle trop prononcé, la partie arrière du fuselage risque de racler la piste. Cela se produit à un angle de cabrage de 12,5 degrés si les roues sont encore sur la piste et si les jambes de trains d'atterrissage sont détendues.

Le taux de cabrage est fonction de l'accélération de l'avion. Règle générale, plus l'appareil est lourd, moins l'accélération est grande et moins prononcé est le taux de cabrage. On obtient normalement une assiette à cabrer de 10 degrés en trois à cinq secondes si tous les moteurs sont en marche, et l'avion quitte le sol lorsque l'assiette de cabrage se situe entre 8,5 et 10 degrés.

### *1.7 Renseignements météorologiques*

La météo au moment de l'incident était la suivante : nuages épars à 3 500 pieds-sol, nuages fragmentés à 5 000 pieds-sol et à 10 000 pieds-sol, visibilité de 15 milles, vents du 150 degrés magnétique à 5 noeuds, température de -7 °C, et point de rosée de -13 °C.

### *1.8 Aides à la navigation*

Aucune aide n'a été utilisée.

### *1.9 Télécommunications*

Les communications avec le contrôle de la circulation aérienne ont été normales et n'ont posé aucune difficulté. Après le décollage, l'équipage de conduite a contacté l'agent d'opérations de la compagnie par radio et a déclaré qu'il avait eu du mal à garder la maîtrise de l'avion au décollage.

### *1.10 Renseignements sur l'aérodrome*

La piste 24 droite mesure 10 500 pieds de longueur sur 200 pieds de largeur. La surface de la piste en asphalte et en béton était propre et sèche au moment de l'incident.

### *1.11 Enregistreurs de bord*

L'appareil était équipé d'un enregistreur de données de vol (FDR) Allied Signal Universal, modèle numéro 980-4100-AXUS. Le FDR a été retiré de l'avion à Vancouver et a été envoyé au Laboratoire technique du BST pour analyse. Puisque l'enregistreur phonique (CVR) a enregistré continuellement pendant le vol jusqu'à Vancouver et que l'enregistrement ne durait que 30 minutes, le CVR n'a pu fournir aucune donnée relative à l'incident.

Pendant le décollage, la puissance moteur a augmenté jusqu'à 84 % où elle s'est stabilisée. L'assiette en tangage s'est accentuée graduellement pendant la course au décollage sans aucun déplacement du manche par rapport à sa position neutre. Aux environs de 120 noeuds, l'assiette et le taux de tangage se sont mis à augmenter considérablement sans déplacement du manche. Le manche s'est toutefois déplacé légèrement vers l'avant lorsque l'avion a dépassé les 132 noeuds, après quoi il s'est mis à se déplacer considérablement vers l'arrière. Pendant que le manche arrière était à son maximum de 18 degrés, l'assiette en tangage est passée à 13 degrés en cabré, et le contacteur de référence air-sol est passé sur «air», ce qui indique que l'avion a quitté le sol à 143 noeuds. Une crête d'accélération verticale de 1,13 g a été enregistrée à peu près à ce moment-là. L'avion a continué à se cabrer et a finalement atteint 18 degrés environ, 13 secondes après l'arraché. À ce moment-là, un déplacement en piqué du compensateur de stabilisateur de 5,9 unités à 5,0 unités a été enregistré, ce qui a réduit l'assiette de cabrage à 16 degrés. Environ 16 secondes après l'arraché, ce compensateur a accusé une autre réduction jusqu'à 4,4 unités, et l'assiette de cabrage s'est stabilisée à 14 degrés pendant le reste de la montée.

Les données FDR enregistrées pendant le décollage précédent ont été analysées et comparées avec celles du vol de l'incident. Les données relatives au décollage précédent révèlent que le manche s'est déplacé progressivement vers l'avant pendant la course au décollage pour atteindre moins 10 degrés juste avant de se déplacer de manière significative vers l'arrière jusqu'à l'arraché. Par la suite, de faibles déplacements en piqué du compensateur ont été enregistrés pendant que l'avion se stabilisait en montée.

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

Sans objet.

### *1.13 Renseignements médicaux*

Rien n'indique qu'une incapacité ou des facteurs physiologiques aient pu perturber les capacités de l'équipage.

## 1.14 Renseignements supplémentaires

### 1.14.1 *Gestion de la tâche de travail dans le poste de pilotage*

Le manuel d'exploitation de la compagnie exige que l'équipage de conduite vérifie les vitesses de décollage avant de décoller. Pendant la course au décollage, le pilote aux commandes avance les manettes des gaz pendant que l'autre pilote affiche la puissance de décollage en arrivant à 80 noeuds. Le commandant garde la main sur les manettes des gaz jusqu'à  $V_1$ . S'il décèle des anomalies qui menacent la sécurité de l'avion avant que l'avion ait atteint cette vitesse, il prend les commandes et interrompt le décollage. Dans le cas du Boeing, les procédures de la compagnie n'obligent pas les pilotes à annoncer les vitesses à voix haute pendant la course au décollage. Dans le cas qui nous occupe, aucune annonce n'a été faite à voix haute.

Dans le monde de l'aviation, la pratique courante veut que le pilote qui n'est pas aux commandes (PNF) annonce les vitesses à voix haute pendant la course au décollage. Sur les gros porteurs, les vitesses suivantes sont annoncées à voix haute : une vitesse bien inférieure à la  $V_1$ , pour confirmer que les anémomètres fonctionnent et que la puissance de décollage est affichée et stabilisée, la  $V_1$  et la  $V_R$ . Lorsque le PNF annonce la  $V_R$ , le pilote aux commandes (PF) amorce la rotation en tirant doucement sur le manche pour permettre à l'avion de quitter le sol à la bonne vitesse et au bon angle de cabrage.

### 1.14.2 *Entraînement des pilotes*

Plusieurs décollages avaient été démontrés au premier officier pendant son dernier entraînement sur simulateur sur Boeing 747-400. Cependant, aucun n'a été effectué en assiette non compensée ou déséquilibrée. Le premier officier a déclaré que ce n'est qu'au cours d'un vol sur simulateur avec anomalies du stabilisateur qu'il aurait reçu de l'entraînement à propos d'une assiette non compensée.

### 1.14.3 *Formation de l'agent d'escale*

Le candidat qui désire recevoir la formation d'agent d'escale agréé doit passer des examens de qualification. L'enseignement est individuel, c'est-à-dire que le candidat doit apprendre par lui-même aux moyens des documents qu'on lui remet. Les examens portent sur les



procédures élémentaires sur l'aire de trafic ainsi que sur les procédures relatives au fret et aux avions. Le candidat peut également recevoir de la formation (sous forme d'enseignement individuel) sur la masse et le centrage des DC-9. Après avoir réussi les examens de qualification, le candidat suit un cours de six semaines. Ce dernier porte sur l'utilisation élémentaire du logiciel ALPAC relativement aux avions à fuselage étroit. Le candidat apprend à calculer la masse et le centrage manuellement et à l'aide du logiciel. Le candidat doit ensuite subir un examen qui permettra de vérifier s'il possède les connaissances théoriques et pratiques nécessaires pour déterminer la masse et le centrage manuellement et à l'aide du logiciel ALPAC. Le candidat doit ensuite subir un examen d'agrément pour chaque avion dont il aura à planifier le chargement.

L'agent d'escale agréé qui s'est occupé de l'avion en cause dans l'incident avait plus de 20 ans d'expérience comme agent d'escale.

#### 1.14.4 *Automated Load Planning - Air Canada (ALPAC)*

Le logiciel ALPAC est constamment amélioré par Air Canada. Ce logiciel aide les agents au chargement à planifier le chargement et la position du fret et des bagages à bord des avions d'Air Canada. Le logiciel a pour objectifs de s'assurer que les limites de masse et de centrage sont respectées, que les marchandises dangereuses sont chargées convenablement, que les palettes sont placées de manière à ne pas gêner le déchargement à destination, et que la charge est répartie de façon à obtenir le centrage qui permettra la consommation de carburant la plus économique. Les agents au chargement entrent dans l'ordinateur les données de chaque palette. Le logiciel totalise les masses et calcule les variations de moment du centrage en tenant compte d'un code qui contient le bras de levier de la position de chaque palette.

Dans le cas du B747-400 combi, le fret est chargé sur des palettes qui sont ensuite chargées, soit dans la soute avant, la soute arrière ou la soute de fret en vrac situées sous le pont principal et dans la zone de fret du pont principal. Les palettes normalisées mesurent 88 pouces sur 125 pouces (petites palettes) et les nouvelles palettes normalisées mesurent 96 pouces sur 125 pouces (grandes palettes). Air Canada désigne ces grandes palettes par la lettre «Q». Avant le 16 février 1996, la masse des palettes était entrée dans le logiciel ALPAC, sans indiquer s'il s'agissait de petites ou de grandes palettes. Air Canada a constaté que si une grande palette était chargée dans la soute arrière d'un B747-400 combi, l'espace était réduit au point qu'une palette de moins pouvait être chargée dans cet endroit. Pour faciliter la planification du chargement, Air Canada a donc voulu que le logiciel ALPAC puisse indiquer si une grande palette se trouvait dans la soute arrière. La firme informatique qui assure le service et le développement du logiciel ALPAC a apporté cette modification à la demande d'Air Canada. La firme a ensuite testé la partie modifiée du logiciel pour vérifier si elle fonctionnait bien, avant de la remettre à Air Canada. Le personnel du service technique d'Air Canada a également testé le logiciel pour s'assurer que la partie modifiée fonctionnait bien.

Le logiciel ALPAC a ensuite été modifié pour automatiser le chargement sur les B747-433 combi et les Airbus A340. On croyait que cette modification ne toucherait que les A340 et la soute de fret du B747 combi, et non pas la zone de fret du pont principal du B747 combi. Par conséquent, la version modifiée

n'a pas été testée dans le cas de la zone de fret du pont principal du B747 combi, et le logiciel modifié n'a pas non plus été testé au complet avant d'être mis en service. Le 16 février 1996, la version modifiée a été installée sur l'ordinateur principal pour que les agents au chargement puissent s'en servir. Après sa mise en service, sa précision n'a pas été vérifiée non plus. L'équipage de conduite n'a pas calculé manuellement la masse et le centrage de l'avion avant le décollage. D'ailleurs, aucune procédure de la compagnie ne l'exigeait.

Après le vol de l'incident, on s'est aperçu que lorsque les petites palettes avaient été chargées dans la zone de fret du pont principal, le logiciel ALPAC avait bien calculé leurs masses et tenu compte des variations de moment. Cependant, lorsque les grandes palettes avaient été chargées dans cette même zone et que les données avaient été entrées dans l'ordinateur, le logiciel ALPAC avait ajouté correctement leurs masses au total existant, mais il n'avait pas tenu compte des variations de moment résultantes. Pour que le logiciel ALPAC puisse tenir compte de la désignation «Q», il fallait modifier les codes relatifs à la position des palettes. Aucun membre du personnel d'Air Canada ni de la firme informatique n'a fait le lien entre les modifications initiales et la nécessité de changer les codes. C'est pourquoi ce changement n'a pas été demandé ni effectué avant le vol de l'incident.

Du 16 février 1996 au 19 février 1996 (date de l'incident), neuf vols sur B747-433 combi ont été effectués malgré les erreurs de calcul de centrage effectuées par le logiciel ALPAC. Aucun équipage de conduite n'a signalé avoir eu de la difficulté à maîtriser l'avion pendant ces vols.

## 2.0 *Analyse*

### 2.1 *Introduction*

Ni l'état de navigabilité de l'avion ni les conditions environnementales n'ont contribué à l'incident. Par conséquent, l'analyse portera sur le logiciel de la compagnie qui a eu une incidence sur les données d'exploitation de l'avion, et sur la manière dont l'équipage de conduite a piloté l'avion pendant la course au décollage.

### 2.2 *Le logiciel ALPAC*

Les agents au chargement de la compagnie se servaient du logiciel ALPAC depuis plusieurs années, et il n'était jamais arrivé qu'on signale une erreur dans le calcul des données d'exploitation des avions. Ces agents faisaient confiance au logiciel et ils acceptaient d'emblée les données d'exploitation que le logiciel fournissait. Dans le cas du vol de l'incident, étant donné que le centrage calculé par le logiciel ALPAC se trouvait dans les limites d'exploitation de l'avion, l'agent l'a accepté et a laissé l'avion partir. Il a communiqué les données de masse et centrage à l'équipage de conduite, qui a accepté les calculs, par habitude, comme par le passé.

Dans ce cas-ci, l'agent au chargement, qui est un agent chevronné et qui était parfaitement au courant du chargement de l'avion, a accepté un calcul de centrage par ordinateur qui plaçait le centrage de l'avion tout près du centre du domaine de vol, alors que la plus grande partie du fret, soit 63,3 % de la masse totale du fret à bord, se trouvait complètement à l'arrière de l'appareil. Le centrage réel se trouvait au-delà de la limite arrière du domaine de vol. Le fait que l'agent au chargement a accepté d'emblée les données fournies par l'ordinateur montre que le personnel, bien qu'il soit formé et expérimenté, accorde une confiance excessive aux ordinateurs, confiance qui a été acquise à force d'utiliser les ordinateurs.

Le logiciel ALPAC n'a pas été testé au complet après sa modification, ni après sa remise en service par la compagnie aérienne. Dans la situation en cause, comme pour de nombreux vols précédents, le logiciel ALPAC a bien calculé la masse de l'avion, mais il a mal calculé le moment des palettes «Q» chargées dans la zone de fret du pont principal. Le logiciel est conçu pour afficher un avertissement sur un moniteur si les limites d'exploitation de l'avion sont dépassées. Dans le cas qui nous occupe, le centrage réel se trouvait derrière la limite arrière, mais les données de l'ordinateur indiquaient qu'il se situait bien en deçà des limites; par conséquent, aucun avertissement n'est apparu à l'écran de l'ordinateur. En outre, l'ordinateur n'a pas indiqué que le moment était mal calculé lorsque l'agent a entré les données relatives aux palettes «Q».

### 2.3 *La course au décollage*

Comme le manche ne bouge pas sans intervention humaine, on a conclu que tous les déplacements du manche enregistrés par le FDR ont été faits par le premier officier. Pendant l'accélération, l'avion s'est mis à cabrer graduellement alors que le manche se trouvait pour ainsi dire au neutre. Le cabrage non commandé a été attribué au centrage arrière, au mauvais réglage du compensateur de stabilisateur (ce dernier était compensé pour une tendance à piquer alors que l'avion avait plutôt tendance à cabrer), et à l'effort insuffisant du premier officier sur le manche pour garder le train avant fermement sur la piste jusqu'à ce que l'avion atteigne la vitesse de rotation.

Le déplacement arrière du manche à 132 noeuds a été considéré comme le début de la rotation commandée par le premier officier. Le train avant ne touchait sans doute plus à la piste à ce moment-là, sans sollicitation du manche de la part du premier officier. Le début de la rotation non commandée a sans doute incité le premier officier à poursuivre la rotation, même si la vitesse était d'environ 11 noeuds au-dessous de la  $V_R$ . L'avion a quitté le sol à une vitesse inférieure à la  $V_R$  dans une assiette de cabré de 13 degrés, et le dessous de l'empennage a raclé la piste.

Le commandant de bord, qui surveillait le décollage effectué par le premier officier, n'a rien fait pour éviter l'augmentation graduelle et non commandée du cabrage pendant la course au décollage ni pour empêcher la rotation précoce de l'avion. Une fois l'avion en vol, le commandant a dit au premier officier que la vitesse était basse.

### 2.4 *Silence dans le poste de pilotage*

En vertu de la politique de la compagnie, le PNF du Boeing n'était pas tenu d'annoncer les vitesses à voix haute pendant le décollage, et aucune vitesse n'a été annoncée à voix haute pendant l'incident. Les deux pilotes avaient l'habitude de garder le silence pendant le décollage. Le premier officier n'avait pas d'expérience sur B747-400 et il n'était sans doute pas habitué au fait que les forces de pesanteur qui s'exercent sur le train avant de cet avion pendant la course au décollage sont faibles. À cause de cette caractéristique, le pilote doit pousser volontairement sur le manche (gouverne de profondeur vers le bas) pour garder le train fermement sur la piste jusqu'à ce que l'avion arrive presque à la  $V_R$ .

La compagnie croit qu'il n'est pas nécessaire d'annoncer les vitesses à voix haute parce qu'elle ne voit pas l'utilité d'annoncer des données normales qui sont affichées devant les deux pilotes. Les annonces à voix haute n'ont lieu que s'il s'agit d'une situation anormale. Cette procédure a toutefois des répercussions sur la coordination et la charge de travail des membres d'équipage.

Puisqu'il sait que le PNF n'annoncera pas la  $V_1$  et la  $V_R$  à voix haute, le PF doit surveiller plus attentivement l'anémomètre à l'approche de ces vitesses. Étant donné que le pilote doit concentrer son attention de cette façon, il peut avoir moins de temps pour la surveillance extérieure; il est également possible qu'il surveille moins attentivement les instruments.

En ce qui concerne la coordination, l'annonce verbale de la  $V_R$  pourrait permettre d'assurer que la rotation se produise à la  $V_R$ , et non avant ni après. La vitesse  $V_1$  est moins critique dans le cas d'un décollage normal, mais elle est d'une importance capitale pour le pilote qui doit réagir à une panne moteur. L'absence de l'annonce verbale  $V_1$  pourrait semer la confusion entre les pilotes si jamais une perte de puissance se produisait à une vitesse proche de  $V_1$ .



## 3.0 Conclusions

### 3.1 Faits établis

1. Les membres de l'équipage de conduite possédaient les licences et les qualifications nécessaires au vol et en vertu de la réglementation en vigueur.
2. C'était la deuxième fois que le premier officier était aux commandes au décollage depuis son entraînement de conversion sur B747-400.
3. Pendant la course au décollage, le premier officier n'a pas poussé suffisamment sur le manche pour garder le train avant fermement sur la piste.
4. L'avion s'est mis à cabrer pendant la course au décollage.
5. Le PNF n'a pas annoncé les vitesses à voix haute pendant la course au décollage; aucune procédure de la compagnie ne l'exigeait.
6. Le premier officier a trop fait cabrer l'avion à une vitesse inférieure à la vitesse de rotation calculée, et le dessous de l'empennage a raclé la piste.
7. Le commandant de bord surveillait le décollage effectué par le premier officier, mais il n'a rien fait pour s'assurer que le train avant de l'avion demeurerait sur la piste jusqu'à la vitesse de rotation, ni pour empêcher la rotation précoce de l'avion.
8. Le compensateur de stabilisateur était mal réglé à cause d'une erreur de calcul du centrage de l'avion au décollage.
9. Le dernier stage du premier officier sur simulateur ne comprenait pas de décollage en assiette non compensée ou déséquilibrée.
10. La version récemment modifiée du logiciel ALPAC utilisée par les agents au chargement pour planifier le chargement et calculer la masse et le centrage a mal calculé le centrage de l'avion au décollage.
11. Le centrage au décollage calculé par le logiciel ALPAC avoisinait le centre du domaine de vol de l'avion, alors que l'avion était en centrage arrière.
12. Le logiciel ALPAC produisait une importante erreur de calcul de centrage de l'avion. Cependant, l'application ne comportait aucun moyen intégré pour déceler ce genre d'erreur grave, ni à l'étape du chargement, ni à l'étape où les données sur la charge et le réglage des compensateurs sont communiquées à l'équipage de conduite.

13. La version modifiée du logiciel n'a pas été testée correctement avant d'être mise en service.
14. Avant sa mise en service, la version modifiée du logiciel n'a pas fait l'objet d'une surveillance efficace pour vérifier sa précision.

### 3.2 *Causes*

Le dessous de l'empennage a raclé la piste au décollage parce que le premier officier a trop fait cabrer l'avion à une vitesse inférieure à la vitesse de rotation calculée. L'avion a été davantage sujet à un cabrage précoce à cause du centrage arrière prononcé et du mauvais réglage du compensateur de stabilisateur. Les facteurs suivants ont contribué à l'incident : une erreur dans un logiciel de chargement d'aéronef récemment modifié, la validation incomplète des modifications du logiciel et l'impossibilité du système de chargement de bord de déceler une erreur de calcul grave.



## 4.0 Mesures de sécurité

### 4.1 Mesures prises

#### 4.1.1 Mesures prises par l'exploitant - Annonce des vitesses à voix haute au décollage

Le 15 juillet 1996, le transporteur a modifié son manuel d'exploitation du Boeing 747-400. Le manuel stipule maintenant que les vitesses 100 noeuds,  $V_1$  et  $V_R$  doivent être annoncées à voix haute pendant la course au décollage. Ce changement de procédures s'applique à tous les aéronefs d'Air Canada et permettra d'uniformiser les opérations de la flotte de la compagnie et les anciennes procédures acceptées pour l'exploitation des Airbus de la flotte de la compagnie.

#### 4.1.2 Mesures prises par l'exploitant - Logiciel de contrôle du chargement

Depuis l'incident, Air Canada a pris des mesures pour améliorer les procédures de contrôle de la qualité de son logiciel de contrôle du chargement. Un poste de gestionnaire du contrôle opérationnel et de responsable des opérations techniques, de la formation et du développement a été créé en date du 1er juin 1996. Le contrôle des modifications du logiciel sera plus direct, les caractéristiques faisant l'objet des modifications seront clairement explicitées, une évaluation complète suivra pour identifier tous les composants touchés par les modifications, les bases de données d'essai ont été mises à jour, le suivi des essais sera effectué en «mode réel», et les essais devront être suivis de résultats concluants. Bien que l'accent soit mis à l'heure actuelle sur le logiciel de contrôle du chargement, Air Canada a indiqué qu'il procédait à un examen plus détaillé du milieu et des procédures d'essais de tous les systèmes critiques. Les plans de cours sont en train d'être réécrits pour permettre aux agents au chargement de mieux comprendre le lien entre le manuel et les méthodes de calcul de masse et centrage utilisées par le logiciel ALPAC.

*Le présent rapport met fin à l'enquête du Bureau de la sécurité des transports sur cet incident. La publication de ce rapport a été autorisée le 17 décembre 1996 par le Bureau qui est composé du Président Benoît Bouchard et des membres Maurice Harquail, Charles Simpson et W.A. Tadros.*



## *Annexe A - Liste des rapports pertinents*

L'enquête a donné lieu au rapport de laboratoire suivant :

LP 25/96 - *FDR Analysis* (Analyse du FDR).

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



*Annexe B - Sigles et abréviations*

ALPAC	logiciel utilisé par Air Canada, appelé <i>Automated Load Planning Air Canada</i>
APU	groupe auxiliaire de bord
BST	Bureau de la sécurité des transports du Canada
C	Celsius
CVR	enregistreur phonique
FDR	enregistreur de données de vol
h	heure(s)
HNE	heure normale de l'Est
kg	kilogramme(s)
MAC	corde aérodynamique moyenne
PF	pilote aux commandes
PNF	pilote non aux commandes
SOP	procédures d'utilisation normalisées
UTC	temps universel coordonné
V <sub>1</sub>	vitesse de détection de la panne du moteur critique
V <sub>R</sub>	vitesse de rotation
°	degré(s)
'	minute(s)
"	seconde(s)